

ОТКРИВАНЕТО НА АСИМПТОТИЧНАТА СВОБОДА И РАЖДАНЕТО НА ТЕОРИЯТА НА СИЛНИТЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Дейвид Грос

(Нobelова лекция, Стокхолм, 8 декември 2004 г.)

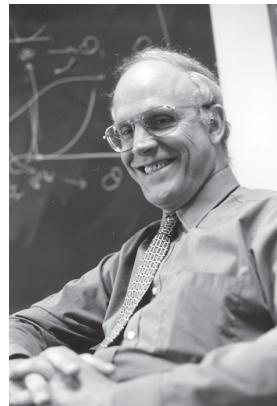
1. Въведение

Развитието на науката е значително по-неясно, отколкото го представят в по-голяма част от книгите по история на науката. Това е особено вярно за теоретичната физика, защото историята се пише от победителите. Затова историците на науката често игнорират множеството възможни алтернативни пътища, по които са блуждаели хората, множеството от лъжливи следи, които те са следвали, множеството заблуждения, които те са имали. Тези допълнителни гледни точки не са така добре изучени, както наложилите се теории, те по-трудно се разбират, и по-лесно се забравят, особено разгледани след години, когато всичко наистина придобива смисъл. Така, че-таки историята, човек рядко придобива усещане за истинската природа на научното изследване, в което нелепото е също толкова важно, колкото и наложилото се.

Появяването на Кvantовата Хромодинамика (КХД) е прекрасен пример за това как изглеждащото нелепо може да възтържествува. В течение на много кратък период от време се случи преход от експерименталното откритие и трудностите в описанието му към триумф на теорията и нейното експериментално потвърждение. В тази лекция ще опиша развитието на събитията, довели до откриването на асимптотичната свобода, която от своя страна, доведе до създаването на КХД и поставянето на последната тухла в забележително изчерпателната теория във физиката на елементарните частици – Стандартния Модел (СМ). След това, накратко ще разкажа за експерименталната проверка на теорията и следствията от асимптотичната свобода.

2. Физика на елементарните частиците през 60-те години на XX век

Началото на шейсетте години, когато постъпих аспирант в Бъркли, бяха период на величие на експеримента и безсилие на теорията. Строежът и използването на големи ускорители беше в пълен ход. Експериментални открития и изненади се появяваха на няколко месеца. Тогава беше трудно да се



говори за никаква теория. Акцентът се поставяше върху феноменологията, и само тук-там се очертаваха малки островчета на теоретични успехи. Полевата теория беше в немилост; единствено S-матрицата цъфтеше. Симетриите бяха последния писък на модата. От четирите взаимодействия, наблюдавани в природата, само гравитационното и електромагнитното бяха добре разбрани. Останалите две – слабото взаимодействие, отговарящо за радиоактивността, и силното ядрено взаимодействие, действащо в атомните ядра, бяха скрити зад плътна завеса. Физиката на элементарните частици беше разделена на изучаване на слабите и силните взаимодействия – двете загадъчни сили вътре в ядрата. За слабите взаимодействия беше развита сравнително успешна феноменологична теория, но нямаше нови данни. Със силните взаимодействия се занимаваха там, където съвместно активно работеха теоретици и експериментатори, например, в Бъркли. Тези сили се считаха за особено неразбираеми. Сега, оглеждайки се назад, разбираме, че не е имало нищо удивително в това, все пак природата криеше от нас своите тайни. Основните съставляващи – адроните (силно взаимодействащи частици) бяха невидими. Днес знаем, че това са кварките, но никой никога не беше виждал кварк, колкото и силно да се удряха протоните един в друг. Нещо повече: “цветните” заряди, които според съвременната гледна точка са източниците на хромодинамичните полета, аналогични на електричния заряд, бяха също толкова невидими. Преобладаващото мнение беше, че ще отнеме много време, за да се разберат ядрените сили и затова ще са необходими революционни идеи. Фриман Дайсън заяви, че „*истинската теория едва ли ще бъде създадена в близките сто години*“.

За млад аспирант, какъвто бях аз тогава, това беше най-голямото предизвикателство.

3. Кvantовата теория на полето

Кvantовата теория на полето беше първоначално развита с цел третиране на електродинамиката, веднага след изграждането на квантовата механика и откриването на уравнението на Дирак. Тя изглеждаше естествения инструмент за описание на динамиката на елементарните частици. Прилагането на квантовата теория на полето към ядрените сили имаше бърз и важен успех. Ферми формулира мощна и точна феноменологична теория на бета-разпада, която (макар не достатъчна за високите енергии) служеше за основа при изучаването на слабите взаимодействия в течение на три десетилетия. Юкава предложи да се използва теорията на полето за описание на ядрените сили и предсказа съществуването на тежките мезони, които скоро бяха и наблюдавани. От друга страна, квантовата теория на полето още от самото начало се натъкна на сериозни трудности. Те включваха появата на безкрайности, които възникваха отвъд най-ниските порядъци на теорията на пертурбациите, както и от отсъствието на каквито и да било непертурбативни ме-

тоди. До 1950 г. подозренията относно теорията на полето се задълбочиха до създаването на могъщата догма: теорията на полето е невярна в самите си основи, особено приложена към силните взаимодействия.

Процедурата на пренормировка, открита от Р.Файнман, Дж.Швингер, С.Томонага и Ф.Дайсън и избавянето от повсеместно появявящите се безкрайности при изчисленията чрез изразяване на физическите наблюдаеми в термини на физически параметри, беше впечатляващ успех на квантовата електродинамика. Обаче физическият смисъл на пренормировката не беше ясен въобще. Голяма част от изследователите я възприемаха като някакъв фокус. Особено вярно бе това за самите първооткриватели на квантовата теория на полето. Те бяха готови още при първата поява на безкрайност да се откажат от своята вяра в квантовата теория на полето и се подготвяха за нова революция. Това чувстваха и по-младите лидери в тази област, заложили основите на пертурбативната квантова теория на полето към края на 40-те години на миналия век. Разпространено беше мнението, че пренормировката само замита безкрайностите под килима, докато те всъщност не изчезват и правят безсмислени представите ни за локални полета. Сам Файнман на Солвеевската конференция през 1961 г. каза: „*Аз все още принадлежа към тази вяра и не се абонирал за философията на пренормировките*“.

По това време теорията на полето беше почти напълно пертурбативна; всички непертурбативни методи, които се опитваха да се прилагат през 50-те години водеха до никъде. Интеграла по траектории, измислен от Файнман към края на 40-те години, който по-късно се оказа толкова ценен за непертурбативната формулировка на квантовата теория на полето и средство за квазикласически и числени приближения, беше почти забравен. В действителност, правилата на Файнман се оказаха прекалено сполучливи. Те бяха извънредно полезен образен и интуитивен метод за работа в теорията на пертурбациите. Обаче, тези привлекателни правила, създадоха убеждението, че освен тях в теорията на полето няма нужда от нищо друго. Те отвлякоха вниманието от проблемите на непертурбативната динамика, на които се настъпваше теорията на полето. По време на първия ми курс по квантова теория на полето в Бъркли през 1965 г. мен ме обучаваха, че теорията на полето е тъждествена с правилата на Файнман. Днес ние знаем, че много явления, и специално явлението конфайнмент в КХД, не могат да бъдат разбрани в рамките на теорията на пертурбациите.

В САЩ основната причина за отказа от прилагане на теорията на полето към силните взаимодействия беше невъзможността за изчисления. Американските физици са закоравели прагматики. Квантовата теория на полето не можеше да бъде практически инструмент за обяснение на взрива от експериментални открытия. Първите опити през петдесетте години за създаване на теория на полето за силните взаимодействия претърпяха пълен провал. От

днешна гледна точка това не изглежда толкова удивително, тъй като теорията на силните взаимодействия се натъкна на два тежки проблема. Преди всичко, какви полета да се използват? Юкава предложи като начало да се използват пионни и нуклонни полета. Скоро след бързото увеличение на броя на елементарните частици, стана очевидно, че нуклоните и пионите нямат никакви привилегии. Всички адрони, странни бариони и мезоните, както и роднините им с по-голям спин, са в същата степен фундаментални. Очевидният довод, че всички адрони са изградени от по-фундаментални съставляващи, противоречеше на факта, че колкото и силно да се сблъскваха адроните помежду си, тези хипотетични съставляващи не се появяваха. Това не приличаше на представата за атома, съставен от ядро и електрони, или на ядрото, съставено от нуклони. Идеята, че тези съставляващи за затворени за постоянно, беше немислима за онези времена. И второ, понеже пион-нуклонната връзка беше извънредно силна, пертурбативното разлагане беше безполезно, а всички опити за непертурбативен анализ – безуспешни.

Ситуацията при изучаването на слабите взаимодействия беше по-добра. Съществуващата адекватната и ефективна теория на четирифермионните взаимодействия на Ферми, която се прилагаше успешно при ниските приближения на теорията на пертурбациите за подреждане и разбиране на възникващата експериментална картина на слабите взаимодействия. Факта, че тази теория не е пренормируема, означава, че извън борновското приближение тя губи всякаква предсказателна сила. Този недостатък усилващ недоверието към теорията на полето. Теорията на Янг-Милс, появила се към средата на 50-те години, не се приемаше насериозно. Опитите да се приложи теорията на Янг-Милс към силните взаимодействия бяха насочени към обобщаване на глобалните симетрии на групата на адроните до локалните калибровъчни симетрии. Това създаваше проблем, защото тези симетрии не бяха точни. А като добавка, неабелевите калибровъчни теории изискваха въвеждането на безмасови векторни мезони, явно неестествени за силните взаимодействия.

В СССР теорията на полето беше подложена на още по-силни нападки, но по малко по-други причини. Ландау, заедно със сътрудници, в края на 50-те години изучаваха високоенергетичното поведение на квантовата електродинамика. Те изследваха връзката между физическия електричен заряд и голяния електричен заряд, наблюдаван на безкрайно малки разстояния. Факта, че електричният товар в КЕД зависи от разстоянието, на което се измерва, е следствие от „поляризацията на вакуума“. Вакуумът, основното състояние на релативистичната квантово-механична система, трябва да се разглежда като среда, съставена от виртуални частици. В КЕД вакуумът се състои от виртуални електрон-позитронни двойки. Когато в някаква диелектрична среда се помести заряд, той поляризира виртуалните диполи, които екранират заряда. Следователно, заряд наблюдаван на известно разстояние, трябва да на-

малява по големина, и колкото по-голямо е разстоянието, толкова по-малък е зарядът. Може да се въведе понятието за ефективен заряд $e(r)$, който определя силата на разстояние r . При увеличаване на r екраниращата среда става по-голяма и затова $e(r)$ намалява с увеличаване на r , и съответно се увеличава с намаляване на r . Затова и бета-функцията, противоположна по знак на логаритмичната производна на зависимостта на товара от разстоянието, е положителна. Основавайки се на използваните от тях приближения, Ландау с колегите си, стигат до заключението, че този ефект е толкова силен, че физическият заряд, измерван на каквото и да е крайно разстояние, трябва да изчезва за всякакви стойности на голяния заряд. Те твърдяха: „Ние стигнахме до извода, че в границите на формалната електродинамика точковидното взаимодействие с какъвто и да е интензитет е еквивалентно на отсъствието на взаимодействие въобще“ (Ландау и Померачук, 1955 г.)

Това е знаменитият проблем с нулевия заряд – поразителен резултат, който за Ландау означаваше, че „електродинамиката за случая на слаба връзка, започвайки още от основите си е логически непълна теория“. Такъв проблем възниква във всички асимптотично несвободни теории. Даже днес мнозина от нас вярват, че различните асимптотично несвободни теории, като например КЕД, са несъстоятелни при много високи енергии. По настоящем, за КЕД този проблем има само академичен интерес, защото трудността се появява само при невъобразимо високи енергии. Обаче Ландау вярваше, че това явление има по-общ характер и трябва да съществува във всички полеви теории. Защо? На първо място защото всички теории, които те бяха разглеждали притежаваха това свойство. Но по-важно, според мен, беше това, че диелектричното екраниране представлява естествено физично проявление на пре-нормирания заряд, и те не знаеха никаква праста физична причина за обратен ефект. Затова те предполагаха, че проблемът за нулевия заряд ще възникне и в теорията на силните взаимодействия, а това би било катастрофално. В СССР това беше оценено като непреодолима причина за невалидността на теорията на полето и нейната непригодност за случая на силните взаимодействия. Ландау беше постановил: „*Nие достигнахме до извода, че хамильтоновия метод за силните взаимодействия е мъртъв и трябва да бъде погребан, разбира се, с дължимите почести*“ (Ландау, 1960 г.)

Под влияние на Ландау и Померанчук на поколения физици беше забранено да работят в областта на теорията на полето. Защо проблемът за нулевия заряд не подтикна към търсене на асимптотично свободни полета, лишени от този недостатък? Според мен причините са две. Преди всичко – изследването на множество други теории, всички от които имаха поведението на КЕД. Второ, Ландау беше заключил, че този проблем е присъщ на всички квантово-полеви теории и асимптотично свободни полета не съществуват. През 1965 г. В.С.Ваняшин и М.В.Терентиев изчислиха пренормировката на заряда за заре-

дени векторни мезони. Те получиха неправилна стойност и въпреки че знакът беше правилен, направиха извода, че резултатът е абсурден. Те обвиниха за това непренормираността на теорията на заредените векторни мезони.

4. Бутстрап

Ако теорията на полето не обезпечава теоретичните основи на силните взаимодействия, какво остава тогава? В началото на 60-те години на мината век се появи друг радикален подход – теорията на S-матрицата и бутстрапа. Теорията на бутстрапа се основаваше на два принципа, по-скоро философски, отколкото научни. Първо, че не е възможно локалните полета да бъдат измерени непосредствено, затова те са нефизични и безсмислени. Вместо това може да се формулира теория, използвайки само наблюдавани величини – елементите на S-матрицата, които се измерват в експериментите по разсейване. Микроскопичната динамика беше отхвърлена. Теорията на полето беше заменена с теорията на S-матрицата – теория, основаваща се на общи принципи като унитарност и аналитичност, но без фундаменталния микроскопичен хамилтониан. Основната динамична идея се свеждаше до това, че съществува единствена S-матрица, довлячкаща тези принципи. И че тя може да бъде определена без използването на каквото и да било фундаментални съставляващи или уравнения на движението (Чу, 1963 г.). Оглеждайки се назад, става ясно, че бутстрапа беше рожба на гнева от невъзможността да се изчисли каквото и да било чрез теорията на полето. Всички модели и приближения влизаха в конфликт с никакъв скъпо пазен принцип. Ако беше така сложно построяването на S-матрица, довлячкаща свещените принципи, тогава вероятно тези принципи имат единствена реализация. Втория принцип на бутстрапа гласеше, че не съществуват никакви елементарни частици. Да се работи с нарастващия брой кандидати за званието елементарни частици беше възможно само ако се признае, че всички те в единаква степен са фундаментални и всички те представляват свързани състояния помежду си. Това беше наречено Ядрена Демокрация и представляваше отговора на нарастващия брой на кандидати за ролята на фундаментални строителни тухлички.

Теорията на S-матрицата постигна няколко забележителни успеха, като дисперсионите съотношения и развитието на теорията на полюсите на Редже. Обаче те представляваха недостатъци на теорията, основавана на принципа, че теория въобще няма, поне в традиционния смисъл. Въпреки това, до 1973 г. се считаше за неприлично да се използва теорията на полето, без да се изкаже извинение. Например, даже на конференцията на Националната ускорителна лаборатория „Ферми“ (Фермилаб) през 1972 г. Мъри Гел-Ман завърши доклада си така: „*Бих искал да завърша, подчертавайки основната ни идея, че може да се окаже напълно възможно да се построи ясна теория на*

адроните, основаваща се на кварките и някои техни слепвания, която макар и да изглежда измислена, да притежава достатъчен брой физически свойства, които да могат да се приписват на истинските адрони, с цел построяване на пълна теория. Тъй като обектите, с които започваме, са измислени, няма основание да търсим конфликт с бутстрата или с дуалния партонен модел“.

5. Симетрии

Ако динамиката е забранена, може поне да се изучават симетриите на силните взаимодействия. Най-голямото постижение от началото на 60-те години беше откритието на М.Гел-Ман и Ю.Нееман на приблизителната симетрия на адроните SU(3) и наченките на разбирането на феномена на спонтанното нарушаване на киралната симетрия. Тъй като съответните степени на свобода, особено цветната, са напълно скрити за изучаване поради конфайнмента, изследователите се насочиха към изучаване на аромата, който може да бъде непосредствено наблюдаван. Този акцент беше усилен благодарение на успехите на SU(3) симетрията. Днес ние възприемаме SU(3) като случайна симетрия, възникваща само защото няколко кварка (горния, долния и странният) са относително леки в сравнение с мащабите на силните взаимодействия. По онова време това се разглеждаше като дълбока симетрия на силните взаимодействия и бяха предприети множество опити за обобщение и използване като трамплин за построяване на теория на адроните.

Най-успешен се оказа опита с алгебрата на токовете на Гел-Ман – програма за обобщение на съотношения от теорията на полето при предположение, че те трябва да са верни като цяло, а след това теорията на полето да бъде изхвърлена. „За да считаме, че предполагаемите съотношения са верни, ние използваме метода на обобщения, изхождайки от лагранжовия модел на теорията на полето. С други думи, ние строим математична теория на силните взаимодействия на частиците, която може да съответства на действителността, а може и да не съответства, намираме подходящи алгебрични съотношения, които се изпълняват в модела, постулираме тяхната вярност, а след това изхвърляме модела. Подобен метод се използва във френската кухня: парче фазаново месо се пече между две парчета говеждо, които след това се изхвърлят“ (Гел-Ман 1964г.). Тази статия впечатли силно, особено бедните аспиранти като мене, които можеха само да мечтаят за такова ястие. Но това беше забележителен подход: даваше свобода да се играе със забранените плодове на теорията на полето и да се отдели от нея всичко, което се желае, без да се вярва в нея. Единственият проблем, който оставаше неясен, беше по какъв начин трябва да се избира това, което следва да се извлече.

Друг проблем при този подход беше, че той отвличаше вниманието от

проблемите на динамиката. Най-драматичният пример за това беше хипотезата на Гел-Ман и Цвейг за кварките, най-важното следствие от SU(3) симетриите, а именно, че адроните изглежда да са съставени от (цветни) кварки с доста малки маси (както токови, така и като съставляващи). Цветът беше въведен от О.Гринберг, Й.Намбу, и М.Хан в серия от публикации. Мотивацията на Намбу беше двояка. От една страна, той предлагаше обяснение защо съществуват само безцветни (по съвременната терминология) адрони – постулирайки силни взаимодействия (без изясняване на вида на тези сили) сдвоени с цвета, което отговаряше на факта, че неутралните по цвет състояния са по-леки от цветните. Втората мотивация, развита съвместно с Хан, беше желанието да се построят модели, в които кварки са с целочислен електричен заряд. Мотивацията на Гринберг беше насочена към обяснение на странната статистика на свързаните адронни състояния в модела на нерелативистичните кварки (за което беше загрижен и Намбу). За целта той въведе параграфистика, която решаваше този проблем, но пък замъгляваше динамичната значимост на това квантово число.

Кварките все още оставаха ненаблюдаеми, въпреки че достигнатите енергии десетина пъти надхвърляха прага за тяхното раждане. Нерелативисткият модел на кварките просто беше безсмислен. От това беше направен извода, че кварките са измислени математични обекти. Ако все още някой вярваше в основополагащата роля на теорията на полето, щеше да му е трудно да запази вярата си, въпреки че тя беше съгласувана с бутстрата. Въоръженият с такъв подход, можеше да игнорира видимо нерешаемите динамични проблеми, възникващи от предположението за реалността на кварките. Подобно отношение към кварките се запази до 1973 г., пък и до по-късно. Ясно е, че кварките не съществуваха като реални обекти, затова бяха обявени за измислени обекти – виж. цитата на Гел-Ман, приведен по-горе. Беше възможно „да се изведат“ свойствата на кварките от никакъв модел, но това не решаваше въпроса за вярата в тях и тяхното съществуване не се приемаше на сериозно. За мнозина всичко това изглеждаше подозрително. Много добре си спомням реакцията на Стив Уайнбърг на правилата на сумите, които изведохме с Къртис Калам, използвайки кварк-глюонния модел. Разказах на Уайнбърг своята работа по правилата на сумите за дълбоко-нееластичните разсейвания по време на една официална вечеря в университета Харвард. Обясних му, как въз основа на нашите правила за сумите може да се интерпретира малкото напречно сечение, регистрирано на ускорителя SLAC като свидетелство за съществуването на кварките. Уайнбърг се изрази ясно, че това не го интересува, понеже той не вярва в нищо, свързано с кварките.

6. Моят път към асимптотичната свобода

Завършвах Беркли в периода когато теориите на S-матрицата и бутстра-

па бяха в разцвет. Моята дисертация за N/D-уравненията за няколко тела беше написана под ръководството на Джейф Чу, главния гуру на бутстрапа. Помня точно момента, когато се разочаровах от програмата на бутстрапа. Беше на рочестерската конференция през 1966 г., проведена в Беркли. Франсис Лоу, на заседанието след неговия доклад, отбеляза, че бутстрапа представлява повече тавтология, отколкото теория: „*Вярвам, че когато вие установявате, че частиците, които присъстват в теорията на S-матрицата и целия формализъм, удовлетворяват всички изисквания, единствено то, което правите е да демонстрирате, че теорията на S-матрицата се съгласува с природата и че частиците имат поведение, което потвърждава, че тази теория е работеща; обаче от това съвсем не следва, че частиците съществуват*“.

Например, популярните правила на сумите при крайни енергии (при които се получават съотношения за измерваните величини чрез насищане на дисперсионните съотношения с краен брой резонансни полюси от една страна и връзката им с предполагаемото редже-асимптотично поведение, от друга) не бяха толкова предсказателни уравнения, колкото просто проверка на аксиомите (аналитичност, унитарност) с използването на модели и на експериментални данни.

Тази забележка ми направи силно впечатление и аз дълго копнеех да намеря по-мощна динамична схема. Това съвпадна с бурния разцвет на съвременната алгебра на токовете и въздуха беше насытен с потресаващи резултати. Бях много впечатлен от факта, че предполагайки някаква структура на токовите комутатори могат да се получат измерими резултати. По това време най-драматично беше току-що появилото се съотношение на Адлер-Вайнсберг. Очевидно, свойствата на тези токове налагаха сериозни ограничения на адронната динамика. Гел-Ман и Дашен се опитваха да използват комутатори на конкретни компоненти на токовете за основа на динамиката на силното взаимодействие. След известно време достигнах до извода, че този подход също представлява тавтология и всичко, което правеше той, се свеждаше до проверката на съществуването на симетрии в силните взаимодействия. Това беше несъмнено за векторната SU(3)-симетрия, но беше вярно и за киралната SU(3), особено, след като Уайнбърг и други интерпретираха правилата на сумите на токовете като нискоенергетични теореми за голстоуновите бозони. Тази схема не можеше да послужи за основа на пълна динамична теория. Затова започнах да изследвам по-малко изучените свойства на алгебрата на локалните плътности на токове. Те зависеха от модела, но това беше за добро, тъй като можеха да съдържат динамична информация, излизаша извън следствията от глобалната симетрия. Освен това, както скоро стана известно, хипотезите за структурата на локалната алгебра на токовете могат да се проверяват, извеждайки правила на сумите, които могат да бъдат проверявани на експериментите по дълбо-нееластични лептон-адронни раз-

сейвания. Силно ми повлия статията на Дж.Бъркен през 1967 г. за приложението на $U(6) \times U(6)$. През пролетта на 1968 г. Къртис Калан и аз предложихме правила на сумите за проверка на популярния по това време „модел на Сугавара“ – динамичен модел на локални токове, в която тензора на енергия-импулса се изразява като произведение на токове. Надеждата беше в това, че за пълна теория може да са достатъчни алгебричните свойствата на токовете и изразените чрез тях хамилтониани. Нашата цел беше по-скромна – да проверим хипотезата, използвайки факта, че операторното разлагане на произведението на токовете в тази теория съдържа тензора на енергия-импулса с известен коефициент. От тук ние бихме могли да изведем правилата на сумите за структурните функции, които могат да бъдат измерени в експерименти по дълбоко-нееластични електрон-протонни разсейвания. През есента на 1968 г. Бъркен отбеляза, че именно тези правила на сумите, както и съображения за размерност, трябва да водят до скейлинг на дълбоко- нееластичните разсейвания. Това предсказание беше скоро потвърдено от нови експерименти в SLAC, изиграли важна роля при разясняването на структурата на адроните. Скоро след това заедно с Калан установихме, че измервайки отношението $R = L/T$, където $L(T)$ са сеченията на разсейване на надлъжно и (напречно) поляризириани виртуални фотони, може да се определи спина на заредените съставящи на нуклона. Изразихме моментите на структурните функции на дълбоко-нееластичните разсейвания в термините на комутатори при равни времена на електромагнитните токове, използвайки специфични модели – като алгебрата на полетата, в които тока е пропорционален на поле със спин единица от една страна, и кварк-глюонния модел, от друга. В този популярен модел кварките взаимодействаха чрез абелово калибровъчно поле (което, разбира се, може да бъде масивно) свързано с барионното число. Калибровъчната динамика на глюоните никога не беше изследвана, и мисля, че до тогава модела не беше използван за изчисления от никого. Ние установихме, че R критично зависи от спина на съставляващите. Ако съставляващите имат спин нула или единица, то $T=0$, но ако техният спин е $1/2$, то $L=0$. Това беше доста драматичен резултат. Скоро експериментите показваха, че L е много малко.

Експериментите по дълбоко-нееластично разсейване на SLAC ми оказаха силно въздействие. Те явно показваха, че в малки времеви интервали протоните имат поведение на съставени от точковидни обекти със спин $1/2$. Есента на 1969 г. прекарах в ЦЕРН, и с К.Левелин-Смит анализирахме правилата на сумите за дълбоко-нелеастични неутрино-нуклонни разсейвания, използвайки аналогични методи. Ние се водихме от експериментите, които се провеждаха тогава в ЦЕРН. Изведохме правилата на сумите, измерващи барионното число на заредените съставляващи на протона. Скоро експериментите показваха, че компонентите на протона имат барионно число $1/3$, с други думи,

те приличат на кварки. Тогава аз напълно се убедих в реалността на кварките. Те повече не бяха мнемонични правила, резюмиращи адронните симетрии, както до тогава се интерпретираха от всички. Те трябваше да представляват физически точковидните компоненти на нуклоните. Разбира се, между кварките трябваше да съществуват силни взаимодействия, които да размият тяхното точковидно поведение.

След експериментите на SLAC Файнман предложи своята партонна картина на дълбоко-нееластичните разсейвания, много живописно и интуитивно описание в термините на хипотетичните точкоподобни частици – партоните. Тя допълни подхода към дълбоко-нееластичното разсейване, основаващ се на операторното произведение на токовете, а нейното преимущество беше, че можеше да бъде обобщена и за други процеси. Партонния модел позволяващ се с лекота да се правят предсказания, игнорирайки други въпроси на динамиката като цяло. Чувствах се по-уверен когато имах работа с подход, основаващ се на предполагаеми свойства на произведения на токове на близки разстояния, и подозирах, че нещо не е наред в разширенния партонен модел за процеси, които в действителност не се доминират от процесите на малки разстояния. В ЦЕРН, заедно с Юлиус Вес изследвахме следствията от размерната и конформна инвариантност. Обаче скоро осъзнах, че в контекста на теорията на полето само свободната, не взаимодействаща теория води до точен скейлинг. Това ми се изясни окончателно, когато към края на 1969 г. пристигнах в Принстън, където моите колеги Калан и Симанзик бяха преоткрили уравненията на ренормализационната група, които те бяха формулирали като следствие от аномалии в мащабната инвариантност. Тази работа хвърли светлина на факта, че при въвеждане на взаимодействия в теорията, скейлинга и моите любими правила на сумите излитаха през комина. Докато експериментите потвърждаваха, че със скейлинга всичко е наред. Обаче, едва ли може да се изключи или направи много слабо взаимодействието между кварките, защото тогава може да се очаква, че адроните ще се разсипят на кварковите си съставляващи, а свободни кварки никой не беше наблюдавал. Този парадокс и търсенето на обяснение на скейлинга ми осигуриха работа за следващите четири години.

7. Как да се обясни скейлингът

Приблизително по същото време, когато ставаше всичко това беше открита теорията на струните, при един от най-необикновените завои в хода на историята на физиката. През 1968 г. Г. Венециано предложи забележителна по своята простота формула, обединяваща много от особеностите на адронното разсейване с редже-асимптотичното поведение в един от каналите и тясното резонансно насищане в друг. Скоро тази формула беше обобщена за многочастичните амплитуди в теорията на S-матрицата и привлече голямо

внимание. Роди се дуалният резонансен модел – последният сериозен опит да се осъществи бутстрапът. А като истинска, теорията на квантовите струни беше възприета едва през 1972 г. Работих над тази теория в продължение на две години в ЦЕРН, а след това и в Принстън съвместно с Шварц и Невъо. Отначало имах чувството, че този модел, обхващащ голямо количество особености на адронното разсейване, може да даде търсената алтернатива на полевата теория на силните взаимодействия. Обаче през 1971 г. осъзнах, че този модел по никакъв начин не може да обясни скейлинга, а силно чувствах, че скейлинга е първостепенната отличителна черта на силните взаимодействия. В същност, дуалния резонансен модел водеше към недопустимо меко поведение при големи предадени импулси, което беше в пълна противоположност на наблюдавания твърд скейлинг. Освен това, нейната състоятелност изискваше извънредно много неща, напълно нереалистични при силните взаимодействия: безмасови векторни и тензорни частици. По-късно тези особености мотивираха надеждата, че теорията на струните може да се окаче единствена и всеобхващаща теория на всички сили в природата. Тази надежда остава и до днес. Обаче съответният мащаб на енергии съвсем не е 1 ГеВ, а 10^{19} ГеВ!

Данните по дълбоко-нееластично разсейване ставаха все по-добри. Не се наблюдаваше никакво отклонение от скейлинга и правилата на сумите за свободна теория на полето работеха. Добре помня Киевската конференция по физика на високите енергии през 1970 г. Там срещнах А.Поляков и А.Мигдал, непоканени, но вече впечатляващи участници на конференцията. С тях водихме продължителни дискусии по проблемите на дълбоко-неелеастичните разсейвания. Поляков знаеше всичко за ренормализационната група и ми обясни, че наивният скейлинг може би е правилен. Размерността на операторите се изменя заедно с мащаба на който се разглежда физиката на процеса. Освен това безразмерните константи на връзката също се изменят заедно с мащаба. При малки разстояния те се приближават към фиксирани стойности, които съвпадат със съответните стойности в теорията със силни взаимодействия, което води към големи аномалии при скейлинга, различаващ се от поведението на свободна полева теория. Възразих, че експериментите сочат точно обратното. Поляков ми отвърна, че такова поведение противоречи на теорията на полето. Ние се разделихме – той убеден, че експерименталните данни в областта на високите енергии ще се изменят, а аз – че теорията е която трябва да се измени. Широко беше разпространено убеждението, че скейлинга, който се наблюдава на експериментите на SLAC не представлява истинското асимптотично явление. Фактът, че скейлинга, установен при обмен на доста малък предаден импулс е „преждевременен скейлинг“, само укрепваше този възглед. Затова познавачи на ренормализационната група като Уилсън, Поляков и др. вярваха, че при високи енергии трябва да се

появи неканоничен скейлинг – индикатор за нетривиална неподвижна точка на ренормализационната група.

През следващите две години се случиха много неща. Вълнуващата работа на Герхард т'Хофт за пренормирането на теорията на Янг-Милс преоткри за физичната общност неабелевата калибровъчна теория. Теорията на електрослабите взаимодействия на С.Глешоу, С.Уйнбърг и А.Салам беше съживена. Теорията на полето отново стана популярна, поне в областта на слабите взаимодействия. Възкръсна от забвение и интеграла по траектории. Изследванията на Кенет Уилсън по операторните разложения дадоха нов инструмент, който можеше да се използва за анализ на дълбоко-нееластичното разсейване. Уравненията на Калан-Симанзик опростиха анализа на ренормализационната група, която след това се прилагаше към разложението на Уилсън. Анализа на операторното произведение беше пренесен върху светлинния конус – област, съответстваща на дълбоко-нееластичното разсейване. Според мен, най-важното постижение беше възраждането на ренормализационната група, направено от Уилсън. Ренормализационната група израсна от фундаменталните работи на Щюкелберг и Петерман, Гел-Ман и Лоу, както и на Боголюбов и Ширков. Тази работа беше пренебрегвана в продължение на много години, в частност, защото се мислеше, че от нея може да се извлече информация само за физиката на процеси с големи пространствено-подобни импулси, които не представляваха пряк физичен интерес. Освен това, до откриването на асимптотичната свобода ултравиолетовото поведение беше неизчислимо използвайки пертурбативните методи, а други методи не съществуваха. Така, че ренормализационната група създаде езика, на който можеше да се обсъжда, но не изчислява асимптотичното поведение на амплитудите във физично интересната област.

8. План

Към края на 1972 г. бях изучил достатъчно теорията на полето, специално методите, свързани с ренормализационната група и бях готов да се заема с проблема за скейлинга. Реших да опитам да докажа, че локалната теория на полето не може да обясни експерименталния факт на съществуване на скейлинг и затова не може да бъде подходяща основа за описание на силните взаимодействия. Тогава дълбоко-нееластичното разсейване би пояснило окончателно въпроса за валидността на квантовата теория на полето. Плана за атака се състоеше от две части. Първо исках да докажа, че „ултравиолетовата стабилност“ – изчезването на ефективна връзка на малки разстояния, по късно наречено асимптотична свобода, е необходимо условие за обяснение на скейлинга. Второ, исках да докажа, че асимптотично свободни полета не съществуват. Това всъщност се очакваше. Според представите на квантовата теория на полето, квантовата електродинамика беше инфрачервено ста-

билна: ефективния заряд се увеличаваше при намаляване на разстоянието, и никой никога не беше строил теории, в което ставаше обратното. Когато ефективната констатна на връзката се увеличаваше при намаляване на разстоянието, влизайки в противоречие с КЕД – това можеше да се обясни с режим, при който силното взаимодействие някак си се изключваше и възникваше скейлинг. Разбира се, можеше да се подозира, че това е единственият начин за получаване на точно-подобно поведение на малки разстояния. Благодарение на работите на Уилсън и приложението им към дълбоко-нееластичното разсейване стана ясно, че в квантовата теория на полето появата на скейлинг може да се очаква в неподвижната точка на ренормализационната група. Обаче такъв скейлинг не би имал каноничното, както в свободната теория на полето, поведение. Такова поведение щеше да означава, че размерността на операторите, появяващи се в произведенията на електромагнитните токове върху светлинния конус, съвпадат с каноничните размерности в теорията на свободните полета. Това не изглеждаше правдоподобно. Знаех, че ако свободните полета сами по себе си са с канонични размерности, за много теории това определя тяхната тривиалност, т.е. отсъствие на взаимодействие. Разбира се, това щеше да бъде вярно и ако съставните оператори, доминиращи в амплитудите на дълбоко-нееластичните разсейвания, имаха канонични размерности.

До пролетта на 1973 г. с Калан завършихме доказателството на този аргумент, разпространявайки идеята на Г.Паризи върху всички пренормирани теории на полето, с изключение на неабелевите калибровачни теории. Основната идея беше да се докаже, че нулирането на аномалните размерности на съставните оператори в предполагаемата неподвижна точка на ренормализационната група води до зануляване на аномалните размерности на полето. Така се правеше извода, че теорията е свободна в неподвижната точка. Това означаваше, че наивният скейлинг може да има обяснение само ако предполагаемата неподвижна точка на ренормализационната група съвпада с началото на координатна система в пространството на константите на връзката, т.е. теорията трябва да бъде асимптотично свободна. В тази логика не се включваха неабелевите калибровъчни теории, защото и двата аргумента за тях не бяха изпълнени. Откриването на асимптотичната свобода показва, че този пропуск не е несъществен.

За втория етап беше необходимо да се покаже, че асимптотично свободни полета въобще не съществуват. Построих формализъм за анализиране на голяма част от пренормираните теории за фермиони и скалари, отново изключвайки неабелевите калибровъчни теории. Това не беше трудно, защото за проверката на асимптотичната свобода беше достатъчно да се изучи поведението на β -функцията в околност на началото на координатите в пространството на константите на връзките, т.е. в ниските порядъци на теорията на

пертурбациите (еднопримково приближение). Имах почти пълното доказателство, с изключение на едно необходимо неравенство, което не бях успял да докажа. Обсъдих този въпрос с Сидни Коулман, който беше за есенния семестър в Принстън. Той внесе липсващата съставка, а и добави няколко други ключови аргумента – и се появи доказателството, че не съществуват пренормирани теории на полето, с произволни скаларни или абелеви калибровъчни взаимодействия или взаимодействия на Юкава, които да са асимптотично свободни. Ази работеше също над този проблем. Той съзнаваше преимуществата на асимптотично свободните полета и се опитваше да ги намери. По това време той беше получил частичен резултат, показващ отсъствието на асимптотична свобода в теориите с $SU(N)$ -инвариантни константи на Юкава.

9. Откриването на асимптотичната свобода

Франк Вилчек започна да работи с мене през есента на 1972 г. Той постъпи в Принстън като студент по математика, но скоро откри, че се интересува от физиката на элементарните частици. Той се прехвърли във физическия факултет, след като беше изслушал моя курс по теория на полето през 1971 г., а след това започна и да работи с мен. Методът ми на работа със студенти тогава, а и сега, се свежда до това да се опитам да ги въвлека непосредствено в текущата ми работа и много често се случва да работим заедно. Това особено се отнася до Франк, който още от самото начало започна да работи по-скоро като сътрудник, отколкото като студент. Разказах му за своята програма, насочена да изясни дали подхожда или не квантовата теория на полето за обяснение на скейлинга. Решихме да изчислим β -функцията за теорията на Янг-Милс. Това беше единственият пропуск в развитата от мене верига от аргументи, защото тази теория все още изглеждаше странна и сложна. До тогава бяха правени само няколко изчисления извън борновото приближение. Франк се интересуваше от това изчисление и по друга причина: теорията на Янг-Милс се прилагаше за електрослабите взаимодействия, но той искаше да разбере нейното поведение при високи енергии.

Коулман, който беше на посещение в Принстън, ме попита изчислявал ли е някой β -функцията за теорията на Янг-Милс. Отговорих му, че точно сега ние работим върху това. Той изрази своя интерес и съобщи, че той е помолил своя студент Х. Дейвид Полицер да обобщи за неабелевите случаи механизма на динамично нарушаване на симетриите. Важен момент беше познаването на ренормализационния поток, който беше необходим за да се реши, кога ниския порядък на теорията на пертурбациите е подходящ инструмент за изучаване на функционала на енергията. Разбира се, Полицер се беше засел самостоятелно да изчисли β -функцията за теорията на Янг-Милс.

Нашата работа вървеше бавно, бях зает и с други части от моята програ-

ма, налагаше се да се решават и няколко други трудни въпроси. Отначало ние използвахме спектралните представления и унитарността, и се опитвахме от общи съображения да докажем, че теорията не може да бъде асимптотично свободна, обобщавайки нашите с Коулман аргументи за този случай. Ничто не се получаваше, затова ние се насочихме да изчислим β -функцията за теорията на Янг-Милс. Днес тези изчисления изглеждат много лесни и може да се задават като домашно упражнение в курса по квантова теория на полето, но тогава това съвсем не беше толкова просто. Всъщност, такава промяна на представите в теоретичната физика е аналог на известното явление в експерименталната физика, когато вчерашните велики открития днес се превръщат в обикновено явление. Винаги е по-лесно да провеждат изчисления, знаеики предварително отговора и бидейки уверен, че метода на изчисление е смислен. Един проблем, с който се сблъскахме, беше калибровъчната инвариантност. За разлика от КЕД, където пренормировката на заряда, очевидно, е калибровъчно инвариантна (понеже фотона е неутрален), константите на пренормировка в КХД зависят от калибровката, въпреки че физиката не може да зависи от нея. Друг проблем беше избора на регуляризация. Размерната регуляризация все още не беше развита, а ни предстоеше да се убедим, че еднопримковата β -функция не зависи от избора на регуляризацията. Превеждахме изчисленията в произволна калибровка. Понеже знаехме, че отговорът трябва да бъде калибровъчно инвариантен, можехме да използваме калибровъчната инвариантност за проверка на аритметиката. Това беше добре, защото и двамата правехме грешки. През февруари ускорихме хода и бързо завършихме изчисленията. Грешка в знака пред един от членовете ни доведе до извода, че теорията, както и трябва да се очаква, не е асимптотично свободна. Когато седнах да сведа получените резултати в единна картина и да ги запиша, открих грешката. По същото време и Полицер беше завършил своите изчисления и ние сравнихме отговорите. Тяхното съвпадение ни удовлетворяваше.

Защо неабелевите калибровъчни теории са асимптотично свободни? Днес това може да се разбере и от физична гледна точка, но през 1973 г. това, разбира се, съвсем не беше така ясно. Поучително ще бъде да прекъснем историческия разказ и да обясним със съвременна терминология, защо КХД е асимптотично свободна. Най-простия начин да разберем това е да разгледаме свойствата на магнитното екраниране на вакуума. В релативистката теория диелектричната константна ϵ може да се изрази чрез магнитната проницаемост μ , понеже $\epsilon\mu=1$ (в система, в която скоростта на светлината $c=1$). В класическата физика всички среди са диамагнити. Това става, защото от класическа гледна точка всички магнитни полета възникват от електричните токове, и в отговор на приложеното магнитно поле системата установява такава стойност на тока, която намалява полето (правилото на Ленц). Затова

$\mu < 1$ съответства на електрично екраниране с $\epsilon > 1$. Обаче в квантово-механичните системи е възможен и парамагнетизъм. Той е възможен и в неабелевите калибровъчни теории, където има глюони – заредени частици със спин 1. Те имат поведение на постоянни цветни магнитни диполи, които се подреждат паралелно на приложеното външно магнитно поле, увеличавайки неговата стойност, което води до $\mu > 1$. Затова можем да приемем анти-екранирането на вакуума на полето на Янг-Милс като парамагнетизъм. КХД е асимптотично свободна, защото анти-екранирането на глюоните е по-голямо от екранирането на кварките. Аритметиката работи по следния начин. Приносът в е на частици с заряд q е равен на $-q^2/3$ и възниква от обикновеното диелектрично (или диамагнитно) екраниране. Ако частицата има спин s (и следователно, постоянен диполен момент γs), то той дава принос $(\gamma s)^2$ в μ . Затова глюон със спин 1 (при $\gamma = 2$ за теорията на Янг-Милс) ще даде принос в μ , равен на $\gamma \mu = (-1/3 + 2^2)q^2 = 11/3q^2$, докато за кварк със спин $1/2$ този принос ще бъде $\gamma \mu = -(-1/3 + (2/2)^2)q^2 = -2/3q^2$ (допълнителния минус възниква поради това, че кварките са фермиони). Във всеки случай резултата е че докато кварките не са толкова много, антиекранирането на глюоните ще надвишава екранирането на кварките. Формулата за β -функцията на неабелевата калибровъчна теория има вида

$$\beta(\alpha) = \mu d\alpha(\mu)/d(\mu) = \alpha^2/\pi b_1 + \alpha^3/\pi^2 b_2 + \dots,$$

където $\alpha = g^2/4\pi$. Нашите изчисления доведоха до резултата

$$b_1 = -[11/6 C_A - 2/3 \sum_n n_R T_R]$$

В тази формула C_A е собствена стойност на квадратичния оператор на Ка-зимир в представянето R на групата $SU(N)$ ($C_A = N$ за присъединеното представяне), T_R – следата на квадрата на генератора $SU(N)$ в представянето R ($T_A = N$ и за фундаменталното представяне $T_F = 1/2$), и n_R – броя на фермионите в представянето R . За случая $SU(3)$, както е в КХД, $C_A = 3$, $T_F = 1/2$ и затова

$$b_1 = -11/2 + n_F/3.$$

Затова може да се допуснат до 16 кваркови триплета преди теорията да загуби асимптотичната си свобода.

Превод: Нъшан Ахабабян; Редакция: Виктор Атанасов

(Втората част на лекцията – в кн. 3/07)

ВЪГЛЕРОДНИТЕ НАНОТРЪБИЧКИ – МАТЕРИАЛИ НА БЪДЕЩЕТО

Ласло Форо, Кристиян Шъоненбергер

Последното десетилетие на миналия век във физиката на кондензираната материя беше белязано с възраждането на въглеродните материали. Освен добре известните форми на въглерода, графита и диаманта, бяха открити и нови форми на въглерода: фулерените, въглеродните нанотръбички и въглеродните „лукчета“ (carbon onions). Макар, че основната компонента на фулерените, молекулата C_{60} да беше открита през 1985 г. от Крото (Kroto), Смоли (Smalley) и техните сътрудници – [1], изследването на този материал достигна своя пълен разцвет едва след като Крачмер (Kratschmer) и Хуфман (Huffman) откриха метод за тяхното масово производство – [2]. Еуфорията при изследването на фулерените започна с откриването на „високотемпературната свръхпроводимост“ през 1991 г., надминавайки критична температура 30 K – [3] след добавянето на примесни алкални атоми.

Търсенето на нови въглеродни наноструктури, на фулерени с по-голяма маса, силно мотивираха химиците и физиците.

През същата година Сумио Иижима (Sumio Iijima) откри многостенните нанотръбички – [4], които в началото се разглеждаха като гигантски фулерени. През 1993 г. бяха синтезирани едностенните нанотръбички. Те представляват въглеродни структури с диаметър 1.4 nm и дължина няколко микрона – [5]. В началото, когато производството и очистването на тези структури не беше още достатъчно разработено, изследванията се състояха главно във „фотографиране“, т.е. в получаването на впечатляващи изображения на тези структури, получени с помощта на трансмисионна електронна микроскопия с голяма разделителна способност. Около 1994 г. някои от тези проблеми бяха разрешени и започна изучаването на физичните свойства на въглеродните нанотръбички.

Днес въглеродните нанотръбички са една развиваща се област на изследвания. Тази област включва няколко важни направления на фундаментални изследвания: химия, електропроводимост, механични свойства и полева емисия.

Перспективите за приложение са също така много предизвикателни и вълнуващи. Главните насоки на възможни приложения на въглеродните нанотръбички са: влакна за армировка на композитни материали (висока якост, голямо аспектно отношение, т.е. отношение на надлъжните към напречните размери, висока топлинна и химическа стабилност); нанопроводници; емитери с полева емисия (полеви емитери с индивидуални нанотръбички, плос-

ки дисплеи с голяма площ); наноинструменти (сонди за различни видове микроскопия с висока разделителна способност, наноманипулатори, нанопинци – [6].

В тази кратка статия ние представяме тези материали, които несъмнено ще дават насоките на развитие на физиката на кондензираната материя и на нанотехнологията в началото на 21 в. Ние ще опишем само няколко впечатляващи резултата и ще покажем какви биха могли да бъдат основните направления на развитие в тази област.

Материалите

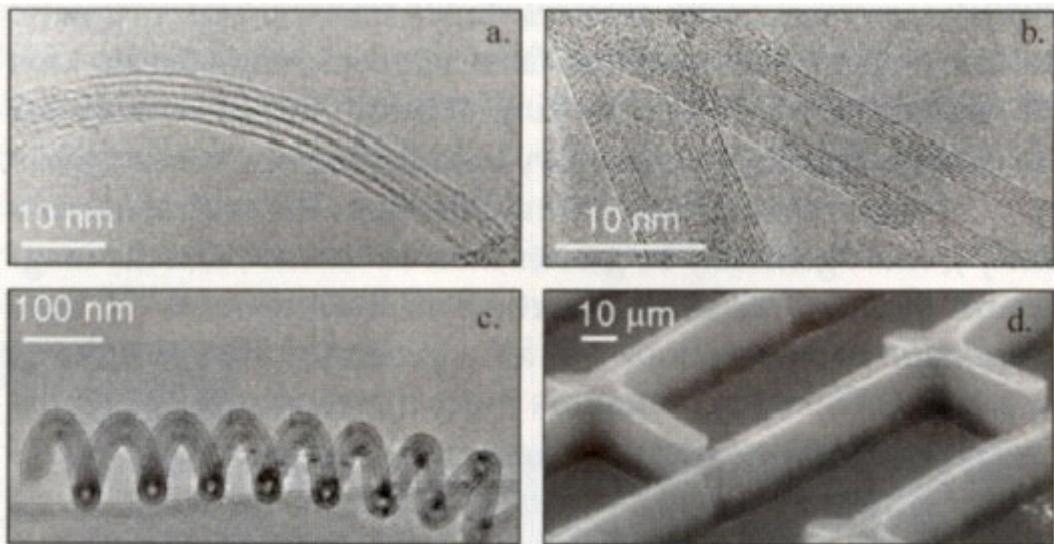
В момента за създаването на въглеродни нанотръбички се използват няколко метода.

Първият е леко модифицирана версия на метода използван за производството на фулерени, дъгов разряд между графитови електроди, позволяващ натрупването на нанотръбички върху катода. Могат да се създават нанотръбички от единичен завит графитов слой, т.н. SWNTs, с диаметър от порядъка на 1 nm и многостенни нанотръбички, състоящи се от няколко концентрично разположени едностенни въглеродни нанотръбички, поместени една в друга подобно на една матрьошка. Тези многостенни нанотръбички, т.н. MWNTs, имат външен диаметър от порядъка на 10-50 nm. Исторически SWNTs са открити по-късно, след намирането от Смоли (Smalley) на ефективен метод за тяхното производство, прилагайки лазерна абляция на графит в присъствието на катализиращи частици. SWNTs, които се намират в образувалите се сажди са организирани в спончета с различни диаметри. Процесът на формиране на нанотръбички чрез каталитично разлагане на въглерод съдържащ газ, като ацетилен или метан се използва широко поради две съществени преимущества. На първо място нанотръбичките се получават в голямо количество и при много по-ниски температури. Това обаче е за сметка на по-ниското качество, графитизацията на стените на тръбичката е по-лошо от колкото при другите два метода. Второ, катализаторът (например желязо, кобалт или никел) може да бъде структуриран върху подложката преди израстването, и по този начин нанотръбичките могат да се израстват избирателно, точно на мястото, в което вие искате те да са разположени. Това позволява израстването на структурирани „наночетки“, състоящи се от вертикално подредени нанотръбички с голяма плътност. Днес могат да се израстват нанотръбички с дължина превишаваща 100 μm. Това са влакна с много голямо аспектно отношение.

Природата създава въглеродни нанотръбички с разнообразни форми, но нашето разбиране на механизма на тяхното микроскопично израстване е не-пълно. Например, чрез топлинно разлагане на въглеводороди могат да се създават нанотръбички, имащи формата на „телефонен кабел“ или на „на-

ннопружинки“ (вероятно подходящи за наномеханични приложения), но разбирането на процеса на тяхното синтезиране е само на емпирично ниво.

Фиг. 1 илюстрира характерните форми на различните въглеродни нанотъбички, споменати по-горе.



Фиг. 1. Електронно-микроскопски изображения на различни видове въглеродни нанотъбички.

a.) SWNT въже, получено чрез техниката на лазерна аблация

b.) MWNTs синтезирани чрез метода на дъговия разряд

c.) MWNT бобина, получена чрез топлинно разлагане на въглеводороди
в присъствието на катализиращи частици

d.) Ориентирани пакети от нанотъбички, израснали върху предварително структурирана основа, върху която с помощта на мека литография са нанесени катализиращи частици.

Трябва да се отбележи, че въпреки че тези въглеродни нанотъбички са много привлекателни и тяхното производство е просто, те никога не се получават в чиста форма. Първата стъпка в тяхното изучаване е винаги техноложка – тяхното очистване. Това особено важи за SWNTs, които са силно замърсени с магнитни частици от катализатора.

Чистотата на създаваните чрез дъгов разряд MWNTs е много по-висока, тъй като при тяхното създаване не се използват магнитни материали. Въпреки това, те трябва да бъдат отделени от графитните снежинки, от многостенните частици и аморфния въглерод, съдържащи се в сировите сажди.

Електрични свойства

Въглеродните нанотъбички могат да се разглеждат като гигантски спрег-

нати молекулни проводници с дължина на спрягане отговаряща на цялата дължина на тръбичката. За да разберем тяхната електронна структура, трябва да започнем от графена (graphene), единичния графитов слой. Въглеродът има четири валентни електрона, три от които са силно свързани със съседните атоми. Това е причина за високата повърхнинна твърдост на графена. Четвъртият електрон не е локализиран, а е общ за всички атоми, давайки възможност за провеждането на електричен ток. Обаче поради своята особена структура, графенът се намира електрически между полупроводниците и металите. Той е „полуметал“ или „полупроводник, с нулева ширина на забранената зона“.

Тази особеност прави електронните състояния много чувствителни към допълнителни гранични условия, като тези създавани от единичната обвивка на въглеродната нанотръбичка. Стационарна електронна вълна може да се създаде само ако обиколката на тръбичката е кратна на дължината на вълната на електрона. Това условие премахва свойството „забранена зона с нулева ширина“ на графена и превръща нанотръбичката или в истински метал или в полупроводник, в зависимост от това как листът на графена е завит или с други думи в зависимост от спиралността (за MWNTs може да се очаква по-сложна ситуация, поради възможното допълнително електронно свързване между съседните слоеве).

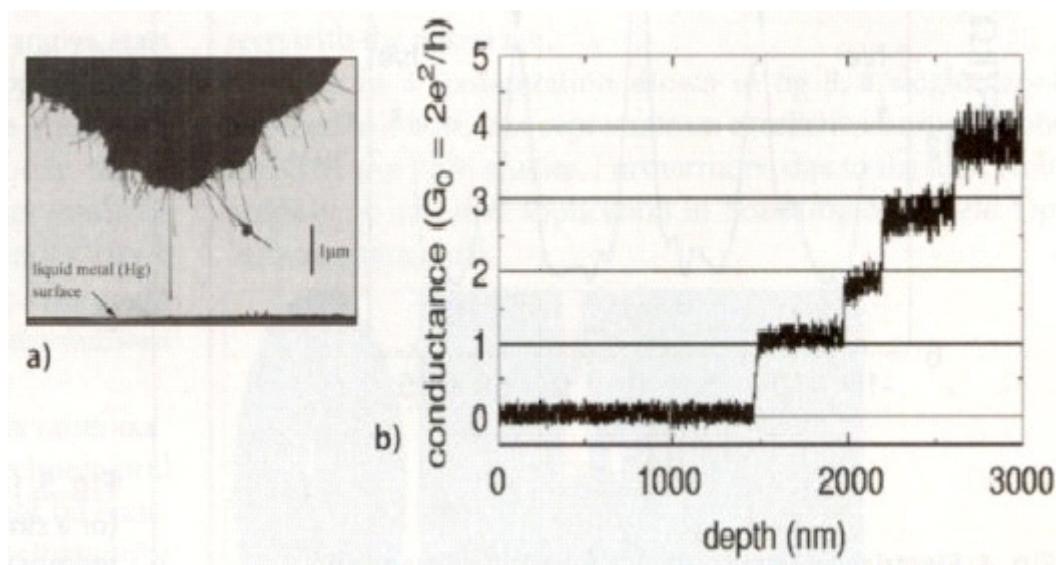
Спиралността дава голямо богатство от възможности за проектиране на електронните свойства на SWNTs. Обаче ние все още не можем да управляваме нито диаметъра, нито спиралността на нанотръбичките по време на тяхното синтезиране и засега това „богатство“ е по-скоро недостатък, отколкото предимство. За всяка нанотръбичка първо трябва да се установи харектера на нейната проводимост. С други думи ние изследваме не онова, което искаме, а онова което имаме.

Електронните свойства на едномерните (1d) проводници привличат голям интерес. Причината е тяхната много богата фазова диаграма и в предсказанието, че в 1d системи Кулоновото взаимодействие трябва да води до силно корелиран електронен газ, наречен течност на Лютингер (Luttinger), вместо слабовзаимодействащите квазичастици, описвани като течност на Ферми в традиционните метали. Това положение е все още спорно. Има експериментални резултати, както за SWNTs така и за MWNTs, които говорят както в полза на екзотичната течност на Лютингер, така и в полза на течността на Ферми.

Предполага се, че идеална метална нанотръбичка с некорелирани електрони е балистичен проводник, т.е. най-добрият проводник (обикновено електронен), за който един инженер може да мечтае. Той е превъзхождан единствено от свръхпроводниците. Ако един електрон се инжектира от контакт в балистичен проводник с идеални контакти в двата си края, то този електрон

непременно ще излезе от другия контакт (сток). Няма обратно разсейване на електроните в проводника, което е източник на вътрешното съпротивление и води до закона на Ом. За тръбичка, представляваща идеален балистичен проводник, теорията предсказва съществуването не на една, а на две разпространяващи се собствени моди, които не зависят от диаметъра. Очаква се, че електронната проводимост ще бъде два пъти по-голяма от фундаменталната проводимост $G_0 = 2e^2/h = 1/13 \text{ k}\Omega$. Забележете, че съпротивлението не е нула, както е за един свръхпроводник, но в противоположност на класическите резистори и на закона на Ом, съпротивлението не зависи от дължината на проводника.

На Фиг. 2. са показани резултати, показващи че MWNTs действително са балистични проводници при стайна температура, макар че наблюдавания квант на проводимостта е G_0 .



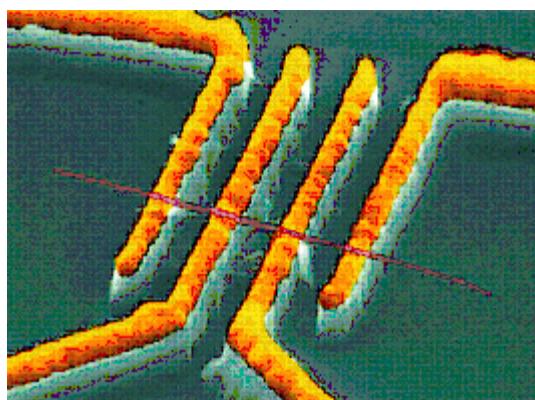
Фиг. 2. Електронно-микроскопско изображение на ансамбъл от MWNTs, монтирани върху подвижна основа (дъо Хеер и съптр.). Онази MWNT, която се подава най-много е прогресивно потопена в течен живак, който играе ролята на втори електрод. С навлизането на индивидуалните нанотръбички в метала, те допринасят с $G_0 = 2e^2/h$ към общата кванкова проводимост. Тази проводимост по всяко изглежда е балистична, т.е. тя не зависи от дължината на всяко плато.

Нашите собствени изследвания доказваха, че изучаването на електропроводимостта в MWNTs е подобно на изучаването на проводимостта в SWNTs с голям диаметър, използвайки литографски нанесени метални контакти – Фиг.3.

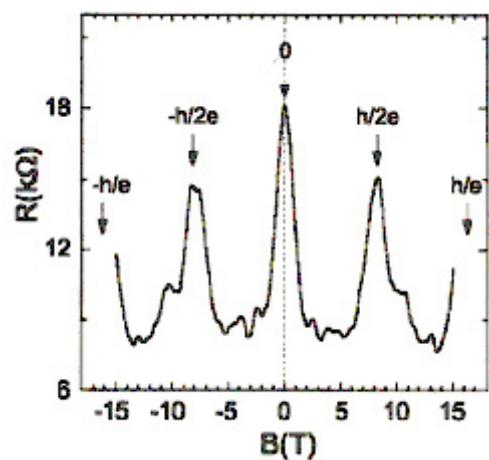
Токът тече главно по външния цилиндър на нанотръбичката. Нейното ядро играе ролята единствено на механична опора. Това не би било вярно, ако можехме да намерим начин да осъществим контакт с ядрото на MWNT или дори селективно да свързваме само вътрешни обвивки.

MWNTs имат някои специфични предимства пред SWNTs: големият им диаметър благоприятства нискоомните контакти, поради по-голямата площ на контактите. Нещо повече, големият диаметър на MWNTs позволява да се изследват явленията на квантова интерференция в магнитно поле. Най-дълбокият ефект на квантова интерференция е ефекта на Ааронов-Бом (AB), който не само показва, че електроните са вълни, но също показва, че не магнитното поле, а векторният потенциал играе основна роля. За изучаване на това явление успоредно на оста на нанотръбичката се прилага магнитно поле със сила от няколко Т. Нашите измервания на електрическото съпротивление показват осцилации с период $h/2e$ – Фиг. 4.

Осцилациите са свързани със „слаба локализация“, една демонстрация на кохерентното обратно разсейване на електроните. То се поражда от интерференционните приноси, които се сумират конструктивно при нулево поле. От това обратното разсейване нараства, водейки до съпротивление, което е по-голямо от класическото съпротивление на Друде (Drude). Това наблюдение даде неопровержимо доказателство, че дължината на фазова кохерентност, може да бъде по-голяма от периметъра на тръбичка-



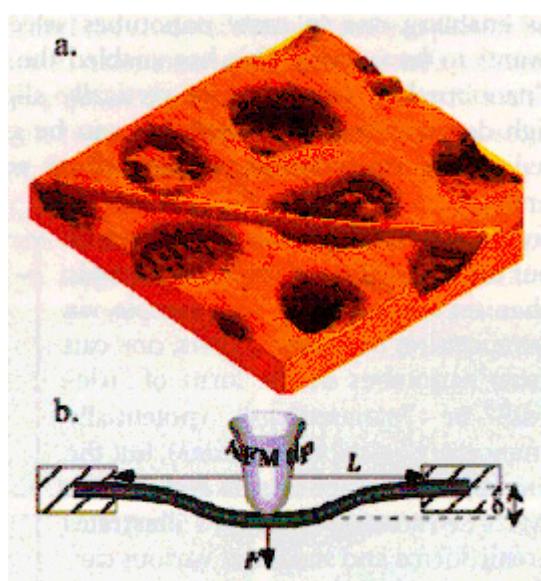
Фиг. 3. Изображение, получено чрез сканираща електронна микроскопия (SEM) на една отделна многостенна въглеродна нанотръбичка имаща четири контакта за измерване на проводимостта. За да се провери влиянието на подложката, SiO_2 под нанотръбичката е еован.



Фиг. 4. Електрическо съпротивление R като функция на магнитното поле B на MWNT ориентирана успоредно на B . Осцилациите на съпротивлението се дължат на ефекта на Ааронов-Бом. Стрелките отбелнязват максимумите на съпротивлението, отговарящи на кратни на $h/2e$ от магнитния поток през външния периметър на нанотръбичката. С това се показва, че токът тече по най-външната обвивка на тръбичката.

та. Но понеже периодът $h/2e$ (в противоположност на h/e) изиска обратно разсейване от порядъка на диаметъра на MWNT, това означава, че тези нанотръбички не са балистични проводници, а по-скоро дифузни. Въпреки това, повечето процеси на разсейване са еластични, т.е. кохерентността на електронните вълни се поддържа върху голяма дистанция.

По наше мнение противоречивите резултати за това дали имаме балистична или дифузна проводимост, дали имаме течност на Лютингер или течност на Ферми, не означава, че един експеримент е коректен, а друг не е. Това по-скоро показва, че ние все още не можем да управляваме всички параметри на експеримента. По-определените резултати тепърва предстои да се появят.



Фиг. 5. a.) 3D изображение на снопче SWNT (или на единична MWNT) получено чрез AFM (микроскопия с атомна сила), долепено към алюминиева ултрафилтрираща мембра. Получава се здраво закрепено снопче за механично тестване.

б.) Схематично представяне на измерването: сондата на AFM микроскопа прилага товар F върху частта на тръбичката с окачена дължина L и максималното изкривяване d в центъра на снопчето се записва директно от изображението; d в зависимост от F дава модула на Юнг на нанотръбичката.

Еластични свойства

Въглеродните атоми на един единичен графитов слой образуват решетка от типа на плоска медена пита, в която всеки атом е свързан чрез силна химична връзка с три съседни атома. Модулът на еластичност в основната равнина на графита е един от най-големите от всички известни материали. По тази причина се очаква, че въглеродните нанотръбички ще са влакна с изключително голяма якост.

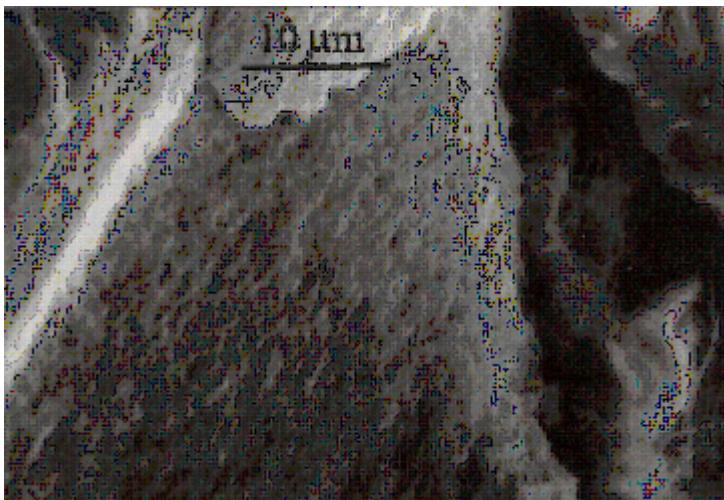
В нашата лаборатория в Лозана ние създадохме прост метод за измерване на механичните свойства на единични нанотръбички. Техниката включва отлагането на нанотръбичките от една суспензия в подходяща течност върху добре полирани алюминиеви мембрани за ултрафилтрация, с размери на порите около 200 nm – Фиг. 5. Въглеродните нанотръбички силно прилепват към алюминия, но случайно попадат и върху порите. Отклонението на подобна, окачена в двата си края тръбичка, се извлича от изображенията, получени чрез микрос-

копия с атомна сила (AFM) записани при различни сили на нормално натоварване. Измереното отклонение е обратно пропорционално на модула на Юнг. Измерено е, че той е приблизително 0.8 ТРа за нанотръбички, получени чрез дъгов разряд. За нанотръбички, получени чрез каталитично израстване, модулът е много по-малък, с един или два порядъка. Този резултат показва, че само добре подредените и високо графитизирани нанотръбички имат твърдост, сравнима с тази на графита. В противоположност, MWNTs, получени чрез каталитично израстване все още съдържат много дефекти.

В допълнение на своята висока якост нанотръбичките се държат вълшебно по отношение на големи товари. Ако приложената сила превишава якостта на огъване, една MWNT първоначално се огъва на изненадващо големи ъгли, започва да се накърдя в натиснатата страна и накрая образува иззвивки. Удивителното е, че всички тези деформации са еластични, т.е. те изчезват напълно ако товарът се отстрани. Ако прилагаме нанотръбичките като механични пружини, тези пружини ще са много твърди за малки товари, но за по-големи товари се превръщат в меки, позволявайки голямо разтягане без скъсване. Може да си мислим за създаването на обекти, които след сериозни деформации се връщат в своята първоначална форма след като товарът е отстранен.

Всички тези качества правят нанотръбичките един много привлекателен армировъчен материал за високоякостни композитни материали. Технологичното значение на леки и яки структурни материали би било огромно. Има съобщения за епокси/нанотръбички, полимер/нанотръбички композитни материали, които притежават интересни механични свойства, макар че проблемът за ефективното предаване на натоварването върху нанотръбичките все още да не е решен.

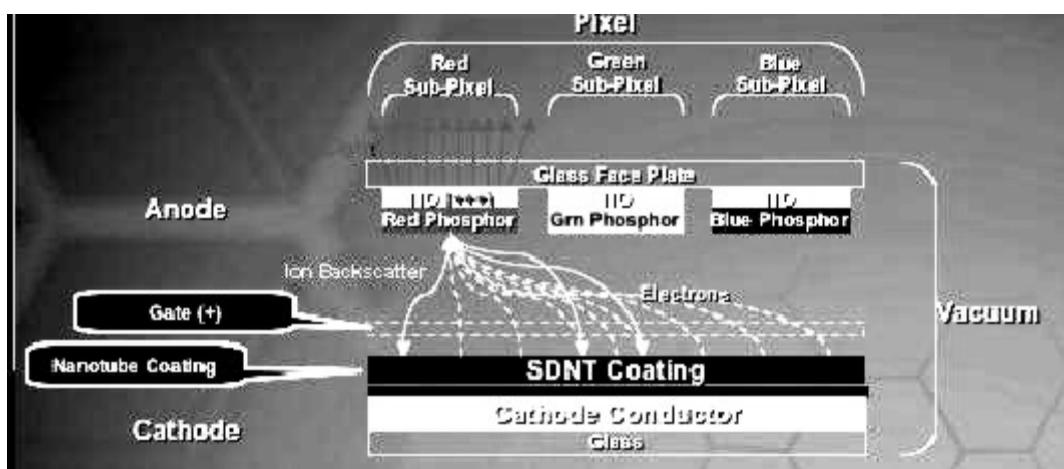
В нашата лаборатория в Лозана, се стремим да създадем метал/нанотръбички композитни материали – Фиг. 6.



Фиг. 6. SEM (сканираща електронна микроскопия) изображение на повърхността на алуминий/MWNT композитен материал. Централната част на изображението показва нанотръбичките, хомогенно диспергирани в Al матрицата.

Емитери с въглеродни нанотръбички

Полевата емисия е резултат на тунелирането на електроните от едно метално острие във вакуум при прилагането на силно електрично поле. Малкият диаметър и голямото аспектно отношение (отношението на надлъжните към напречните размери) на въглеродните нанотръбички са много благоприятни за полевата емисия. Даже за умерени напрежения на свободния край на нанотръбичката се създава силно електрично поле поради нейната заостреност. Това беше наблюдавано през 1995 г. от дъо Хеер (de Heer) и сътрудници в EPFL. Той веднага разбра, че подобни полеви емитери биха били по-добри от стандартните източници и могат да намерят място в разнообразни приложения, най-важното от които е за създаването на плоски дисплеи. Забележителното е, че само след пет години Самсунг създаде много ярък цветен дисплей, който скоро ще намери търговско приложение – Фиг. 7.



Фиг. 7. Принцип на работа на базиран върху въглеродни нанотръбички дисплей (Samsung Display Technology).

Използвайки свойствата на полева емисия от MWNT Бонард (Bonard) и сътрудници от EPFL забелязаха, че заедно с електроните се излъчва и светлина. Тази луминесценция се индуцира от полевата емисия на електрони, тъй като светлина не се регистрира, ако не е приложен потенциал.

Типична опитна постановка за изучаването на излъчването на електрон/светлина от една индивидуална нанотръбичка е показана на Фиг. 8. Излъчената светлина е във видимата част на спектъра и понякога може да се наблюдава и с невъоръжено око.

MWNTs, в конфигурацията показана на Фиг. 8, една единична нанотръбичка монтирана върху жичка, представляват също превъзходни сканиращи сонди за AFM и STM микроскопия. Нещо повече, поради излъчването на

светлина, тези сонди могат да намерят също така приложение и в сканиращата оптична микроскопия, използваща близкото поле (SNOM).

Заключение

Бъдещето на нанотръбичките изглежда блескаво.

Нанотръбичките са интересни моделни системи за фундаментални изследвания на едномерни системи, но те са не по-малко (и даже повече) привлекателни за приложните изследователи и индустрията поради голямото разнообразие на техните възможни приложения. Те дават възможност за много творчество при създаването на нови материали.

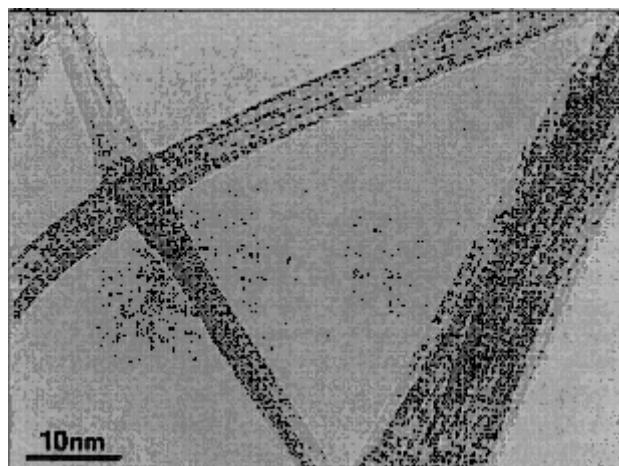
Освен разнообразието от различни структури, показани на Фиг. 1, вие може да запълните вътрешността на тръбичката с полупроводников, метален или феромагнитен материал и т.н. В тази посока е и последния пробив – едностенна нанотръбичка, запълнена с молекули C_{60} – Фиг. 9.

Когато преди няколко години Давид Лузи (David Luzzi) от университета в Пенсилвания пръв съобщи за подобни „графови шушулки“, хората помислиха, че това е една „екзотична птица“, много красива, но без никакво значение. Днес няколко лаборатории разработиха методи за запълването на SWNTs с фулерени, с възможност да се създаде една почти едномерна свръхпроводяща жица от C_{60} вътре в една нанотръбичка. Едно следващо предимство на този метод е, че в нанотръбичките могат да се вмъкнат многостепенни фулерени, съдържащи един атом в своята клетка.

Още нещо, тъй като нанотръбичките са много „дружелюбни“, много яки, те могат също така да служат като моделни системи за изучаване на манипулирането в наномаша-



Фиг. 8. SEM изображение на SWNT монтирана върху златна жичка и фотография на експерименталната постановка за изучаване на изльчването на електрон/светлина. Изльчената от нанотръбичката червена светлина се вижда с невъоръжено око.



Фиг. 9. SWNTs запълнени с фулерени.

би, които са мащабите на биологичните наномолекули, като DNA, микротубулите и протеините. Например, методът за измерване на модула на Юнг на SWNT беше директно приложен за измерване на същото свойство на индивидуални микротубули в Лозана или на електрическата проводимост на DNA в Базел, Делфт и Орсе.

Литература

1. H. W. Kroto, J. R. Heath, S. C. O'Brien, R. F. Curl, R. F. Smalley. Nature, v. 318, 1985, p. 162
2. W. Kratschmer, I. D. Lamb, K. Forostopoulos, D. R. Huffman. Nature, v. 347, 1990, p. 354
3. R. C. Haddon et al. Nature, v. 350, 1991, p. 320
4. S. Iijima. Nature, v. 354, 1991, 56
5. D. S. Bethune. et al. Nature, v. 363, 1993, p. 605
6. M. S. Dresselhaus, G. Dresselhaus and Ph. Avouris. Carbon Nanotubes, Springer Verlag, 2001.

Превод: **Динко Динев**
Europhysics News, v. 32, No 3, 2001, p. 86-90

ДОПЪЛНЕНИЕ НА ПРЕВОДАЧА

Както е описано подробно в статията, въглеродните нанотръбички са открити през 1991 г. от С. Иижима (Sumio Iijima) в NEC. Той открива многостенните въглеродни нанотръбички – Фиг. 10.

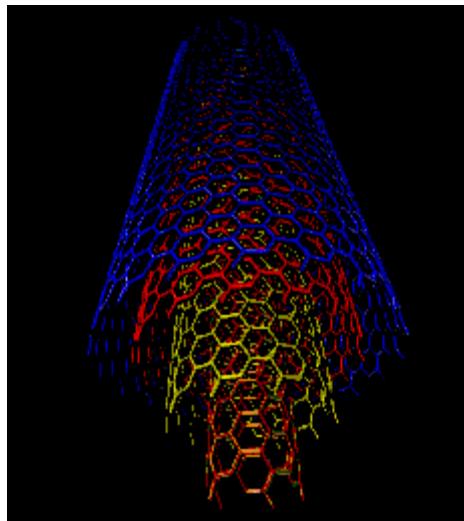
Едностенни въглеродни нанотръбички – Фиг. 11, са открити две години по-късно от Д. Бетун (Donald Bethune) в IBM.

Статията на Л. Форо и К. Шъоненбергер е публикувана през 2001 г. През последните четири години е публикувана обширна литература, както за методите за израстване на нанотръбичките, така също и за техните свойства и приложения. Ето две по-нови разработки.

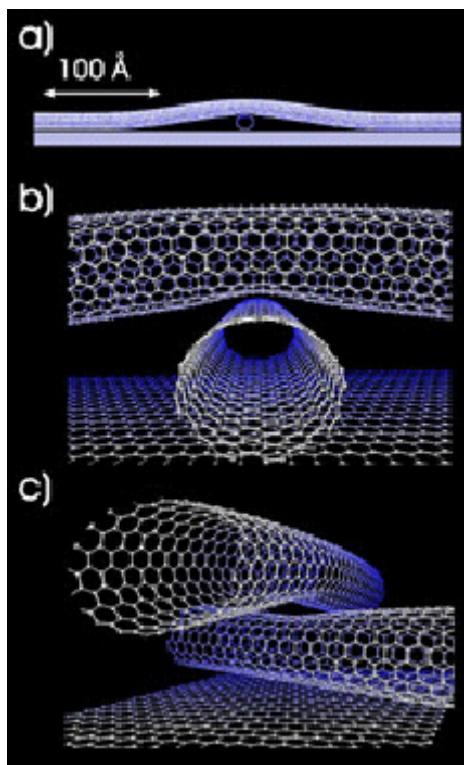
SWNT транзистор. П. Бурк (Peter Burke) и сътр. от университета в Калифорния създадоха през 2004 г. високочестотен MOS транзистор, използваш едностенна въглеродна нанотръбичка с характеристика на полупроводник. Източникът и стокът на транзистора са от злато – Фиг. 12.

Транзисторът работи при честота 2.6 GHz. Подробности могат да се намерят в: S. Li et al. Nano Letters, v. 4, 2004, p. 753.

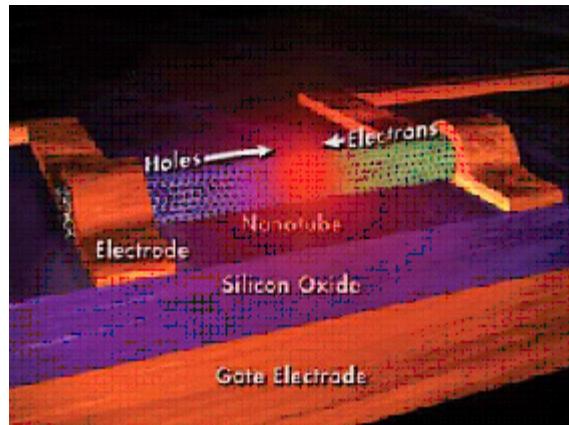
SWNT диод. През 2005 г. Ж. У. Ли (Ji Ung Lee) от GE Global Research в Ню Йорк използва едностенна въглеродна нанотръбичка, за да създаде диод с идеална волт-амперна характеристика. За да създаде р-п преход той използва два затво-



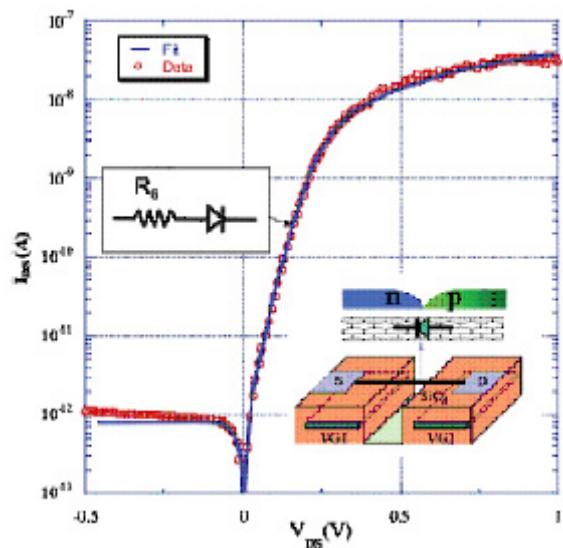
Фиг. 10. Модел на многостенна въглеродна нанотръбичка



Фиг. 11. Модел на едностенна въглеродна нанотръбичка



Фиг. 12. SWNT транзистор



Фиг. 13. SWNT диод

ра(гейта), разположени под съответната половина на нанотръбичката. Подавайки на тези затвори положително и отрицателно напрежение, той формира р-п преход в нанотръбичката, който има характеристика на почти идеален диод – Фиг. 13.

Предполага се, че по тази технология може да се създаде и светодиод (LED). Подробности могат да се намерят в: Appl. Phys. Letters, v. 87, 2005, p. 073101.

КРИЗА ВЪВ ФУНДАМЕНТАЛНАТА ФИЗИКА

Лий Смолин



При безбройно много предложени вселени и над 10^{400} допустими теории, дали опитното доказване на физичните закони е все още възможно?

Над двеста години физиците сме в бясно препускане. Нашето търсене на най-основните закони на природата беше възнаградено с непрекъснат поток от открития. Всяко десетилетие преди 1800-та година даде един или повече важни приноси към нашето знание за движението, същността на веществото, светлината, топлината, пространството и времето. През 20-ти век темпото се ускори драматично.

След това, преди около 30 години, нещо се промени. Последният път, когато имаше определен напредък в нашите знания във фундаменталната физика, беше през 1973 г. Тогава беше създадена теория, която нарекохме стандартен модел на физиката на елементарните частици. През 1981 г. беше предложена друга фундаментална теория, получила всестранна поддръжка от опита. Това е теория за ранната Вселена, наречена инфлационна (от инфлация – раздуване).

Оттогава бяха създадени и изследвани много амбициозни теории. Някои от тях бяха отхвърлени от експеримента. Останалите до този момент просто не са имали контакт с опита. През същия период почти всеки експеримент се съгласуваше с предсказанията на стандартния модел. Малкото, които не се съгласуваха, даваха толкова изненадващи резултати, че напълно объркваха теоретиците, които и досега не са способни да ги обяснят.

Нарастващата пропаст между теория и експеримент не се дължи на липсата на отворени големи проблеми. Много от работата ни след 1970 г. се водеше от два големи въпроса: 1) Можем ли да комбинираме квантовата теория и общата теория на относителността, за да създадем квантова теория на гравитацията? и 2) Можем ли да обединим всички сили и така да ги разберем в рамките на прост и напълно общ закон? Други мистерии бяха задълбочени, такива като въпроса за природата на загадъчната тъмна енергия и тъмна материя.

Традиционно физиката прогресираше чрез непрекъснато взаимодействие на теорията и експеримента. Теоретиците предлагаха идеи и принципи, които бяха изследвани чрез излагането им на прецизен математичен език. Това позволи да се направят предсказания, които след това експериментато-

рите изprobваха. Обратно, когато има изненадваща нова експериментална находка, теоретиците опитват да я моделират, за да изprobват адекватността на текущите теории.

Оказва се, че няма прецедент за разминаването между теория и експеримент, което да трае десетилетия (вж. хронологията). Ние теоретиците говорим често за това. Някои виждат временно успокоение и очакват подготовката на нови експерименти. Други говорят за нова ера в науката, в която математичната непротиворечивост е изместила експеримента като краен арбитър на теоретичната коректност. Нарастващ брой физици теоретици, между които и аз, вижда съвременната ситуация като криза, която изисква да разгледаме допусканията зад нашите досега неуспешни теории.

Ще подчертая, че тази криза включва само фундаменталната физика – онази част от физиката, която е свързана с откриването на законите на природата. Повечето физици не се занимават с това, а с прилагане на известните закони, за да разберат и контролират грамаден брой явления. Това са също важни усилия и прогресът в тази област е здравословен.

Съперничещи си теории

След 1970 година са предложени и изследвани много единни теории, вървящи под причудливи имена, като преонови модели, техниколор, суперсиметрия, брейн-светове (брейн – обемен обект в теория на струните) и по-популярната теория на струните. Теориите по квантова гравитация включват туисторната теория (на кривите и усукани пространства), модели на причинната мрежа, модели на динамична триангулация и примкова квантова гравитация. Между основанията за популярността на струнната теория са някои белези, които насочват към квантовата теория на гравитацията.

Един източник на кризата е, че много от тези теории имат голям брой свободно избираеми параметри. В резултат, някои теории въобще не правят предсказания. Но дори в случаите, когато те правят предсъзание, то не е устойчиво. Ако предсъзаната нова частица или ефект не се виждат, теоретиците могат да поддържат теорията жива, като изменят стойността на параметър, за да я направят по-трудна за улавяне от експеримент.

Стандартният модел на физиката на елементарните частици има около 20 свободно избираеми параметри, чиито стойности бяха установени опитно. Теоретиците се надяват, че една по-дълбока теория би дала обяснения за стойностите на параметрите. Има наивна, но почти всеобща вяра, че колкото по-различни сили и частици са обединени в една теория, толкова по-малко свободно избираеми параметри ще има в нея.

Това не е пътят, по който вървят нещата. Има теории с по-малко параметри от стандартния модел, като техниколор и преоновия модели. Но не е

лесно те да се съгласуват с експеримента. Най-популярните теории, като суперсиметрията, имат много повече свободни параметри. Най-простото суперсиметрично разширение на стандартния модел има 105 допълнителни свободни параметри. Това значи, че е невероятно теорията да бъде проверена в бъдещи експерименти. Дори ако теорията не е вярна, много възможни опитни резултати биха могли да стават съвместими с някакъв избор на параметрите на теорията.

Струнната теория има огромен брой версии, повечето от които имат много свободни параметри. Струнните теоретици говорят вече не за единична теория, а за широк ландшафт [1] от възможни теории. Нещо повече, някои космологози защитават идеята за безкраен брой вселени, всяка от които се управлява от различна теория. Нищожна част от тези теории може да бъде грубо съвместима със сегашните наблюдения, но това е все още голямо число, оценивано на над 10^{400} теории. (Въпреки това, нито една версия не се съгласува с всички експерименти.) Няма значение какви бъдещи експерименти ще видим, резултатите им ще бъдат съвместими със широк брой теории, което прави малко вероятно, че някой експеримент би могъл да потвърди или опровергае струнна теория.

Тази възможност изтъква на преден план сегашната криза. Стивън Уайнбърг и Леонард Съскинд обосноваха нова дефиниция за науката, в която теорията може да бъде възприета, без да бъде подложена на решаващ експеримент, чийто резултат би могъл да я погуби. Някои теоретици дори казват, че сме изправени пред избора да се откажем от струнната теория – в която теоретиците дълбоко вярват – или да се откажем от нашето изискване, че научните теории трябва да бъдат проверими. Както писа Стивън Уайнбърг в едно неотдавнашно есе [2]:

„Повечето достижения в историята на науката са били белязани с открития за природата, но в някои повратни точки имаме открития за самата наука... Сега сме може би пред нова повратна точка, радикална промяна на това, какво приемаме като легитимна основа на физичната теория... Колкото по-голям е броят на възможните стойности на физичните параметри, доставяни от струнния ландшафт, толкова повече струнната теория легитимира някои антропологични съображения като нова основа на физичните теории: всеки учен, който изучава природата, трябва да живее в част от ландшафта, където физичните параметри приемат стойности, подходящи за появата на живота и неговата еволюция до учени.“

Между безбройните теории и вселени, единствените предсказания, които можем да направим, идват от очевидния факт, че трябва да живеем във вселена, гостоприемна за живот. Ако е така, не бихме могли да подложим нашите теории на експерименти, които да ги опровергаят или потвърдят. Но, казват адетите на този възглед, ако това е пътят на Света, той е твърде лош

за старомодните пътища на правене на наука. Такова радикално предложение от толкова уважавани учени изисква обмислен отговор.

Вярвам, че не трябва да изменяме основните методологични принципи на науката, за да спасим една частна теория – дори теория, на която большинството от няколко поколения много талантливи учени са посветили своите изследователски кариери. Науката действа, защото е основана на методи, които позволяват добре обучени добросъвестни хора, отначало в разногласие, да дойдат до съгласие за това, какво може да бъде разумно изведено от общодостъпните факти. Един от най-основните принципи на науката е, че ние можем да разглеждаме като възможно верни само тези теории, които трудно могат да бъдат опровергани чрез осъществими експерименти.

Съперничещи си стилове на изследване

Мисля, че проблемът не е само в струнната теория. Той отива по-надълбоко, към цялата методология и стил на изследване. Великите физици от началото на 20-ти век – Айнщайн, Бор, Мах, Болцман, Поанкар, Шрьодингер, Хайзенберг – виждат теоретичната физика като философско усилие. Те бяха мотивирани от философски идеи и често обсъждаха своите научни проблеми в светлината на философската традиция, в която бяха като у дома си. За тях изчисленията бяха нещо вторично към задълбочаването на концептуалното им разбиране на природата.

След успеха на квантовата механика през 1920-те години, този философски път на разработване на теоретичната физика постепенно се загуби към по-прагматичен и високомерен стил на изследване. Не че всички философски проблеми бяха решени – напротив, квантовата теория въведе нови философски разногласия и възникналото противоречие има все още да се решава. Но фактът, че никакви философски аргументи не решиха дебата за квантовата теория, изигра известна роля в дискредитирането на философските мислители. Сметна се, че докато философският подход навсярно е бил необходим за създаване на квантовата теория и теорията на относителността, след това има нужда от физици, които могат да работят прагматично, игнорирайки фундаменталните проблеми, да възприемат квантовата механика като дадена и да я използват. Онези, които нямаха опасения за квантовата теория или можаха да ги превъзмогнат, успяха през следващите десетилетия да направят много приноси в цялата физика, химия и астрономия.

Придвижването към по-прагматичен подход във физиката беше завършено, когато центърът на тежестта във физиката се придвижи към Съединените Щати през 40-те години на миналия век. Файнман, Дайсън, Гел-Ман и Оренхаймер познаваха нерешените фундаментални проблеми, но те създадоха стил на изследване, в който размишлението върху тях нямаше място в изследването.

По времето, когато аз учех физика през 1970-те, преходът беше завършил. Когато ние студентите повдигахме въпрос от фундаментален характер, ни се казваше, че никой не го разбира и че не е продуктивно да се мисли за това. „Мълчете и смятайте“ беше заклинанието. Като абсолвент ми беше казано от моите преподаватели, че не е възможно да се направи кариера, ако се работи върху основите на физиката. Моите наставници казваха, че няма интересни нови експерименти в тази област, където физиката на елементарните частици беше водена от непрекъснат поток от нови експериментални открития. Единственият фундаментален проблем, който беше отчасти толериран, беше квантовата гравитация.

Това отхвърляне на фундаменталното мислене се разпростря и върху пренебрежението към математичната строгост. Нашето ползване на теории беше основано на полуготови изчислителни методи и интуитивни аргументи. Имаше фактически добри основания да се вярва, че стандартният модел на физиката на елементарните частици, строго взето, не е състоятелен. Като абсолвент в Харвард ме учеха да не се тревожа за това, защото контактът с експеримента беше по-важен. Фактът, че предсказанията се потвърждаваха, значеше, че нещо беше правилно, дори да имаше празници в математичните и концептуалните основи, които да се запълнят по-късно.

В ретроспекция, изглежда вероятно, че този стил на мислене, в който концептуалните загадки и спорни въпроси за математична строгост са игнорирани, може да има успех само, ако е тясно свързан с експеримента. Когато контактът с експеримента прекъсна през 80-те години, попаднахме в безprecedентна ситуация. Струнните теории са разбрани от математична гледна точка така зле, както и по-старите теории, и повечето от нашите разсъждения за тях са основани на догадки, които остават недоказани много години на всяко ниво на строгост. Ние нямаме дори прецизна дефиниция на теорията, било от гледна точка на физични принципи или математика. Нито имаме каквато и да е основателна надежда да доведем теорията до контакт с опита в предвидимо бъдеще. Трябва да се питаме колко вероятно е този стил на изследване да успее в своите цели да откриване на нови законости на природата.

Трудно е да си в несъгласие с большинството от научната си общност. Но след много размишления аз дойдох до заключението, че прагматичният стил на мислене е погрешен. Към 1980 г. ние вероятно бяхме стигнали толкова далеч, колкото е възможно, следвайки тази прагматична, антифундаментална методология. Щом бяхме се провалили в решаването на ключовите проблеми на квантовата гравитация и унификация по начин, който да подхожда на опита, може би тези проблеми не могат да бъдат решени със стила на изследване, който физиците теоретици бяха усвоили. Може би проблемите за

унификацията и квантовата гравитация са вплетени във фундаменталните проблеми на квантовата теория, както Роджър Пенроуз и Джерард т Хуфт мислят. Ако те са прави, хиляди теоретици, които игнорират фундаменталните проблеми, са си загубили времето.

Има подходи към унификацията и квантовата гравитация, които са по-фундаментални. Някои от тях се характеризират със свойство, което наричаме фонова независимост. Това значи, че геометрията на пространството е условна и динамична; тя не осигурява фиксирана основа за природните закони, които могат да бъдат дефинирани. Общата теория на относителността е фоново независима, но стандартното формулиране на квантовата теория – по-специално в приложение към физиката на елементарните частици – не може да се дефинира без спецификация на определена основа. На това основание физиката на елементарните частици среща трудност при включването на общата теория на относителността.

Струнната теория израства върху физиката на елементарните частици и поне засега е единствено успешно определена върху фиксиран фон. По такъв начин всяка от безбройните струнни теории, които познаваме, е свързана със своя уникален пространствено-времеви фон.

Физиците, които считат, че теориите трябва да бъдат фоново независими, имат философски уклон, повече в традициите на Айнщайн. Търсенето на фоново независим подход към квантовата гравитация беше продължено от такива философски изтънчени учени като Баез, Крис Ишам, Фотини Маркопул, Карло Ровели и Рафаел Соркин, които понякога дори са канени на философски конференции. Това не е чудно, защото дебатът между онези, които мислят пространството като фиксирана структура, и онези, които мислят за него като мрежа от динамични отношения, ни връща към диспутите между Нютон и неговия съвременник, философа Лайбниц.

Междувременно, мнозина от онези, които продължават да отхвърлят Айнщайнновото наследство и работят с фоново зависими теории, са теоретици на частиците, които се носят върху прагматичното наследство „мълчи и смятай“, в което са обучавани. Ако те се колебаят да приемат урока на ОТО, че пространството и времето са динамични, то е може би защото има разминалане, което изисква определена доза критични разсъждения в по-философски стил.

И така, аз подозирам, че кризата се дължи на игнориране на фундаментални резултати. Ако това е вярно, проблемите на квантовата гравитация и унификацията могат да се решат само чрез връщане към стария стил на изследване.

Доколко това може да се случи? През последните 20-ина години имаше известно оживление на фундаменталния стил на мислене. То се прояви глав-

но извън Съединените Щати, но започва да цъфти в няколко центъра в Европа, Канада и другаде. Този стил доведе до твърде впечатляващи резултати, като идеята за квантовия компютър. Докато това беше предложено по-рано от Файнман, ключовата стъпка, която катализира областта, беше направена от Дейвид Дойч, твърде независим фундаментален мислител, живеещ в Оксфорд. През последните няколко години експерименталната работа върху основите на квантовата гравитация се придвижи по-бързо от експерименталната физика на элементарните частици. А някои водещи експериментатори в тази област, като Антон Цайлингер във Виена, говорят и пишат за техните експериментални програми в контекста на философските проблеми, които ги мотивират.

Днес има много оптимизъм и въодушевление сред квантовата гравитационна общност за подходите, които принципът на фоновата независимост обхваща. Едно основание е, че според нас някои текущи експерименти наистина изпитват аспектите на квантовата гравитация; някои теории са вече изключени, а други ще бъдат изпитани чрез очакваните скоро резултати.

Забележителна черта на фоново независимите подходи към квантовата гравитация е, че те предполагат, че физиката на элементарните частици и дори самото пространство-време се проявяват като колективни явления. Това подразбира обръщане на йерархичния път на виждане в науката, в който физиката на элементарните частици е най-„фундаментална“ и механизмите, чрез които се проявяват комплексното и колективното поведение, са по-малко фундаментални.

Така, докато новите фундаментални подходи са следвани все още от малцинство теоретици, перспективата е твърде обещаваща. Имаме два съревноваващи се стила на изследване. Единият, който преди 30 години беше следвания път, сега се намира в криза, защото не прави опитни предвиждания, докато другият се развива здравословно и дава опитно проверими хипотези. Ако историята и здравият смисъл са някакво ръководство, би трябвало да очакваме, че науката ще прогресира по-бързо, ако инвестираме по-вече в изследвания, които контактуват с експеримента, отколкото в стила на изследване, който търси да поправи методологията на науката, за да оправдае факта, че не може да прави проверяеми предсказания за природата.

Литература

1. Lee Smolin, *The life of the Cosmos* (Oxford, 1997).
2. Steven Weinberg, *Living in the multiverse* (Preprint hep-th/0511037, November 2005).

Приложение

Хронология на фундаменталните физични открития след 1780 г.

Прогресът в нашето знание за природните закони, състоящ се от експериментални открития или експериментално потвърдени теоретични предвиждания

1782	Запазване на веществото, Лавоазие
1785	Потвърждение на закона за обратните квадрати при електричеството, Кулон
1801	Вълнова теория на светлината, Юнг
1803	Атомна теория на веществото, Далтон
1806	Кинетична теория, Юнг
1814	Вълнова теория на светлината, интерференция, Френел
1820	Доказателства за електромагнитните взаимодействия, Ампер, Био, Савар
1824	Анализ на циклите на идеалния газ, машина с вътрешно горене, Сади Карно
1827	Съпротивление и т.н., Ом
1838	Силови линии, полета, Фарадей
1838	Земно магнитно поле, Вебер
1842-3	Запазване на енергията, Юлиус Роберт Майер, Уилям Томсън
1842	Доплеров ефект, лорд Келвин
1845	Фарадеево въртене (светлинно и електромагнитно)
1847	Запазване на енергията (2), Джайл, фон Хелмхолц
1850-1	Втори закон на термодинамиката, Рудолф Клаузиус, Келвин
1857-9	Кинетична теория, Клаузиус, Джеймс Кларк Максуел
1861	Черно тяло, Кирхоф
1863	Ентропия, Клаузиус
1864	Динамична теория на електромагнитното поле, Максуел
1867	Динамична теория на газовете, Максуел
1871-89	Статистическа механика, Болцман, Гибс
1884	Болцман извежда закона на Стефан за излъчването
1887	Електромагнитни вълни, Херц
1893	Закон на Вин за лъчението
1895	Рентгенови лъчи
1897	Електрон
1900	Формула на Планк за лъчението
1905	Специална теория на относителността, Айнщайн
	Фотоелектричен ефект, Айнщайн
	Брауново движение, Айнщайн
1911	Принцип на еквивалентността
	Откриване на ядрото
	Свръхпроводимост
1913	Атом на Бор
1916	Обща теория на относителността, Айнщайн
1919	Огъване на светлинните лъчи
1922	Фридман предлага разширяваща се вселена

1923	Опит на Щерн и Герлах Веществени вълни Галактики Потвърждаване на корпускулярната природа на фотона
1925-7	Квантова механика
1925	Изясняване на звездната структура
1927	Льометр предлага „Големия взрив“
1928	Предсказване на антивеществото
1929	Хъбъл потвърждава разширяването на вселената
1932	Потвърждение на антивеществото Откриване на протона
1933	Откриване на тъмната материя
1937	Откриване на мюона
1938	Откриване на свръхфлуидността Разбиране на произхода на звездната енергия
1939	Откриване на деленето на урана
1944	Теория на магнетизма
1947	Откриване на пиона
1948	Квантова електродинамика
1956	Откриване на неутронното неутрино
1956-7	Откриване на нарушаването на четността
1957	Обяснение на свръхпроводимостта
1959-60	Роля на топологията в квантовата физика
1962	SU(3) теория на силните взаимодействия Откриване на мюонното неутрино
1963	Предсказване на кварките
1967	Обединяване на слабото и електромагнитното взаимодействия Възниква проблемът за слънчевото неутрино
1968	Откриване на пулсарите (неутронните звезди)
1970-3	Експериментални доказателства за кварките
1971	Създаване на стандартния модел на елементарните частици
1974	Свръхфлуидност на хелий-3 Предсказване на излъчването на черните дупки
1975	Ренормализационна група
1977	Открит очарованият кварк
1978	Открит тау-лептонът
1978	Открит долният (b) кварк
1980	Откриване на тъмна материя в галактиките
1981	Квантов ефект на Хол
1981	Предложена теория за раздуването на вселената
1985	Открит кондензат на Бозе-Айнщайн
1995	Намерен върховият (t) кварк
1998	Откриване на тъмната материя
2003	WMAP наблюдения на космичния микровълнов фон

Превод: А. Каракоянов

A crisis in Fundamental Physics, Update,
New York Academy of Sciences Magazine, Jan./Febr. 2006, 10-14.

МЕЖДУНАРОДНА КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ЯДРЕНИ МЕТОДИ ЗА НЕЯДРЕНИ ПРИЛОЖЕНИЯ

Чавдар Стоянов, Христо Протохристов

Предмет на ядрената физика е изследването на явления и процеси в материята на фундаментално, микроскопично ниво, недостъпно за други експериментални методи. Съвременното технологично развитие, характеризиращо се с прогресивна миниатюризация, е достигнало вече размерностите на молекулите и атомите, това са т. нар. нанотехнологии. Проникването дълбоко в микрокосмоса наnanoструктурите, с богато многообразие от нови явления и взаимодействия, подвластни на законите на квантовата механика, изисква подходящи средства, каквито са тъкмо методите на ядрената физика. Последните навлязоха бързо в почти всички сфери на модерната наука и техника, понякога далеч от специфичната ядрена тематика. Доказателство за това развитие е непрестанното усъвършенстване и прецизиране на ядрено-физичните методи и разширяването на областите на приложение, които обхващат вече широк периметър, от най-разнообразни направления на високите технологии до медицина и археология. България разполага със значителен научен потенциал в областта на ядрената физика, чието по-нататъшно развитие в посока на приложение на ядрените методи в други области на наука-та и стопанството би открило добри перспективи за напредък на страната към интелектуализация на производството и на сферите, отговорни за качеството на живот. С тази цел, настоящата конференция постави начало на ползтворен научен обмен между водещи български и чуждестранни експерти по ядрени методи, който да представя най-новите постижения, новите области на приложение и да информира и заинтересува специалисти, работещи в други области.

Първата конференция по ядрени методи за неядрени приложения се състоя от 27 до 30 септември 2006 г. в хотел „Лилия“ в курорта „Златни пясъци“ край Варна. Конференцията е



Фиг.1. Лого на проекта „CECOA“ и на конференцията, финансирана със средства от проекта.

интегрална част от програмата на проекта „СЕСОА“ на Института за ядрени изследвания и ядрена енергетика (ИЯИЯЕ), която има за цел да разширява и разпространява приложението на ядрените методи в различни области на науката, промишлеността, екологията, медицината и др. В конференцията взеха участие 17 изтъкнати чуждестранни учени и специалисти от водещи европейски институти и от Русия. От българска страна участваха 27 изследователи, специалисти и експерти от ИЯИЯЕ, Института по електроника (ИЕ) и СЕНЕЙ при БАН, от Пловдивския университет „Паисий Хиландарски“, експерти от Агенцията за ядрено регулиране (АЯР), специалисти от средни и малки предприятия. Формално, конференцията получи европейско измерение, тъй като официалното откриване съвпадна с обявяване на предстоящото приемане на Република България в Европейския съюз.

На конференцията бяха изнесени 47 доклада, обзорни и специализирани, обхващащи широк спектър от приложения на ядрените методи в различни области като: физика на твърдото тяло, нанотехнологии, нови материали, нови енергийни източници, радиоекология, радиоактивни отпадъци и трансмутация на ядрено гориво, нови методи за диагностика и терапия в медицината, наномедицина и пр.

Конференцията бе открита от ръководителя на проекта „СЕСОА“ чл.кор. Чавдар Стоянов (**Фиг. 2**). В доклада бяха представени основните цели, звена на програмния колектив и инструментите на проекта, както и получените до сега резултати от изпълнението на програмата. Беше подчертано важно-

то значение на изграждането и разширяването на международни и локални мрежи за научни контакти, на увеличаване на обмена и разпространението на информация, знания, умения и иновативни методи и технологии. Именно в тези стратегически направления бе ориентирана и програмата на конференцията.

Докладите бяха групирани по сесии



Фиг.2. Откриване на конференцията от чл.кор.проф.д.фн. Чавдар Стоянов, ръководител на проект „СЕСОА“.

в следните основни направления: приложение на неutronните методи и методите на Мъосбауеровата спектроскопия в авангардни нанотехнологии и на-
номедицина, приложение на ядрената спектроскопия за трансмутация и ра-
диоекология.

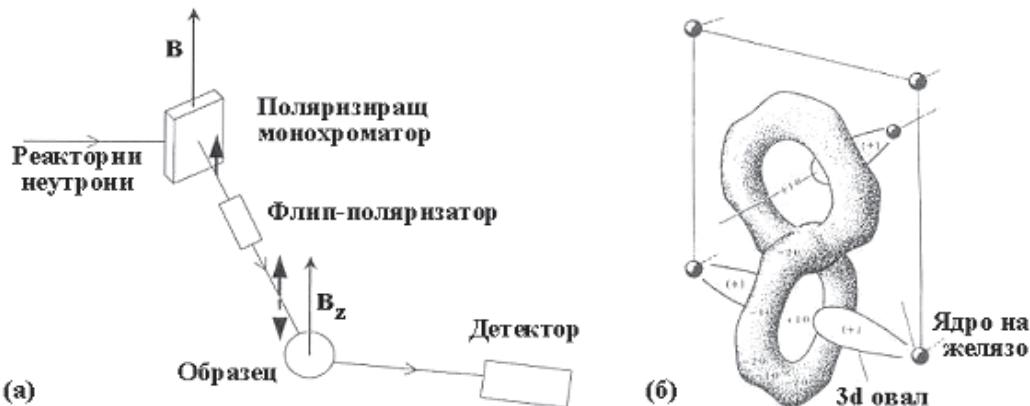
Важно място в програмата на конференцията бе отделено на основни ядрени методи, получили интензивно развитие в България и дали значителни приноси в световната наука. Традиционно свързани с базовото ядренофизично съоръжение – реакторът ИРТ-2000, са неutronната физика, с нейните многобройни методи, радиохимията и производството на изотопи, мъосбауеровата спектроскопия, ядрената спектроскопия, позитронната анихилация, ядрените аналитични методи, ядрената екология и др. направления. Съз-
дълбочаване на международното сътрудничество, тези методи бяха усъвър-
шенствани и областите им на приложение значително разширени, чрез учас-
тие на наши специалисти в научно-изследователските програми на големите европейски и световни ядрени центрове. Бурното развитие на високите тех-
нологии през последните години откри нови неподозирани перспективи за приложение на ядрените методи за изследване на нови материали и нови енергийни източници, в нанотехнологиите, медицината, ядрената енергети-
ка, екологията, ядрена безопасност и пр. Актуални аспекти на тези интердис-
циплинарни изследвания бяха също застъпени в тематиката на конференци-
ята.

Неutronни методи

Използването на неutronи за изследване структурата на веществото е едно от пионерските методични направления, което продължава да бъде и днес особено актуално. Както останалите субатомарни частици, неutronите се подчиняват на законите на квантовата механика и проявяват вълнови и корпускулярни свойства. Дължината на вълната на неutronите (от порядъка на $1/10$ нм) съответства на разстоянията между атомите и молекулите във веществата в твърдо и течно агрегатно състояние. Следователно при взаимодействие с веществото, например с подредена структура от атоми или молекули в кристалната решетка, неutronните вълни се отразяват, или разсейват. Разсояните от еднакво пространствено ориентирани атомни равнини в кристала вълни, интерфеират и произвеждат характерен дифракционен спек-
тър. Спектърът се състои от серия от линии, чиято площ се определя от броя на разсояните неutronи и той носи информация за пространственото разпре-
деление на атомите.

За различните видове материали се прилагат различни методи на неutronно разсейване. По-големи молекули и ансамбли от атоми, например полимерни съединения, се изследват чрез разсейване под малки ъгли и изискват инструменти с висока разделителна способност. Движението на атоми и

молекули може да се изследва посредством процеса на обмен на енергия между неutrona и образеца (нееластично разсейване). От друга страна, много малки изменения в енергията, измерена при ниски температури, могат да дадат сведения за сложни квантови процеси в екзотични материали.



Фиг.3. Установка за изследване на магнитни материали с поляризиани неутрони: а) блок схема с ход на неутронния сноп, б) плътност на несдвоените електрони (предимно с $3d$ конфигурация) в елементарна клетка на желязо.

Неутроните са електронеутрални частици, но притежават магнитен момент (спин), който може да взаимодейства със спина на електроните в изследваното вещество. Поляризиани неутрони, чиито магнитни моменти са ориентирани в една посока, са уникално средство за изследване на екзотични материали с комплексни магнитни структури – област на нарастващ интерес. При стайна температура магнитните моменти са хаотично ориентирани и неутроните взаимодействват само с ядрения магнитен момент, докато при ниски температури към ядрената компонента се прибавя и електронна. На **Фиг. 3а** е показана установка за изследване с поляризиани неутрони. В поляризация монокроматор се извършва селекция по енергия на реакторните неутрони и те се поляризират. С помощта на флип-поляризатор, поляризацията на неутроните може да се превключи на 180° преди достигане на поляризирания образец. За всяко Брегово отражение се правят две измервания – с паралелно и антипаралелно поляризиани неутрони. По този начин може да се изследва електронната плътност в магнитни материали, например в елементарната клетка на желязо (**Фиг. 3б**). През последните години в техниката се използват мощни магнити от композитни материали като желязо и кобалт с примеси на редкоземни елементи като самарий, неодим и др. Взаимодействието на магнитните моменти на различните видове атоми е твърде сложно и все още недостатъчно добре изучено. Методите на поляризираните

неutronи разкриват важни детайли на магнитната структура и по-този начин допринасят за създаване на нови по-качествени магнитни материали.

Новите магнитни материали са от особено важно значение и за създаване на компактни носители на информация. Дисковите запаметяващи устройства, например, работят с магнитен материал, който се магнетизира на много ограничена площ, чието поле се регистрира чрез промяна на електрическото съпротивление в четящата глава – ефект наречен магнетосъпротивление (magnetoresistance). Магнитните свойства на тънки слоеве, подходящи за производството на нови запаметяващи устройства поради т. нар. ефект на Гигантско магнитно съпротивление (200 пъти по силно от нормалното магнитно съпротивление), се изследват с поляризиранi неutronи, които дават информация за ориентацията на спина. Поляризираните неutronи се отразяват от повърхността и интерфейсите на магнитните слоеве, като показват структурата на слоевете, а също така тяхната магнетизация.

Създаването на нови енергийни източници, по-специално на т. нар. горивни клетки, които трябва да задоволяват нуждите на транспорта, е приоритетна задача, свързана с намаляване на емисията на CO_2 в атмосферата. Интегрална част от тази задача е изследването на съответните анодни и катодни материали. Тяхната електронна и йонна проводимост се променя с прибавяне на иони с различна валентност и размери. Проводимостта зависи също така от работната температура, която може да се мени в широки граници. С помощта на неutronна дифракция се изследва подреждането на атомите и създаването на кислородни ваканции в зависимост от температурата и химичния състав, което от своя страна позволява да се направят изводи за влиянието на структурата върху проводимостта.

Друга област с интензивно приложение е изследването на тънки слоеве и многослойни материали. Тук трябва да се има предвид, че повечето най-важни биологични, химични, електронни и магнитни явления протичат по повърхности или интерфейси. При подходящо избрани условия, неutronите могат да бъдат отразени от повърхности или интерфейси, така че експериментът да позволи определяне дълбочината, структурата и динамиката на слоевете.

Особено важна за сигурността на енергийни и транспортни системи е оценката на остатъчните ефекти от стресови натоварвания на използваниите материали. Такава оценка може да се направи въз основа на микроскопични изследвания с метода на неutronната дифракция, приложим за всички кристални материали с инженерно приложение. Подходящи източници на неutronи са новото поколение високопоточни реактори, например реактора в Изследователския център в Петен, Холандия, където са били получени нови резултати, докладвани на конференцията.

Повечето от докладваните изследвания в областта на неutronните мето-

ди са съвместни разработки на Лабораторията по неutronна оптика и структурен анализ и Лабораторията за неutronно-физични изследвания на кондензирани среди на ИЯИYE и водещи чуждестранни институти.

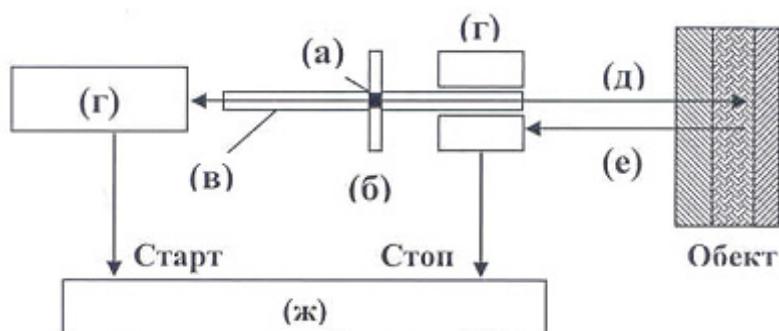
Мъосбауерова спектроскопия

Ефектът на Мъосбауер, или ядрен гама-резонанс, е свързан с резонансно излъчване или поглъщане на гама-кванди от атомни ядра в твърдо тяло без изменение на вибрационната енергия на тялото, т.е. в процес на безоткатно излъчване и поглъщане. Мъосбауеровата спектроскопия обединява различни методи, които използват ефекта за изследване на физичните и химични свойства на кондензирани среди, най-вече твърди тела, а също така за изучаване на микроскопични обекти – атомни ядра, иони, химични и биологични комплекси в твърди вещества. Особено предимство на метода е използването на ^{57}Fe източник, тъй като желязото е един от най-разпространените елементи в природата, а същевременно важен технологичен материал с изразени електрически, магнитни и др. свойства. В допълнение, вероятността за резонансно поглъщане за гама-линията (14,41 кеВ) е 200 пъти по-голяма от тази за фотоабсорбция. С помощта на Мъосбауеровата спектроскопия могат да се изследват много малки концентрации от порядъка на $10^{-6}\%$. От изменението на вероятността за ефекта и температурното отместване на резонансните линии може да се получи, също така, информация за средноквадратичните премествания и скоростите на атомите, които съдържат резонансни ядра. Методът се използва и за изследване на вибрационните движения на частици в твърди тела, по-специално в близост до структурни и магнитни фазови преходи.

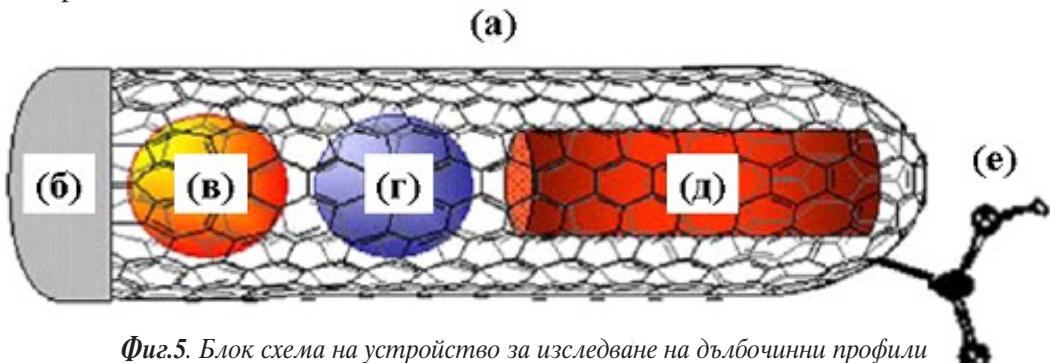
Една нова област, където приложението на Мъосбауеровата спектроскопия се оказа особено полезно е наномедицината. На тази тема бяха посветени няколко доклада, включващи изследвания и технология на производство на т. нар. наноконтеинери и тяхното приложение в диагностиката и терапията, по-специално на урологични заболявания. Наноконтеинерите са изградени от въглеродни нанотръбички (Carbon Nano Tubes – CNT) и имат форма на цилиндър с външен диаметър 5-150 нм, вътрешен диаметър 2-30 нм и дължина 1-15 мкм, затворени са от едната страна постоянно, а от другата посредством подвижно капаче. Съдържат лекарство, температурен сензор от активно вещество за ядрено магнитен резонанс и феромагнитна част от алфа-желязо (**Фиг. 4**). Използват се за диагностика и за лечение на карциноми с химиотерапия чрез локално внасяне на медикаменти и с хипертермия (локално нагряване до 47°C) при въздействие върху феромагнитната част с външно високочестотно поле. С помощта на методите на Мъосбауеровата спектроскопия се изследват най-важните характеристики на наноконтеинерите като количеството и структурата на феромагнитния материал, механизмите и динамиката на неговото натрупване. Тези изследвания се провеждат в рам-

ките на сътрудничество между Лабораторията по Мъсбаурова спектроскопия на ИЯИЕ, Техническия университет Дрезден и Физическият факултет на Университета на Пенсилвания.

През последните години ядрените методи за компютърно създаване на образи намериха широко приложение в диагностиката, например в позитронно-емисионната томография (ПЕТ), и др., като периметърът на приложение се разширява в различни сфери на промишлеността и живота. В тази актуална тематика попада и представеният нов томографски метод за едностррано сондиране на дълбочинната структура на плътни среди, непрозрачни за микровълново и оптично лъчение, с помощта на спонтанно излъчени гама-фотони. В съответното устройство (Фиг. 5), чрез анализ на спектъра по енергия и време на пристигане на обратно разсеяните гама-фотони могат да бъдат определени еднозначно разпределенията на коефициентите на обратно Компътъново разсейване и на екстинкция в даден обект. Тези коефициенти са специфични за различните вещества и позволяват разпознаването им и определянето на плътността им, а оттам и на разпределението на различни материални компоненти в обекта.



Фиг.4. Принципна схема на наноконтейнер за диагностична и терапевтична употреба: а) тяло от въглеродна нанотръбичка (CNT), б) капачка с термично активиране, в) препарат за химиотерапия, г) температурен сензор от активно вещество за ЯМР, д) феромагнит, е) функционална група.



Фиг.5. Блок схема на устройство за изследване на дълбочинни профили със спонтанно излъчени гама-квантни: а) източник на позитрони и конвертор, б) защита, в) колиматори, г) детектори, д) 511 кеВ гама-фотон, е) обратно разсеян гама-фотон, ж) блок за натрупване и анализ.

Разработката е резултат на съвместни изследвания в Лабораторията по лидерно сондиране към ИЕ и Лабораторията по ядрена спектроскопия към ИЯИЕ.

Трансмутация и радиоекология

Приложението на ядрените методи за трансмутацията беше предмет на редица доклади. Трансмутацията, т.е. превръщане на елементите, е един от най-перспективните методи, осигуряващи „чисто“ бъдеще на ядрената енергетика. Идеята, предложена от проф. Карло Рубия, лауреат на Нобелова премия по физика и тогавашен директор на ЦЕРН, се състои в облъчване на отработено ядрено гориво от АЕЦ с интензивни снопове от неutronи, получени в ядрени реакции на ускорители. За целта могат да се използват също високопоточни ядрени реактори или, в по-ново време, специализирани високоинтензивни източници на неutronи. При облъчване с неutronи, дългоживеещите радиоактивни продукти на деленето ^{99}Tc , ^{125}Cs и ^{129}I се превръщат в изотопи с кратък период на полуразпад. По същия начин се преработват и актинидите ^{237}Np , ^{237}Pu , ^{242}Pu , ^{241}Am натрупани в горивото. Така се елиминира силната радиоактивност и рисковете при продължително складиране на отработеното гориво.

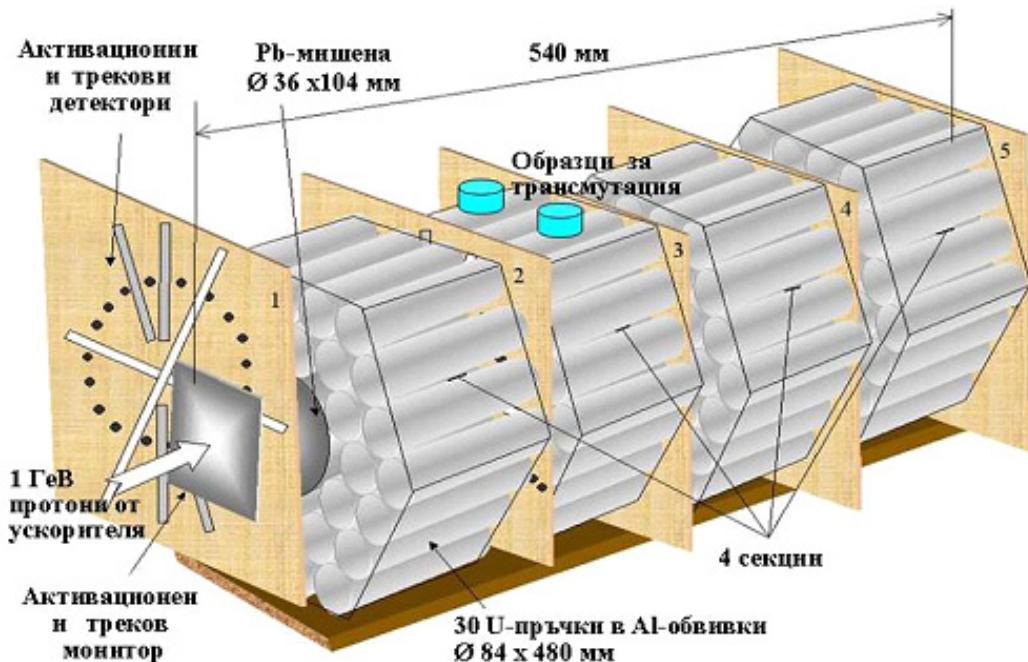
Изследването на многочастичната ядрена система при високи енергии е от важно значение за оптимизиране на процесите на трансмутация, за ефективно производство на неutronи и екзотични ядра, за създаване на подкритични ускорителни системи (ADS – Accelerator-Driven System) и др. При облъчване на мишени от тежки ядра, например олово, с протони с енергии около и над 1 ГeВ, протича реакция на дълбоко разцепване (spallation) на ядрото, последвана от т.нар. мултифрагментация, при която се образуват различно тежки ядра-фрагменти и частици. Изследването, в експериментален и теоретичен аспект, на процеса на мултифрагментация, по специално на разпределението по маси и енергии на продуктите, дава информация за подбор на мишенините, за сеченията на взаимодействие и пр.

На тази тематика бяха посветени няколко доклада, представящи нови разработки в GSI и CERN. Интересен подход, който допълва съществуващите експерименти, е използването на т.нар. обратна кинематика, т.е. когато мултифрагментацията се наблюдава при бомбардиране на мишена от леки ядра (водород) с ускорени тежки ядра. В теоретичен аспект реакцията на дълбоко разцепване се разглежда като нееластично взаимодействие с разреждане чрез изпарение, мултифрагментация и делене като най-новите модели, напр. (INCM – Intranuclear Cascade model) дават описание на кинематиката на процеса и позволяват да се пресметне спектъра на излъчените частици и добива на остатъчни ядра. Следва да се отбележи, че тези изследвания имат и фундаментално значение за изясняване процесите на нуклеосинтез, т.е. на образуването и разпространението на елементите във Вселената.

Друг много важен проблем на трансмутацията е свързан с точното определяне на сеченията на захват на неutronите в изотопните продукти на ядреното делене. Особено подходящ за такива изследвания е гама-спектрометричният метод с висока разделителна способност, който гарантира висока точност на измерванията с условия на експеримента, близки до реалните. Приложението на метода бе илюстрирано с експерименти за определяне ефективността на трансмутация на йод, нептуний, плутоний и америций в рамките на проекта „Енергия плюс трансмутация“, който визира създаването на действаща пилотна установка за трансмутация. В експериментите се облъчва субкритична сборна мишена с протони от ускорителя „Нуклотрон“ в ОИЯИ-Дубна. Вследствие на реакцията на дълбоко разцепване в оловна мишена се получава сноп от бързи неutronи, който облъчва урановите компоненти, предизвиквайки делене. В така създаденото неutronно поле се облъчват образци за трансмутация. Трансмутацията се изследва чрез „off line“ анализ на гама-спектри, като се пресмята абсолютният добив за голям брой произведени ядра. Тези данни се използват за оптимизиране на компютърни програми, с които се извършват моделни пресмятания за управление на процеса на трансмутация. От българска страна в проекта участва Лабораторията по ядрена спектроскопия на ИЯИЯЕ.

Радиоекология

Особено важни за България са проблемите, свързани със възстановяването на терени и почви, засегнати от уранодобивната промишленост. В тази връзка, с финансиране по програмата „Фар“ на ЕО, беше реализиран няколкогодишен проект по обезопасяване на обекти в с. Бухово, с. Елешница и гр. Доспат. В материалите на конференцията се съдържа ценна информация по изпълнение на програмата за радиационна защита в рамките на проекта „Инженерни дейности по закриване на урановите рудници в Елешница и Доспат“. Представени са използвани методи и резултатите от радиологичния мониторинг преди, по време на изпълнението и след окончателното завършване на проекта (**Фиг.6**). Мониторингът с мобилни прибори е допълнен и прецизиран чрез измерване на проби с гама-спектрометър с висока разделителна способност, което доведе до повишаване на точността на определяне на активностите. Значителна част от тези измервания са проведени в Лабораторията по ядрена спектроскопия. В резултат на санирането на урановите рудници, обработката на табаните, покриването на хвостохранилищата с радиоактивно чист материал и затревяването, заедно с изолирането и отвеждането на околните води, се е подобрило значително състоянието на околната среда. Регулярни ядрено-спектрометрични изследвания на водите на река Места изключват напълно трансгранични пренос на радионуклиди към съседна Гърция.



Фиг.6. Сборна мишена на установката за изследване процесите на трансмутация и производство на неутрони в рамките на проекта „Енергия плюс трансмутация“.

Друг обществено значим въпрос е оценката на радиоактивното замърсяване в резултат на аварията в Чернобил. Такава оценка за голям район, с площ над 40 km^2 , е направена въз основа на радиологично картиране на Разложката котловина. Представени бяха данни за почвеното замърсяване с цезий-137, като бе направена оценка на допълнителното дозово натоварване на населението. Резултатите не се различават съществено от тези за Северна Гърция. Препоръчано бе, данните от тези и от предстоящите нови изследвания да бъдат включени в радиоекологичен атлас, който се подготвя от Европейския изследователски център (JRC) по радиоекология.

Радиоекологичната тематика беше засегната още с важния за България проблем за извеждане от експлоатация и демонтаж на ядрени съоръжения. Представено бе изпълнението на проекта за демонтаж на ядрените реактори в Изследователския център Росendorf, като особено внимание бе обърнато на радиологичната оценка и третирането на отделните компоненти.

След присъединяването на Република България към Европейския съюз и превръщането на българската граница във външна граница на съюза, контролът на трафика на радиоактивни материали става приоритетна задача на компетентните органи. В отделен доклад беше представена новосъздадената

организация за бързо оповестяване на инциденти с ядрени материали, съответните нормативни документи, а също така мерките за подобряване на оборудването и повишаване на квалификацията на персонала в КПП.

Бързото получаване на актуална информация, обменът и подновяването на банките данни в областта на ядрените методи е важна задача на Международната агенция за атомна енергия (МААЕ) във Виена. В тази връзка беше направен преглед на големите възможности на информационната система на INIS на МААЕ. По-специално внимание бе отделено на ценни информационни източници в издания и специализирани сайтове на МААЕ, които могат да бъдат полезни за българските специалисти, а също на периодиката и документацията, която е на разположение в информационния отдел на АЯР.

Докладите на конференцията са отпечатани в допълнителна книжка от том 34 на „Български физически журнал“, издателство „Херон Прес“, София, 2007 г.

Успешното провеждане на конференцията (**Фиг. 7**) показва, че такъв вид интердисциплинарни форуми са изключително полезни за актуализиране и разпространение на научни знания в най-различни области на приложение. Според общата констатация на участниците, тази първа инициатива би трябвало да се превърне в традиционна среща на създатели и ползватели на ядрените методи.



Фиг.7. Обща снимка на участниците в конференцията.

РЕАКТОРИ С БЪРЗИ НЕУТРОНИ И ТЯХНАТА РОЛЯ ЗА РАЗВИТИЕТО НА АТОМНАТА ЕНЕРГЕТИКА

Ф. М. Митенков

Потреблението на енергия е един от най-важните показатели, до голяма степен определящ нивото на икономическо развитие, националната безопасност и благосъстоянието на населението на една страна. Нарастването на потреблението на енергия е съпровождало винаги развитието на човешкото общество, но това нарастване е особено стремително през 20 век. Потреблението на енергия през 20 век се е увеличило 15 пъти, достигайки към края на века 9.5 млд. тона нефтен еквивалент. Изгарянето на въглища, нефт, и природен газ осигурява около 80% от световното енергопотребление.

През 21 век ръстът на енергопотреблението несъмнено ще продължава, особено в развиващите се страни, за които икономическото развитие и повишаването на качеството на живота са свързани неизбежно със значително увеличаване на количеството на потребяваната енергия и най-вече на нейната най-универсална форма – електричеството.

Прогнозира се, че в средата на 21 век световното потребление на енергия ще се удвои, а потреблението на електрическа енергия ще се утрои.

Общата тенденция за нарастване на енергопотреблението увеличава зависимостта на повечето страни от вноса на нефт и природен газ, изостря конкуренцията за достъп до енергийните източници и поражда опасност за глобалната безопасност. Едновременно нараства загрижеността от екологичните последствия от производството на енергия и на първо място опасността от недопустимото замърсяване на атмосферата от изхвърлянето в нея на продуктите на горенето на въглеводородните горива. Затова в немного далечно бъдеще човечеството ще бъде принудено да премине към използването на алтернативни „безвъглеродни“ технологии за производство на енергия, които ще позволяват нарастващите потребности от енергия, без недопустими екологични последствия. Трябва обаче да признаем, че известните в момента възобновяеми източници на енергия – вятърна, слънчева, геотермална, приливна и др. не могат да служат за широкомащабно производство на енергия. А многообещаващата технология на управляемия термоядрен синтез се намира все още в стадий на изследвания и на създаването на демонстрационен реактор.

По мнението на много специалисти, в това число и на автора на настоящата статия, реален енергиен избор за човечеството през 21 век ще стане

широкото използване на ядрената енергия, получавана в реакторите с ядрено делене.

Атомната енергетика още сега може да поеме значителна част от нарастването на световните нужди от гориво и енергия. В момента атомната енергетика осигурява около 6% от световното потребление на енергия и около 18% от потреблението на електрическа енергия.

За по-широкото използване на ядрената енергия още през този век трябва да се задават няколко условия. Преди всичко, атомната енергетика трябва да отговаря на изискването за гарантирана безопасност на населението и на околната среда. Природните ресурси, необходими за производството на ядрено гориво трябва да гарантират функционирането на атомната енергетика в продължение на поне няколко столетия. И освен това, по своите технико-икономически показатели атомната енергетика трябва да не отстъпва на най-добрите източници на енергия, основаващи се на въглеводородното гориво.

Да видим доколко съвременната атомна енергетика отговаря на тези изисквания.

За гарантирана безопасност на атомната енергетика

Въпросите на безопасността на атомната енергетика са били разглеждани от момента на нейното създаване и са били решавани достатъчно ефективно и на научна основа. Обаче в периода на създаването на атомната енергетика все пак възникваха аварийни ситуации с недопустимо изхвърляне в атмосферата на радиоактивни вещества, в това число и крупни аварии: през 1979 г. в АЕЦ 'Three Mile Island' и през 1986 г. в Чернобилската АЕЦ. Във връзка с това световната общност на учените и специалистите по атомна енергетика под егидата на Международната агенция за атомна енергия (МААЕ) разработи препоръки, съблюдаването на които практически изключва недопустимо въздействие върху околната среда и населението при всяка какви физически допустими аварии в АЕЦ. Тези препоръки в частност предвидят, че ако в проекта не е обосновано с пълна достоверност, че разтопяването на активната зона на реактора е изключено, то възможността подобна авария да се случи трябва да се отчита и трябва да се докаже, че предвидените в конструкцията на реактора физически бариери с пълна гаранция изключват недопустимите последствия за околната среда. Препоръките на МААЕ станаха съставна част от националните нормативни документи, касаещи безопасността на атомната енергетика.

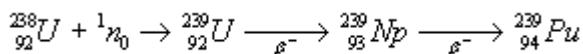
Ресурсната база за производството на ядрено гориво

На специалистите по атомна енергетика е известно, че съществуващата технология, базирана върху т.н. „топлинни“ ядрени реактори с водни или с графитови забавители на неutronите не може да обезпечи развитието на широкомащабно производство на енергия. Това е свързано с ниската ефектив-

ност на използването в тези реактори на природния уран. Използва се само изотопът U-235, съдържанието на който в природния уран е едва 0.72%.

Затова дългосрочната стратегия за развитието на атомната енергетика предполага преход към по-прогресивната технология на затворения горивен цикъл, базиращ се на използването на т.н. бързи ядрени реактори и на преработването на горивото, използвано в реакторите на атомните станции, с цел повторното връщане в енергийния цикъл на неизгорелите или на новообразуваните делящи се изотопи.

В един „бърз“ реактор по-голямата част от актовете на делене на ядрено-то гориво се предизвикват от бързи неutronи, с енергия по-голяма от 0.1 MeV (откъдето идва и названието „бърз“ реактор). При това в реактора протича делене не само на много редкия изотоп U-235, но и на U-238, който се явява основната компонента на природния уран (~ 99.3%). Вероятността за делене на U-238 в спектъра на неutronите на „топлинния“ реактор е много малка. Принципно важно е, че в „бързия“ реактор при всеки акт на делене на ядрата се образува голям брой неutronи, които могат да се използват за интензивното превръщане на U-238 в делящия се изотоп на plutония Pu-239. Това превръщане протича в резултат на ядрената реакция:



Неutronно-физичните особености на бързия реактор са такива, че процесът на образуване на plutоний в него може да има характер на разширено възпроизвъдство, когато в реактора се образува повече вторичен plutоний, отколкото първоначално е зареден. Процесът на образуване на допълнително количество делящи се изотопи в един ядрен реактор се нарича „бридинг“ (от англ. to breed = размножавам). С този термин е свързано и общоприето название на бързите реактори с plutониево гориво – реактори-бриидери или размножители.

Практическата реализация на процеса на бридинг има принципиално значение за бъдещето на атомната енергетика. Работата е в това, че подобен процес дава възможност практически напълно да се използва природния уран и по този начин почти сто пъти да се увеличи енергията, получавана от всеки тон природен уран. Това открива път към практически неизчерпаеми горивни ресурси. Затова е общоприето, че използването на бриидери е необходимо условие за създаването и функционирането на широкомащабна атомна енергетика.

След като в края на 40-те години на миналия век беше осъзната принципната възможност за създаването на бързи реактори-размножители, започнаха интензивни изследвания на техните неutronно-физични характеристики и търсенето на съответни инженерни решения. В Русия (тогава СССР) инициатор на изследванията и разработките на бързи реактори беше академик А.

И. Лейпунски, който до смъртта си през 1972 г. беше научен ръководител на Физико-енергетичния институт в гр. Обнинск.

Инженерните проблеми при създаването на бързи реактори са свързани с цял ред присъщи на тези реактори особености: голяма енергонапрегнатост на горивото, необходимост да се осигури неговото интензивно охлаждане, високите работни температури на топлоносителя и на конструктивните елементи на реактора, радиационното увреждане на конструкционните материали, предизвикано от интензивното обльчване с бързи неutronи. За решаването на тези нови научно-технически задачи и разработването на технологията на бързите реактори се наложи създаването на мащабна експериментална база и създаването през 60-те, 70-те и 80-те години на миналия век на демонстрационни енергетически реактори в Русия, САЩ, Франция, Великобритания и Германия. Забележително е, че във всички тези страни като охлаждаща среда – топлоносител беше избран натрий, независимо, че той активно реагира с вода и с водна пара. Решаващото предимство на натрия като топлоносител е в неговите изключително високи топлофизични показатели (голяма топлопроводност, голяма топлоемкост, висока температура на кипене), в слабото корозионно въздействие върху конструкционните материали на реактора и в простотата на пречистването му в процеса на експлоатация.

Първият руски демонстрационен енергетичен реактор с бързи неutronи БН-350, с топлинна мощност 1000 MW, започва работа през 1973 г. на източния бряг на Каспийско море. Той има традиционната за атомната енергетика схема със затворени контури за предаване на топлината и паротурбинен комплекс за преобразуването на топлинната енергия в електрическа. Част от топлинната мощност на реактора се използва за производството на електроенергия, а останалата част за опресняването на морска вода. Отличителна особеност на този и на следващите реактори с натриев топлоносител е наличието на междинен контур за предаването на топлина между реактора и контура с водна пара. Това е продиктувано от съображения за безопасност.

Реакторът БН-350, независимо от сложността на своята конструкция, успешно работи от 1973 г. до 1988 г., което с пет години превишава проектния му срок на работа.

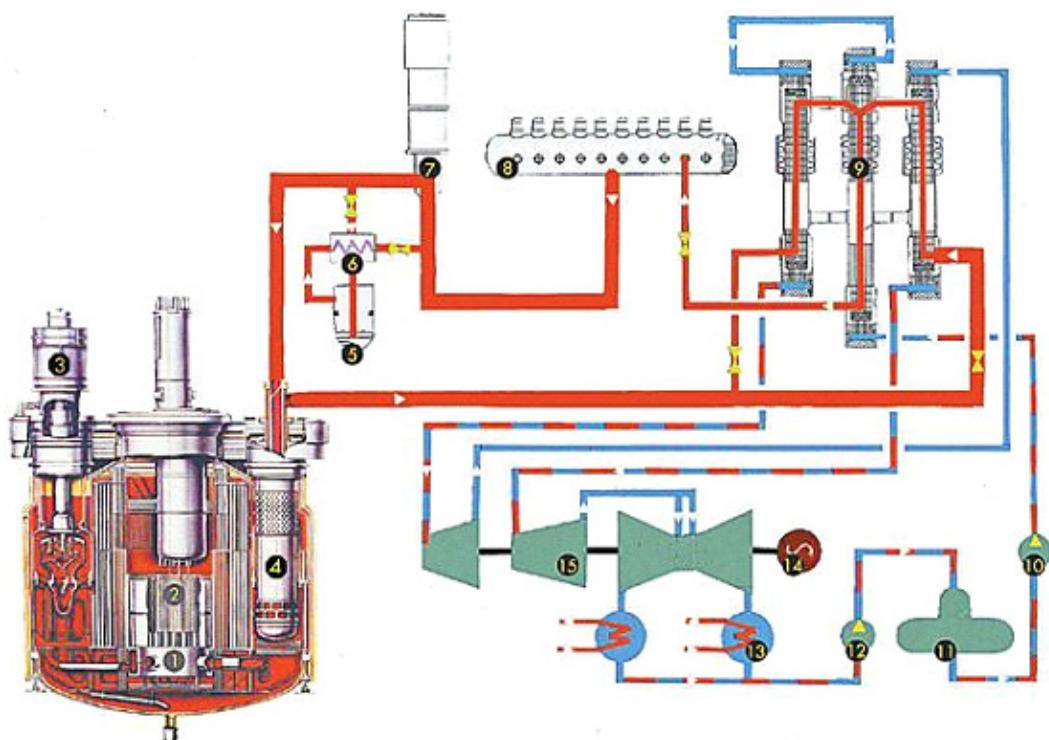
Голямата разклоненост на натриевия контур на реактора БН-350 беше обезпокоителна, тъй като в случай на аварийна разхерметизация би могло да възникне пожар. Затова, без да се чака пускането в експлоатация на реактора БН-350, в Русия започна проектирането на по-мощния бърз реактор БН-600, имащ интегрална конструкция. В него отсъстват натриеви тръбопроводи с голям диаметър и почти целият радиоактивен натрий на първичния контур е съсредоточен в корпуса на реактора. Това позволява практически напълно да се изключи опасността от разхерметизация на първичния натриев контур, да се намали пожароопасността, да се повиши нивото на радиацион-



Фиг. 1. Белоярската АЕЦ

на безопасност и надеждността на реактора.

Реакторът БН-600 надеждно работи от 1980 г. в трети енергоблок на Белоярската АЕЦ – Фиг.1, 2. Днес това е най-мощният в света работещ реактор с бързи неутрони. Той е източник на уникален експлоатационен опит и база за усъвършенстване на конструкционните материали и горивото.



Фиг. 2. Принципна схема на бързия енергетичен реактор БН-600. 1-камера на топлоносителя, 2-активна зона на реактора, 3-помпа на първия натриев контур, 4-междинен топлообменник, 5-фильтър на системата за пречистване на натрия, 6-рекуператор, 7-помпа на втория контур, 8-буфер, 9-парогенератор, 10-помпа, 11-деаератор, 12-кондензатна помпа, 13-кондензатор, 14-турбогенератор, 15-турбина

Във всички следващи проекти на бързи реактори в Русия, а също така и в голяма част от проектите, разработвани в други страни, се използва интегрална конструкция на реактора.

Осигуряване на безопасността на бързите реактори

Още при проектирането на първите енергетични реактори с бързи неутрони се отделяше голямо внимание на тяхната безопасност, както при нормална работа, така и в аварийни ситуации. Изборът на съответните проектни решения се определяше от изискването да се изключат всякакви недопустими въздействия върху околната среда и населението за сметка на вътрешната самозащитеност на реактора, за сметка на прилагането на ефективни системи за локализиране на възможните аварии и за ограничаването на последствията от тях. Самозащитеността на реактора се базира на първо място на действието на отрицателни обратни връзки, стабилизиращи процеса на делене на ядреното гориво при повишаване на температурата и мощността на реактора, а също така на свойствата на използвания в реактора материали. За да илюстрираме вътрешно присъщата на бързите реактори безопасност ще посочим някои особености, свързани с използвания в тях натриев топлоносител. Високата температура на кипене на натрия (883° С при нормални условия) позволява да се поддържа в корпуса на реактора налягане, близко до атмосферното. Това опростява конструкцията на реактора и повишава неговата надеждност. Корпусът на реактора не се подлага на големи механични натоварвания по време на работа, поради което неговото разкъсване е още по-малко вероятно, отколкото това е при реакторите с вода под налягане, за които подобна авария е отнесена към „хипотетичните“. Но дори и да се случи, подобна авария при бързия реактор не е опасна от гледна точка на надеждното охлаждане на ядреното гориво, тъй като корпусът е обкръжен от херметичен предпазен кожух, а обемът на възможната утечка на натрий в него е незначителен. Разхерметизирането на тръбопроводите с натриев топлоносител в един бърз реактор с интегрална конструкция също не води до опасна ситуация. Тъй като топлоемкостта на натрия е достатъчно голяма, даже при напълно прекратяване на отвеждането на топлина, температурата на топлоносителя ще се повишава със скорост от порядъка на 30 градуса на час. При нормална работа температурата на топлоносителя е 540° С Значителния температурен запас до точката на кипене на натрия дава достатъчен резерв от време, за да се вземат мерки, ограничаващи последствията на една подобна малковероятна авария.

В проекта на реактора БН-800, в който са използвани основните инженерни решения на реактора БН-600, са взети допълнителни мерки за запазване на херметичността на реактора и за изключване на недопустими въздействия върху околната среда, дори при изключително малко вероятната авария с разтопяването на активната зона.

Таблица 1. Енергетични реактори с бързи неutronи

Характеристика	БН-600 (Русия)	БН-800 (Русия)	БН-1800 (Русия)	Super Phenix (Франция)	CDFR (Великобритания)
Електрическа мощност, MW	600	880	1800	1500	1300
Топлинна мощност, MW	1470	2100	4000	-	3230
Температура на топлоносителя, °C	550	547	575	545	540
Налягане на парата, MPa	14.0	14.0	25.0	18.0	16.0
Температура на парата, °C	500	490	525	490	490

Многогодишната експлоатация на бързите реактори потвърди ефективността на предвидените мерки за обезпечаване на безопасността на реактора. За 25 години работа на реактора БН-600 нямаше инциденти с превишаване на приетите норми. Бързите реактори продемонстрираха висока устойчивост на работа, те се управляват лесно. Усвоена е технология, която ефективно неутрализира пожароопасността на натриевия топлоносител. През последните години в проектите на бързи реактори все по-широко приложение намират системи и устройства, способни да приведат реактора в безопасно състояние без намесата на персонала и без нуждата от допълнителна външна енергия.

Технико-икономически показатели на бързите реактори

Особеностите на натриевата технология, повишените мерки за безопасност, консервативния избор на проектните решения на първите бързи реактори БН-350 и БН-600 доведоха до по-високата им цена, в сравнение с реакторите охлаждани с вода.

Те бяха създадени основно за проверка на работоспособността, безопасността и надеждността на бързите реактори. При създаването на следващия реактор БН-800, предназначен за масово използване в атомната енергетика, голямо внимание се отделяше на неговите технико-икономически характеристики и в резултат на това ни се удаде съществено да се доближим по относителни капитални разходи до реактора ВВЭР-1000.

Може да се счита за доказано, че бързите реактори с натриев топлоносител имат голям потенциал за по-нататъшно технико-икономическо усъвършенстване.

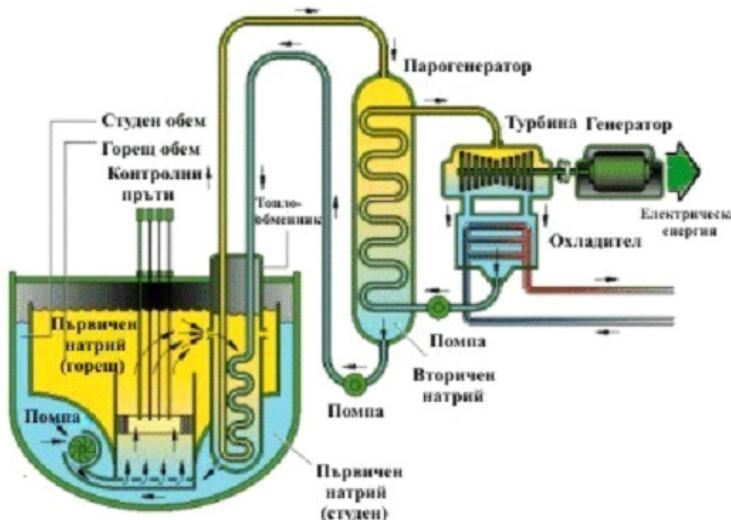
Основните насоки за подобряване на икономическите характеристики при едновременното повишаване на нивото на безопасност са: повишаването на единичната мощност на реактора, усъвършенстването на конструкцията на основното оборудване, преминаването към надкритични параметри на парата с цел усъвършенстване на термодинамичния кпд на цикъла на преобразуване на топлинната енергия, оптимизиране на системата за работа със свежо и с отработено гориво, увеличаването на дълбочината на изгаряне на ядреното гориво, създаването на активна зона с висок вътрешен коефициент на възпроизвъдство, удължаването на срока на експлоатация до 60 години.

Бързите реактори могат да се използват не само за производството на енергия. Потоците от неutronи с висока енергия могат ефективно „да изгасят“ най-опасните дългоживущи радионуклиди, които се образуват в отработеното ядрено гориво. Това е принципно важно за решаването на проблема с радиоактивните отпадъци на атомната енергетика. Проблемът се състои в това, че периодът на полуразпад на някои радионуклиди (актиниди) е много голям. Прилагайки затворен горивен цикъл с изгаряне на актинидите и трансмутация на дългоживущите продукти на деленето в краткоживущи, може радикално да реши задачата за обезвреждането на отпадъците на атомната енергетика и многократно да се намали обема на радиоактивните отпадъци, които трябва да се погребват.

Превод от руски: **Динко Динев**
Наука и жизнь, №3, 2005

Допълнение на преводача

Както е подробно описано в статията на известния специалист по реакторна физика и техника академик Ф.М.Митенков, реакторът с бързи неutronи е ядрен реактор, в който за поддържане на верижната ядрена реакция се използват неutronи с енергия $> 0.1 \text{ MeV}$. В активната зона на реактора отсъства забавител на неutronите – Фиг.3. Както е известно, сеченията на взаимодействие на неutronите с ядрата рязко нарастват с намаляване на енергията на неutronите, следвайки т.н. „закон $1/v$ “. Например, ако сечението на делене на изотопа U^{235} с топлинни неutronи ($E \sim 0.025 \text{ eV}$) е $\sigma_{\text{f}}^{\text{B5}} = 580 \text{ b}$, то за бързи неutronи ($E = 0.1\text{--}14 \text{ MeV}$) то е само $\sigma_{\text{f}}^{\text{B5}} = 2 \text{ b}$. По тази причина, критичната маса на горивото в един бърз реактор е много по-голяма отколкото в топлинен. Следователно, бързите реактори имат много по-малка относителна мощност. За поддържане на верижната реакция в активната зона на един бърз реактор трябва да има висока концентрация на делящите се изотопи. Предимството на бързите реактори е в това, че на всеки захват в активната зона неutron се изпускат 1.5 пъти повече вторични неutronи, от-



Фиг. 3. Принципна схема на реактор с бързи неутрони.

под действието на топлинните неутрони и не могат да служат за гориво на топлинните реактори. В един реактор-размножител може да се реализира режим на разширено възпроизвеждане на горивото, като на всеки 100 разделили се ядра се получават 120-140 нови делящи се ядра. Активната зона на един бърз реактор е обкръжена от обвивка от природен уран, който на 99.7% се състои от изотопа U^{238} , т.н. бланкет. В бланкета протича процесът на възпроизвеждане на ядреното гориво.

Бързите реактори имат както предимства, така и недостатъци.

Предимства на бързите реактори:

- В един бърз реактор се използва 99.5% от енергията на природния уран, докато в топлинните реактори се използва по-малко от 1% от тази енергия.
- При увеличаване на мощността на реактора, горивните елементи се разширят топлинно, размерите на активната зона се увеличават, плътността и намалява, а това води до автоматичното затихване на верижната реакция. С други думи, бързият реактор притежава пасивна (без намесата на оператора) безопасност.
- В бързите реактори под действие на интензивното облъчване с бързи неутрони протича процес на трансмутация на дългоживущите актиниди в краткоживущи изотопи. Резултатът е, че в течение на около 300 години, радиоактивните отпадъци на един бърз реактор ще станат толкова радиоактивни, колкото са и природните материали. Освен това радиоактивните отпадъци на бързите реактори са под формата на благородни метали и керами-

колкото в един топлинен реактор. Това открива пътя към създаването на реактори-размножители. В тях в резултат на относително разпространените изотопи U^{238} и Th^{232} с бързи неутрони протичат ядрени реакции водещи до получаването на нови делящи се изотопи – Pu^{239} и U^{233} . Изотопите U^{238} и Th^{232} не се делят

ки, т.e те са много подходящи за погребване в хранилища наadioактивни отпадъци.

Недостатъци на бързите реактори:

- Относителните капиталовложения за една АЕЦ с бързи реактори са 1.5 до 2 пъти по-големи от тези за АЕЦ с топлинни реактори.
- Натрият е много активен химически. Той лесно се запалва. Горящият натрий отделя дим, който може да повреди оборудването, а може да бъде и радиоактивен. За времето на експлоатация на енергетичния реактор БН-600 в Белоярската АЕЦ са възникнали 27 изтичания на натрий, в това число и с горене.
- Натрият силно реагира с вода. Трябва да се вземат специални мерки за избягване на изтиchanето на вода от водния контур в натриевия. За времето на работа на енергетичния реактор БН-600 в Белоярската АЕЦ са регистрирани 12 теча между контурите.
- При облъчването на натрий с бързи неutronи се получава силно радиоактивният изотоп Na^{24} . Той излъчва гама лъчи с енергия 2.7 MeV и има период на полуразпад 15 h.

За перспективността на реакторите с бързи неutronи говори фактът, че този тип реактори са включени в инициативата за създаване на реактор от 4-то поколение, т.н. Generation – IV International Forum (GIF) – Виж К. Хескет, А. Уорол, Д. Уивър. *Предизвикателства пред бъдещето на ядрената енергетика в Европа. Светът на физиката, №3, 2005, стр. 272-279.* Сред разглежданите от инициативата 6 реакторни конструкции три са на реактори с бързи неutronи:

- бърз реактор с газово охлаждане
- бърз реактор, охлаждан с течен натрий
- бърз реактор, охлаждан с течна смес олово-бисмут.

ФРЕНСКАТА АТОМНА БОМБА: ПОЛИТИКАТА КАТО СРЕДСТВО ЗА ПОСТИГАНЕ НА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИ ЦЕЛИ

Н.Ахабабян

Американските физици започват военните си ядрени разработки от страх да не бъдат изпреварени от германците и успяват първи да достигнат до целта, а руснаците с гигански усилия, и след няколко години, успяват да догонят американците. Самите германски физици – елитът на тогавашната световна физика – и с най-големи приноси за развитието на ядрената физика, въпреки стремежа си, никога не успяват да се доближат до реалната цел, а френските физици, които първи лансираят идеята за принципната възможност за верижна ядрена реакция, последни успяват да създадат атомна бомба... И във всички тези случаи, държавната политика – при различни условия и с различни мотивации – е обосновавала, подпомагала, забавяла или пречела да се постигне целта [1].

„Ако трябва да приветстваме гигантските усилия на САЩ за изготвяне на атомната бомба, не бива да забравяме, че първите принципи за използване на атомната енергия и за създаване на атомна бомба водят началото си от успешните изследвания в Колеж де Франс на Жолио, Халбан и Коварски

през 1940 г.“, заявява пред журналисти сам Фредерик Жолио-Кюри на 7 август 1945 г., ден след пускането на първата атомна бомба над Хирошима, когато по това време самият той си кара лятната ваканция на брега на океана в Кот-дю-Норд. Няколко дни след това – на 13 август (вече е пусната и втората американска атомна бомба над Нагазаки), той отива по далеч в претенциите си: „Ние сме малко изненадани, че в своята декларация президентът Труман (по повод



Фредерик Жолио-Кюри

на двете ядрени експлозии – бел. авт.) не се позовава на приноса на французите за рождението на това откритие“

Жолио е прав в твърденията си. Има ли обаче основание за претенциите си?

Наистина, на 30 януари 1939 г. Жолио докладва пред Френската Академия на науките „за възможност за верижна реакция“. В т. 143 (от 8 март 1939 г.) на Nature е публикувана статия на Фр. Жолио-Кюри, Лев Коварски и Ханс фон Халбан в която съобщават „...за регистрацията на допълнителни неutronи при изкуственото деление на ядрата ...“, а на 1 май с.г. Франсис Перен изчислява необходимата „критична маса“ за протичане на верижна реакция. Въпреки, че Сцилард в писмо от САЩ съветва приятеля си Жолио да държат в секрет изследванията си, френските физици пренебрегват съвета му и продължават да публикуват резултатите си. Все пак, когато Жолио, Коварски, Халбан и Перен – „четиримата мускетари на френската ядрена физика“ се обръщат с писмо (4 май 39 г.) към министъра на образованието за „разкриващите се възможности за изготвяне на ядрен експлозив“, писмото е за секретено, вероятно препратено и към военното министерство, но остава без реални последствия. След продължителни дискусии те решават да патентуват откритието си и започват да фантазират „за мирното използване на атомната енергия“. За патентоването обаче, поради юридически изисквания, правителството трябва да образува фирма към CNRS [2], и търси контакти с белгийската компания, която експлоатира урановите мини в Горна Катанга, докато на 14 юли 1940 г. германските войски оккупират Париж ... Добри намерения, но бебето е родено мъртво.

Обаче когато на 18 юни 1940 г. Жолио качва на английския въглевоз своите сътрудници Халбан и Коварски (застрашени от фашистките расови закони), заедно с 26 бидона тежка вода (185 тона) и пълната научна документация за проведените дотогава ядрени изследвания във Франция, той сам не се качва на кораба за Англия, а остава във Франция. Това е негов „патриотичен избор“, показателен за „знаменосците“. Успява да укрие 6 тона уранова руда в мините в Масима и да изнесе още 9 тона в „свободната зона“. По това време Жолио е пацифист, ляво ориентиран, но политически неангажиран, обаче скоро се свързва с френската антинацистка съпротива, а след това и с голистите в Лондон. Там са вече и други френски физици – Анри Ложиер, Жак Алие, Анри Лонгшамон и др., които се включват в английския военен атомен проект с название „Tube Alloys“, провеждан основно в Канада [3]. Въпреки споразумението в Квебек (август 1943 г.) между Рузвелт и Чърчил за съвместни военни атомни разработки, за тяхната строга секретност и за недопустимост на трета страна към тях, още през юли 1944 г. Де Гол научава от френските специалисти, участващи в английския проект ТА, за усилията и възможността на САЩ да създадат атомна бомба. И при всяка възможност

генералът „си прави устата“ пред висшите англо-американски фактори за претенциите на France Libre за участие в тях. Американците са категорично против, те са склонни да третират френските физици, останали в окопираната зона по-скоро като колаборационисти, наравно с германките физици. А специално Жолио, по това време вече член на Френската комунистическа партия, им е направо неприемлив: американците си имат достатъчно грижи със своите сътрудници, оказали се руски шпиони. Докато англичаните са полимерални за възможностите за сътрудничество с тях и след няколко разговора на висше ниво успяват да замажат положението и да успокоят Де Гол със сключването на „Френско-Английски договор за научно сътрудничество във военната област“.

За лутанията на германските физици и техните безуспешни усилия знаем от много разкази [4]. Но през лятото на 1940 г. те, въодушевени от големите военни успехи, се надяват и на успех и в създаването на атомна бомба. Те знайт, че френските физици са от засилителите на идеята за принципната възможност за създаване на такова оръжие и само няколко седмици след окопирането на Франция – още в първите дни на юли 1940 г. – отговорни германски физици дебаркират в Париж и „слагат ръка“ на френските центрове за атомни изследвания – Колеж дьо Франс, Института на Мария Кюри, Лабораторията за синтез и др. Те са водени от ген. Ерих Шуман – един от ръководителите на германските атомни изследвания, Фриц Дибнер и Валтер Боте – единствен от изтъкнатите германски физици в тези изследвания – всички в офицерски униформи на Вермахта. Заедно с тях е и Волфганг Гентер, който в началото на 30-те години е специализиран в Института на Мария Кюри, след това стажувал при Лауренс на строящия се синхротрон в Беркли, САЩ. Гентер е франкофон и демократ, приятел на семейство Жолио-Кюри и консултант на Фредерик, който по това време строи циклотрон в Колеж дьо Франс. Техните колегиални разговори с Жолио и други френски физици убеждава германците, че Жолио се занимава само с фундаментални изследвания и няма намерение да емигрира. Обаче той е разпитан и от офицери на SS, които се интересуват от местонахождението на Франсис Перен – в неизвестност (отначало в нелегалност, а от март 1940 г. в Колумбийския университет в Ню Йорк). А по-късно, когато Жолио се включва в акция за защита на един от своите учители и покровители – проф. Пол Ланжвен, обвинен в покровителство на евреи – той е и арестуван.

На 14 август 1944 г. в ликуващ Париж, заедно с американската армия дефилира и Американската военна „Мисия Алсос“, ръководена от полк. Борис Паши и физикът Самуел Гаудсмит (откривател, заедно с Уленбек, на спина на електрона), която следва по петите настъпваща в Европа американска армия, натоварена с преследване и арестуване на германските физици, участвали в техния ядрен проект. Сега пък друг американски франко-

фон и приятел на Жолио – Уйлям Нойс е натоварен да „интервюира“ Жолио за френските „ядрени апетити“ и възможности. Единственото по-обезпокоително, което Нойс научава от Жолио на приятелски обяд в първокласен ресторант на 27 август (1944 г) е, че германците са успели да изнесат 166 тона чист ториев сулфид от Института за редки земи. Американците извличат изотопа на урана U^{233} от този материал, така необходим за атомната им бомба, но се оказва, че на германците той им трябва за ... изготвяне на нова зъбна паста!

Все пак Нойс дава да се разбере, че американските военни разработки са стигнали толкова напред, че не се съмняват в скорошното постигане на целта. Това се потвърждава и от завръщащите се в родината френски физици Лепринс-Ринге, Ж.Гуeron, Пиер Оже и др., работили в Канада и Лондон. След няколко срещи с ген. Де Гол, Фредерик Жолио-Кюри е назначен за ръководител на CNRS с задача да усили френските ядрени изследвания за военни цели, а френското правителство да потърси възможности за международно сътрудничество. За да не дадат възможност да се прикачи на руска орбита, англичаните сключват през март 1945 г. с Франция договор за научно сътрудничество. По същото време във френската окупационна зона попада лабораторията за радиоактивни измервания, част от Берлинския Кайзер-Вилхемов институт, пренесен във Висинген. Но още на следващата сутрин там са хората от мисията Алсос, които след четиридневен разпит на заварените германски физици – Ото Хан, Макс фон Лауе, Карл фон Вайцзекер и други, ги евакуират във Фарм Хол в Англия (където са вече останалите немски ядрени специалисти), а намерените 1,5т. метален уран, 1т. тежка вода, 1т. електрохимично чист въглерод и десетина грама чист радий, заедно с голяма част от лабораторното оборудване са изпратени за САЩ! Пристигналите след седмица френски специалисти трябва да се задоволят със случайните остатъци: неutronен генератор, но и изоставеният германски инженер Дарк, който им начертава схемата на ядрения реактор, който германците се опитват да построят.

Френските власти са в курса на това, което се прави в САЩ и генерал Де Гол е категоричен за включването на страната във военните атомни разработки: той добре разбира от модерно въоръжение, а след първото му посещение в САЩ след освобождението на Франция, той живее с мисълта, че атомната война е неизбежна. Но едва след бомбардировките над Хирошима и Нагазаки става ясна поразяващата мощ на това оръжие, както и гигантските усилия, които са били необходими за достигане на този резултат. А в това отношение възможностите на разорена Европа са като на лилипут в сравнение с Гъливер. По-късно, когато става известна мизерната поддръжка на нацисткото правителство за усилията на германските физици да реализират своя атомен проект, Гаудсмит ще въздъхне: „Питам се дали американското

правителство не употреби повече средства за нашата мисия „Алсос“, отколкото немците за направата на своята бомба?“

Обаче решимостта на Де Гол е непоклатима. Още от есента на 1944 г. контактиите на генерала с Жолио зачестяват и след една три часови среща на 26 декември той напътства френските учени за пълноценни усилия във воен-ните ядрени изследвания. А отговорът на правителството е институционализирането на това намерение: в началото на септември 1945 г., т.е по-малко и от месец след Хирошима, е подписано официално решение за образуване на СЕА – „Commissariat à l’Energie Atomique“, чиято цел е да върне Франция сред Великите сили. Заслугата е на хората от France Libre – от френското съпротивително движение, около ген. Де Гол. Начело на СЕА застава триумвират: Фредерик Жолио, като научен ръководител, близкия сътрудник на генерала от годините на изгнаничество Раул Дотри, като административен ръководител с ранг на министър в правителството, и Жан Тите, като юридическо лице на Комисариата. В ръководството влизат десетина представители (с ранг на зам.министри) от най-важните министерства, както и Ирен Кюри, Пиер Оже, Франсис Перен, Коварски, Гуерон и Голдшмид – като научни консултанти. СЕА е пряко подчинена на Президента на Републиката и изразява неговата политическа воля. Поставянето на Жолио начело на тази организация е израз на личното отношение на генерала към него: „*Имам доверие към малко хора. Във Вас, Жолио, имам доверие*“. „*Ще Ви направя Вашата бомба, mon generale!*“ е отговорът на Жолио.

Като начало усилията трябва да се насочат към осигуряване на добив на уран, чист въглерод и тежка вода. Във Франция, където нищо не може да се направи без поддръжката на частната индустрия, връзките на Жолио с видни индустриалци играят решаваща роля. Организирането на необходимата инфраструктура за такова мащабно начинание, преструктуриране на съществуващи научно-изследователски лаборатории и инженерно-технически институции и създаването на нови звена е сложна и трудна административна задача, както и координирането, съгласуването и удовлетворяването на апетитите и на военните институции, които постепенно се намесват и търсят своето място.

Започва ерата на атомната дипломация. Всъщност СЕА е отговор на решението на американското правителство (октомври 1945 г.) за пълен контрол над ядрените изследвания и тяхната секретност. А Франция продължава да търси и да се бори за своето място в новия свят. Противопоставяйки се на американския монопол над ядреното въоръжаване, пък и под влияние на последиците от ядрените бомбардировки над Хироshima и Нагазаки, от устата на главния комисар Ф.Жолио-Кюри все по-често и по-настойчиво започват да се чуват думи „за мирно използване на ядрената енергия“, за нейните индустриални и екологични приложения, и най-вече – като източник на енер-

гия, от каквато Франция силно се нуждае. Той се застъпва за международен и граждански контрол на военните разработки, предаване на секрета на атомната бомба на ОН, каквото гласове се издигат и в САЩ (А.Компън, А.Айнщайн, Р.Оренхаймер). Разбира се, започват да се активизират и различни граждански и религиозни движения, най-често подклаждани и поддържани от съветските тайни служби. През май 1946 г., в двучасова лекция в Брюксел Жолио-Кюри заявява: „*Вярвам, че науката и мирът ще триумфирам над агресията и войната, че народите ще използват ядрената енергия не за унищожение, а за съзидание, и че бъдещето принадлежи на онези, които ще са допринесли повече за сътрудничеството*“.

В същия тон и по същото време, ръководителят на френската делегация на 1-вата Асамблея на новообразувания Атомен Комисариат за Контрол към ОН Александър Пароди заявява: „*Усилията на Френското правителство са изключително за мирни цели*“.

Въпреки че по това време Жолио все още не се е заплел яко в паяжината на „прогресивните“ движения и организации, преминаването на пацифизма му в активна антивоенна ядрена позиция има и не малка доза наивност. По това време САЩ отпускат 625 милиарда за военните ядрени разработки, а в Съветския Съюз са „във вихъра на танца“. Това е периодът на влиянието на научните изследвания върху външната политика на страните и на взаимодействието между учени и политици. И въпреки, че това са два различни свята, политиците не могат без учените, които пък са група, макар и малка, която знае и може, а и иска да команда. Или поне застъпва правото на учените да участват във взимането на решения за приложенията на техните научни открытия.

Въпреки враждебното отношение на американското правителство към френските ядрени домогвания, на първия „експериментален“ ядрен взрив на американската бомба на остров Бикини през юли 1946 г. са поканени 21 експерти от други страни и само един – Бернар Голдшмит от Франция, усилията на френското правителство да догона продължават. В малката френска оккупационна зона (около 8% от територията на окupирана Германия) попадат остатъци (американците са опоскали каквото могат) от мощнния химически концерн I.G.Farben, но и някои от германските физици, участници в техния атомен проект: Й.Матаух, В.Гентер, Ф.Щрасман, С.Флюге, Г.фон Дрост, А.Фламерфелд и др., както и няколко от учените участващи в медицинските и биологични екипи (Шилер, Кухт, Бутенанд). Към тях скоро се присъединяват К.Дибнер, В.Боте, Хахел, Майер-Лайбниц и Рейзлер. Под прикритото ръководство на Жолио лабораториите от Витенберг са пренесени в университета в Майнц, където по късно започват да се присъединяват и френски учени от други национални центрове, основно от Лабораториите за взривни вещества в Париж и Страсбург: Шардин, Фльори, Бес, Медард, Пиатие, Лертиер и др., които по-нататък ще играят решаваща роля във френски ядрени

разработки. Жолио е реабилитиран германските си колеги, но скоро университетът в Майнц се оказва пълен с нацисти – преподаватели и студенти. Това дава повод на американските органи, които държат всичко под око, да се намесят. А има и други поводи за опасения, когато се установява, че френски физици (П.Сакал, А.Бертолд, Ж.Лабирик) търсят връзки с руски институти за сътрудничество, наистина за фундаментални изследвания (циклotron, Гайгер-Мюлерови броячи и друга експериментална техника). А и френските комунисти, които са под пряк контрол на Кремъл, успяват да впримчат Жолио (член на френската комунистическа партия) за своята кауза – „атомът за мирни цели“, „военни разработки под международен контрол“ и пр. Активизирането и многобройните му изяви в тази насока принуждават ген. Де Гол, който го е назначил, на 28 април 1950 г. да го уволни от поста Генерален Комисар и на негово място да назначи Франсис Перен (член на френската социалистическа партия), а административните функции са поверени на Пиер Гиома [5]. От средата на 1951 г. във френското правителство има член с ранг на министър, който отговаря за атомните изследвания – Феликс Гайард, млад политик от следвоенното поколение, бивш инспектор във финансовото министерство и настоящ привърженик на военните ядрени разработки.

На френските учени и военни е ясно, че за да направят бомбата те трябва да постигнат индустрисалното производство на плутоний. Гайард успява да прокара през френския парламент (юни 1952 г.) решение за построяване на ядрени реактори „с индустрисално предназначение“. Избраното място за тях е в областта Маркул, в Южна Франция, на десния бряг на Рона, като възможното най-далечно място за достигане от чужди бомбардировачи и шпиони. Първият реактор G1 с мощност 40 MeW използващ 100 т. обогатен уран и 1200 т. чист графит (аналог на английския Windscale) е пуснат през 1956 г., след това (до 1959 г.) са пуснати в действие и другите два G2 и G3. През същата година заработка и заводът за отделяне на плутоний. Още първият реактор, чието истинско предназначение е добив на обогатен на изотопа 235 уран, създава възможност още през 1954 г. Франция да произвежда по 15 кгр. плутоний на година – количество предостатъчно за изгответянето на атомна бомба (критичната маса е малко под 10 кг.). При построяването на тези реактори ръководна роля играе специалистът по взрывни вещества инж. Анри Пиатие, ученик на физика Лепринс-Ринге, който скоро ще бъде назначен за директор на кабинета на Ф.Перен.

През целия период на подготовка на френската атомна бомба ядрената стратегия еволюира, за да достигне своята кулминация в средата на 50-те години – ожесточаването на студената война и най-активната левичарска „борба за мир“. И необходимите политически и дипломатически усилия за сдобиване с атомна бомба са по-големи от технологичните и индустрисални средс-

тва на нейната реализация. Всъщност, притежаването на атомна бомба е повече дипломатическа необходимост, отколкото неизбежно оръжие. И в този най-разгорещен период на противопоставяне между Запада и Източа, на американското правителство срещу френските претенции за автономия, на силни вътрешни трусове: алжирската война, икономическата рецесия и възхода на комунистическата партия, проблемите на близкия Изток (Ливан, Израел, Суецкия канал), национално отговорното френско правителство, ръководено от Мендес-Франс успява да даде зелена улица и необратим ход за направата на атомната бомба. Дори чрез политическа търговия: френска подкрепа за влизане на Англия в Общия пазар срещу улеснения за направата на бомбата; подкрепа за достъп на германците към оръжейната индустрия срещу тяхното съгласие Франция да води автономна атомна политика; доставка на френски ядрен реактор от типа EL-3 (40 MeV) на Израел (от където тръгва и израелската атомна бомба). Трябва да се преодолее и блокиращата роля на Euroatom – новата европейска организация за контрол на ядрените изследвания – троянския кон на американските интереси за контрол на европейските усилия в това направление. През юли 1956 г. Националното събрание ратифицира участието на Франция в Евроатом, но с условието до 4 години да не пристъпва към изготвяне на атомна бомба – колкото време всъщност е нужно за производството на необходимото количество плутоний. Осигурени са необходимите средства, (приблизително по 10 милиарда франка годишно), независимо от честите смени на правителството, както и терен от 110 000 km² в пустинята Сахара на 60 км. югозападно от Reggane за предстоящите експериментални ядрени взрывове. В „Зона 42“, каквото е секретното название на обекта, където годишната температура варира между 22 и 45 градуса по Целзий и десет месеца не пада и капка дъжд, но непрекъснато духа сух вятър, са струпани 6500 души – войници и офицери от специалните части, образувани за целта под командването на ген. Шарл Алере, и шепа учени и малко повече инженери и техници, пряко подчинени на Пиер Гиома.

И нека тук отбележим две неща. През този период – от 1946 до 1958 г. – ген. Де Гол, въпреки че е в доброволно самоизгнание в имението си в Коломбие де-з-Еглиз, е вдъхновителят на френското ядрено въоръжаване и тегли конците, макар и далеч от Париж. Той е в крак с еволюцията на военната техника, уверен в предстоящата трета световна война и ангажиран с историческата отговорност да възстанови мястото на Франция сред великите сили. С ясно съзнание за своята мисия той ще заяви: „*В последна сметка, винаги всичко е зависело, всичко зависи, и винаги всичко ще зависи от решението на един човек, изправен сам пред своята отговорност*“.

И че целият военен ядрен проект на Франция за периода 1945-1970 се ръководи от двама големи учени с лява ориентация: Фредерик Жолио-Кюри, член на комунистическата партия (и на нейния ЦК) и Франсис Перен – член на социалистическата

партия. Но трябва да се преодолеят и ред вътрешно административни противопоставления – най-вече на цивилните изследователи (основно възпитаници на Екол Политехник) срещу съществуващите военни институции, т.е. Комисариата по Атомна Енергия срещу Министерството на от branата, обрасло с множество лаборатории за военно-технологични изследвания. Едва правителството на Едгар Фор и умелите дипломатични действия на Пиер Гиома успяват постепенно да подчинят на политическата воля разнопосочните интереси на отделните групи и да синхронизират и фокусират в една посока усилията на различните заинтересовани институции към ефективното реализиране на поставената цел. Тук трябва да се изтъкне заслугата на групата от секретния институт към военното министерство „за военни приложни изследвания на атомната енергия“, където инж. Жак Жакесон и Пол Шамсон, и двамата ученици на Морис дьо Бройл, конструират пусковия неутронен източник вътре в плутониевата сфера, необходим за действие на атомна бомба. Много интересни и поучителни са „политическите хватки“, реорганизиране на институции, личностни размествания и нови назначения, за успешното постигане на целта (които преливат извън нашата тема), но при тях винаги ярко проличава вземането на държавнически политически отговорни решения за утвърждаване на националните интереси на страната. В началото на 1955 г. Феликс Гайард заявява: „... атомните изследвания са неоценим национален капитал, при който индустриталните разработки не могат да се разделят от военните“, а министър-председателят Едгар Фор официално обявява: „... нашата държава трябва незабавно да пристъпи към създаването на атомна и водородна бомби за да осигури независимостта и сигурността на страната ни“. А двигателят на френския атомен проект, довереникът на Де Гол Пиер Гиома, ще действа верен на заявлението си: „... няма нужда политиците винаги да казват истината; те трябва да вземат решението и да намерят хората, които да ги приведат в изпълнение“. Той е човекът, който неуморно подтиква, подбужда, подстрекава, гони целта до дупка, умело координира (хармонизира) разнопосочните стремежи и интереси на четири различни свята: на учените, на военните, на индустриталците и на политиците. Навсякъде той има свои очи и уши, както и съмишленици. Не може да се отрече, че по това време вече вятърът духа в гърба им: през март 1957 г. американците са изпробвали първата си термоядрена бомба на островите Бикини, руснаците продължават да замърсяват атмосферата с „мръсни“ си ядрени взрывове, застрашаващи мирното население и демонстрират новата серия спътници, които могат да пренасят ядрени бомби до всяка точка на земята. Въпреки „борбата за мир на световната прогресивна общественост“, въпреки становището на католическата църква (официално заявление на папа Пий XII) и дипломатическата реторика в ООН (притиснат от журналисти в Женева, Франсис Перен, главен комисар на СЕА е принуден

да признае, че „*предстоящите френски ядрени експерименти нямат научна стойност*“) и заблуждаващи политически ходове, надпреварата в ядреното въоръжаване е в пълен ход – и то вече в надпревара за създаването на термо-ядрени бомби с невероятна мощ. За периода между 1945 и 1957 г. САЩ са произвели 75 експериментални ядрени изпитания, СССР – 25, а Англия – 9. Затова взетото по това време решение първата серия от експериментални ядрени експлозии да се проведат през първото тримесечие на 1960 г., е политически оправдано, и най-важното – вече технологично изпълнимо. И въпреки, че в ООН само 15 държави (и то „ядreno импотентни“ като Дания, Исландия, Гърция, Турция и др.п.) поддържат френските начинания от всичките 82 държави нейни членове, ген. Де Гол тръбъи *urbi et orbi* за решението на Франция да стане 4-тия член на „ядрения клуб“, а през декември 1959 г. официално осведомява президентите на САЩ и Великобритания Д.Айзенхауер и Х.Макмилан за предстоящия първи френски ядрен взрив.

Френската плутониева бомба, наречена *Gerboise bleue* (сноп, полагане на венец) [6], с мощност 60-70 килотона тротилов еквивалент, окачена на върха на 100 м. „Айфелова кула“ (построена специално за целта на 14 км от мястото на слободяването и) е взривена успешно в 7ч 04м на 13 февруари 1960 г. в присъствието на пристигналите високопоставени членове на правителството и генералния щаб. Първото успешно взривяване на френска атомна бомба представлява не само голям успех за страната и нейните научни и инженерно-технически кадри, но и за възстановяването на самочувствието на нацията след унищоженията през Втората световна война: страната е поставена в редицата на победителите наред със САЩ, СССР и Великобритания. Телеграмата-отговор на Де Гол, който будува през ношта на опита е: „*Ура за Франция! От днес сутринта тя е по-силна и по-горда!*“. Разбира се, на фона на всеобщото въодушевление, не липсват и характерните за нацията саркастични подмятания: „*примитивна бомба*“, „*пистолетен изстрел*“, „*Франция открива пеницилина*“, както и обвиненията на дирижираната от комунистите преса, съобщения за загинали 15 хиляди души на 1000 км. от мястото на взрива. Но ген. Де Гол е трезв и заявявайки: „*Наистина Франция е най-малка сред големите, но най-голяма сред малките*“, продължава, като дон Кихот да товари бедния Росинант с тежкото бреме на по-нататъшните разработки за ядрено въоръжаване [7].

Трите следващи ядрени взрива на Франция в Сахара – *Gerboise blanche* (4 кт мощност, проведен на 1 април 1960 г.), *Gerboise rouge* (26 декември – на следващия ден след Коледа! с.г.) и *Gerboise verte* (24 април 1961 г.), пораждат доста критики и съмнения в необходимостта от тях, но поставят ген. Де Гол във фокуса на прожекторите. Франция вече се е превърнала в четвъртия член на ядрения клуб. Позицията му е ясна и категорична: „*Франция трябва да играе самостоятелна роля, със собствени средства, и светът трябва да знае*

това!“. Тя не може да допусне да бъде превърната в „беден роднина“ като Италия или Холандия. Наистина, това е много важен и критичен за Франция (и световната история) период: сензационното посещение на Хрущов в Париж за разговори за бъдещето на Берлин (март 1960), бунтовете в Алжир [8] и „пуч на генералите“ (януари 1961), подготвяното посещение на дъо Гол в САЩ ... И в тази атмосфера на въодушевление и критика, в период на остро вътрешни политически конфликти и външни противопоставления, Франция тръгва към израждане и на военно-въздушни сили, способни да пренасят атомни бомби – стратегическите бомбардировачи Мираж IV (въпреки, че са необходими още близо 10 години за превръщането на първите успешни ядрени опити в реални атомни бомби), пристъпва към създаването на водородна бомба! Въщност, още на 3 ноември 1959 г. на заседание на Висия Военно-изследователски център ген. Де Гол заявява, че „*създаването на ударни сили ще бъде целта на усилията през следващите години*“, а три седмици след взривяването на Gerboise bleue ген. Бюшале обявява, че Франция започва изграждането на Н-бомбата. Но за тази цел „Програма № 784“, внесена през юни 1960 г., трябва да мине през Националното Събрание и да получи неговото одобрение. Колкото и да е странно, най-голямо съпротивление проектът среща сред военните! Те загрижени стриктно за конкретните военни задачи, не смятат водородната бомба за стратегически необходима за страната: Франция не може да играе самостоятелна военна роля, а трябва да участва равностойно в Атлантическия пакт. Тези дебати, пренесени в публичното пространство, в съчетание с нарастващия антиголизъм, довеждат страната



Ген. Шарл Де Гол

на ръба на остра политическа криза: ядрената програма на Де Гол може да се окаже гангrena за Франция. Следват редица уволнения и размествания във висшите етажи на военното командване и сложни политически ходове на правителството и бурни дебати в Парламента докато на 8 декември 1960 г. Националното събрание одобрява, макар и със значителни корекции – намаляване на финан-

сите и удължаване на сроковете – внесената програма. Волята на Де Гол превръща страната в ядрена монархия!

Но така или инак, Франция е стъпила вече на друг коловоз и трябва да се съобразяват с нея. В резултат на дълги и мъчителни преговори между САЩ и СССР, всъщност и протакани за да могат през това време да си проведат необходимите многообразни експлозии в атмосферата, на 5 август 1963 г. е подписан Договор за пренасяне на опитите с ядрено оръжие под земята или под водата. Под директния натиск на президента Айзенхауер, ген. Де Гол е принуден да поеме задължението до края на 1964 г. и Франция „да слезе под земята“. Започва изграждането на новия подземен полигон – в сахарското високо плато Ин Екер в Таурит тан Афела, населен с таугерски номади. Прокаран е 175 км път, прокопани и укрепени са 1200 м тунели, изградено е и ново седалище на СЕА, на 30 км на юг от полигона, за да се проведе първият подземен френски ядрен опит на 1 май 1963 г. Това, което чуват и виждат местните номади е тътен, прашен облак и „планината трепери“. Въпреки формалните протести на алжирските власти, които, разбира се, предварително са дали съгласието си за построяване на полигона, усилията на френския научно-технически персонал продължава с пълна сила.

Апетитът идва с яденето: политическите претенции на държавниците са удовлетворени, реалните възможности на страната – научни, технически и икономически – увенчани с успех. На дневен ред е термоядрената бомба: възможностите са демонстрирани, а ген. Де Гол иска да влезе в „ядрения клуб“ с пълни ръце. Но ако за СССР, Англия или Китай (!) за прехода от атомна към водородна бомба са били необходими 4 години, за Франция ще са необходими нови 8 годишни усилия. Този период се характеризира с политическа нестабилност (сменени са 7 министри, отговарящи за проекта), която изтласква термоядрените разработки към периферията, а разпалваните и раздухвани конфликти – личностни и междуинституционални – блокират силно напредъка [9]. Всъщност, министерството на въоръжените сили, което разпределя отпуснатите финансови средства е по-заинтересовано да насочва парите за модернизация на конвенционалното оръжие (по това време на пръв план са изтребителите Мираж IV и ядрените подводници) отколкото за термоядрени бомби с неопределена стратегическа задача – на френската армия й вършат работа и „малки“ атомни бомби с мощност 300-500 кт. Освен това, още в началото на 60-те години френските, в голямата си част ляво настроени интелектуалици и учени, се отдръпват от ген. Де Гол, а пък и Фредерик Жолио-Кюри е в апогея си в борбата си за мир. Освен това, Франция няма „водещи“ физици от ранга на Опенхаймер, Телер, Курчатов или Сахаров, да не говорим, че от ядрен синтез на леки ядра французите нямат и понятие. А за направата на Н-бомбата е необходима солидна фундаментална наука. DAM (Дирекцията за военни раз-

работки) наброява 330 души, основно млади, следвоенно поколение инженери и учени – нека споменем Роберт Дотри, Жан Виард, Анри Пиатие, Мишел Мартино, Люк Даген, Жак Бело, Мишел Карайол и много други, които не жалят сили за осъществяване на проекта TAS – сложна компютърна симулация на асиметрична термоядрена имплозия чрез компресия и „запалване“ на Dli след първоначален атомен взрив. Но проблемите за изготвяне на експлозива от Dli, имплозията и др. остават „висящи във въздуха“. Едва след успешните термоядрени опити на Китай през 1965 г. натискът на Елисейския дворец се усилва. По това време младият инженер Мишел Карайол предлага модела „complage radiatif“, (аналогичен на модела на Станислав Улам и Едуард Телър от 1951 г. въз основа на който е взривена първата американска водородна бомба), но той е посрещнат със скептицизъм и французите продължават работите си по проекта TAS до лятото на 1967 г...., когато проблемът получава „зелена светлина“ след една политическа сделка. Най-после пазарълка на най-високите етажи се е състоял и Де Гол отстъпва на съпротивата си Англия да влезе в Общия пазар срещу „някой секретни детайли“, които английските специалисти по военните ядрени разработки могат да подскажат. На среща във френската легация в Лондон сър Уйлям Куук [10] – секретар на Комисията за отбрана на Великобритания, по внушение на министър председателя си Харолд Уилсън, намеква пред френския военен аташе ген. Тулуз, близък и доверен на Де Гол, за такава възможност. Машината е задействана, ген. Тулуз е извикан в Париж и подгответен за интересуващите ги въпроси [11]. Въпреки, че не са им предоставени никакви конкретни схеми или изчисления, получили увереност, френските специалисти успяват за година време да доведат до успешен край начинанието си и да взривят първата си термоядрена бомба, наречена Canopus на новия си ядрен полигон на остров Мирароа в Тихия океан на 24 август 1968 г. След няколко дена – на 8 септември с.г. те взривяват и втория си прототип Процион. А Англия влиза в Общия пазар след още 4 години...

Франция винаги остава догонваща: прави своята атомна бомба, когато вече САЩ и Русия имат своите водородни бомби. И ако САЩ и Русия правят своите атомни бомби по време и след кръвопролитната Втора световна война, но са победители в нея, Франция я прави, излязла унизена от нея, макар също по време на друга, не по-малко изтощителна война – „студената“. И тя се хвърля да прави своята бомба преди да е уверена в технологичните възможности на страната за нейната направа, само защото не иска да губи своето място сред Великите сили и претендира да играе непренебрежима и значима роля в световната политика. И без колебание може да се каже, че за постигане на целта е трябвало повече политическа воля, отколкото увереност в индустриалните възможности на държавата, по-голямо дипломати-

ческо жонгльорство, отколкото научни постижения, по-успешно административно ръководство отколкото техническо майсторство. И разбира се, ред субективни, но наложителни фактори: от непоколебимото решение на ген. Де Гол да възстанови мястото на Франция сред Великите сили, неговата увереност в неизбежността на третата световна война, при неизменната подкрепа на верните си съратници през целия сложен период на реализация на проекта, и най-вече от възможностите на френския научен, технически и индустриален потенциал, довели до успешен край на поставената задача. Въпреки, че сме склонни да приемем, че голяма част от научния напредък е плод на свободната творческа инициатива и гениалните прозрения на найните представители, за голяма част от историята на науката, особено съвременната, съществена роля играят фактори от обществената обстановка до суворото властолюбие и егоцентрична настройка на отделни държавни ръководители или политически елит, за насочване, стимулиране и институционализиране на усилията, позволяващи реализацията на мащабни постижения, налагани от времето.

Всъщност, цялата военна ядрена политика е сложно преплетена с геополитическите цели на големите и могъщи държави към средата и втората половина на XX век и ярко демонстрира взаимозависимостта между научни изследвания и политика по това време. Надали САЩ щяха да тръгнат да правят атомна бомба, ако нацистка Германия не беше започнала Втората световна война, надали щяха да я употребят над Япония, ако не им беше необходимо да демонстрират нейната мощ и пред „съюзника си“. Съветския Съюз е принуден да прави своите бомби само и само да не изостане от същите тези свои „съюзници“. За Франция разказвахме до сега – догонване...

А по-нататъшната дифузия на ядреното оръжие напълно потвърждава тази теза, въпреки че днес никой не може да предскаже бъдещето на ядреното оръжие. Въпреки, че тази тема излиза извън рамките на нашия разказ, заслужава да се маркират основните моменти от тази сага, държала под напрежение целия свят в продължение на близо половин век. Това е периодът от началото до апогея на студената война. Дуалните възможности на енергийните ядрени реактори – за мирни и военни цели – се използват за маскиране на ядрените проекти като „научни изследвания“ или „мирно използване на ядрената енергия“. Както заявява Чърчил още в началните етапи на ядрената надпревара: „...всяка държава, която успее да се сдобие със секретите за производство на атомна бомба, ще се опита да я реализира“. И действително, всяка държава, която притежава икономически възможности и технологичен капацитет за това, успява да го постигне. Първа Китай (1964), а след това и последователно Израел, Индия, Пакистан, Южна Африка и др. до 1990 г. притежават ядрени бомби, без обаче това да ги прави ядрени сили: за това

трябва да се притежава достатъчна мощ и средства (ракети) за тяхното пренасяне. Но както заявява ген. Де Гол в дните на въодушевление след първите успешни френски ядрени взривове: „...ако САЩ или СССР могат да унищожат населението на земята сто или хиляда пъти, Франция трябва да може да го направи поне един път!“. Петролните кризи и свързаните с тях локални войни отварят апетитите за ядрена енергия и обосновават претенциите за притежание на ядрено оръжие, оформяйки конфликтните зони, особено опасни за посягане към употребата им. От своя страна Великите ядрени сили живеят с убеждението, че ядреното оръжие може прекрасно да служи за решаване на локални геополитически проблеми. В официалния доклад на Международната агенция за ядрена енергия, разпространен от ООН към края на 1999 г. са изброени 44 държави в света (между които и България!), които притежават капацитет за разработване на ядрено оръжие. Всъщност, понастоящем картата на света – от Аржентина до Северна Корея е осеяна с гнезда с ядрено оръжие [12].

Това „ядreno самочувствие“ оправдава и поведението на днешния президент на Франция Жак Ширак, който се опитва да подражава на Генерала в усилията му да демонстрира твърдост, национална независимост и държавна мощ. Той възстанови ядрените опити в Южния Пасифик веднага след стъпването си в длъжност през 1995 г., а неотдавна заплаши с ядрени удари страниТЕ, които подържат тероризма или проявяват желание (или вече произвеждат) оръжия за масово унищожение. Въпреки че това се възприема като политическа реторика, използвана повече за да поддържа националното самочувствие, президентът, „който държи на своите бомби“ – както го иронизират в печата – има на какво реално да се опре. Да не забравяме, че цялата съвременна световна „мирна“ ядрена енергетика дължи генезиса и развитието си на „военните ядрени разработки“, а в това отношение Франция наистина играе независима и водеща роля в световната ядрена енергетика. Защото в това си начинание – ядреното въоръжаване на страната – отговорни политически решения и научно-техническа реализация, Франция наистина има поведение на Велика сила.

Бележки

[1] – Вж. напр.: Н.Ахабабян, *Светът на физиката*, т. 16, кн. 1, 1993; т. 21, кн. 2, 3, 1998; т. 25, кн. 1, 2002.

[2] – CNRS – Centre Nationale de Recherches Scientifiques – Национален Център за научни изследвания.

[3] – Английските учени са наясно с възможностите за създаване на ядрена бомба още преди началото на Втората световна война и провеждат своите изследвания в

тази насока. В различни английски университети работят ядрени специалисти като Джордж Томсън, Джеймс Чадуик и Рудолф Пайерлс, емигриралите от Европа Ото Фриш и Франц Симон. Скоро към тях се присъединяват и избягалите от Франция Ханс фон Халбан и Лев Коварски. Но още в началото на 1941 г. е подписано съглашението за „britано-американско сътрудничество“ за изследвания в тази насока. Ръководители на английския проект са менажерите от английската химическа индустрия У.А.Акерс и М.У.Перин и физикът – професор Дж.Чадуик от университета в Ливърпул, лауреат на Нобеловата награда по физика за 1935 г. („за откриване на неutrona“), като британска група е дислоцирана в Монреал, Канада. Само Дж.Чадуик единствен има пряка връзка с генерал Гроувс, ръководител на Манхатънския проект и е посветен в тайните на провежданите изследвания там. Едва след Хирошима и Нагазаки и началото на студената война, правителството на Уинстън Чърчил дава зелена улица на английските учени и инженери да продължат и създадат своите ядрени бомби, първата от които е взривена на 3 октомври 1952 г. в западната част на Австралия.

[4] – вж. напр.: И.Тодоров, *Светът на физиката*, т. 25, кн. 1, 4, 2002; Х.Рехенберг, *Светът на физиката*, т. 26, кн. 1, 2003; Н.Бор, *Светът на физиката*, т. 25, кн. 2, 2002. М.Фрай, *Светът на физиката*, т. 25, кн. 1-4, 2002.

[5] – За Пиер Гийома, министър на въоръженията близо едно десетилетие (1951-1958) – крайъгълния камък в ядрената архитектура на страната – заслужава да се кажат още няколко думи. Генералът изисква строга субординация, за него армията е национална институция, а не политически компонент на държавата и затова за тази работа е необходим човек, който да не е военен, за да служи като посредник между суртовите изисквания на военните и уязвимата чувствителност на учените и инженерите; да не е висококомпетентен професионалист, а съвестен изпълнител на политическата воля. Пиер Гийома се оказва най-подходящия човек за този период и за тази работа: „*Да бъдеш министър в правителство на Де Гол означава да бъдеш не политическа личност, а изпълнител – нещо като секретар*“, обяснява сам той. И генералът му отдава заслуженото: „*Ние отдаваме дължимото признание на онези, които преди всички измислиха възможностите за използване на атомната енергия, и всички онези, които подкрепяха и сега спомагат за реализиране на тази задача*“, заявява той през август 1958 г. в лабораториите в Маркул, където се строят френските ядрени реактори.

[6] – Френските журналисти ще наричат бомбата **G-bombe**, правейки алюзия за заслугите на General de Gaulle и F.Gaillard.

[7] – Наистина, независимостта (и антиамериканизма) – политическа, икономическа и научна – е демонстрирана! Но ако за техническите възможности на Франция не може да има съмнение, в областта на чисто научните постижения истината е много по-комплицирана. Самият факт на увереност във възможността за ядрен взрив е съществен. Немалко научни и технологични факти вече са станали с времето общизвестни, макар и без съмнение да е предоставена и доста секретна информация. Но е едно е да знаеш, друго да можеш... Безспорен и самостоятелен е успехът на

френските учени в разработването и усъвършенстването на методите за компресия на метален плутоний, основаващи се на трудовете на Рихмайер, фон Нойман и Чандрасекар, които свеждат необходимото количество за критична маса от 12 до 8 кг. И когато на пресконференция (след успешния първи опит) на въпроса на журналисти „Кой е бащата на френската А-бомба?“, ген. Бюшале отговаря: „*Френската атомна бомба има много бащи и много майки!*“

[8] – Дори генерали, участници в „пуча“, които са запознати с ядрения проект, се опитват да спрат ядрените опити, уговаряйки колеги от ръководни нива на проекта с мотива: „Запази бомбата за нас – ще ни потрябва!“

[9] – Вече към края на ХХ век, когато „отиващите си актьори“ в ядрено-военни-те проекти на Франция – учени и политици пишат своите мемоари, дават повод за множество дискусии (меко казано) за ролята на отделни личности и институции в нейната реализация, трудности и пр. Това е и една от причините да не може някой да се назове „баща на френската“ атомна или водородна бомба...

[10] – Уйлям Куук (1905-1987) е завършил физика в Бристолския университет през 1928 г. и се занимава с изследвания в областта на балистиката и взрывните проблеми. Работи и заема последователно високи постове в министерството на войната и адмиралтейството, а от 1954 г. е директор на военните ядрени изследвания на Великобритания и съветник на министъра на от branата. За заслугите му към страната е удостоен с благородническа титла.

[11] – ... спомнете си проведеното мероприятие – среща на проф. Терлицки с Нилс Бор в Копенхаген... – вж. „Светът на физиката“. А ген. Тулуз загива по-късно при катастрофа на хеликоптер при неизяснени обстоятелства...

[12] – Да добавим и неотдавнашните домогвания на Ирак и „днешните“ ядрени усилия на Иран и Северна Корея.

Представяме ви (с малки съкращения) един разговор на известния руски физик академик **Юрий Мойсеевич Каган**, (със значителен принос при създаването на ядрено-промишления комплекс за разделение на изотопи, необходим за ядреното въоръжаване на страната) с журналистката Дария Костикова на сп. **В мире науки** (април, 2006). Въпреки че проблемите, които той обсъжда, се отнасят за състоянието на науката в днешна Русия, проблемите у нас, макар и в друг мащаб, са същите. Това е достатъчен повод за размисъл (за онези, които мислят) за положението на нещата у нас (за онези, които се интересуват и са загрижени за нейното бъдеще).

ДА НАДНИКНЕМ ОТВЪД ХОРИЗОНТА

Ю.М.Каган

Научните школи

Едва ли ще бъда обвинен в разкриване на страшна тайна ако кажа, че днешното състояние на руската наука е доста плачевно. Причините са очевидни – многогодишното небрежно отношение към нея. А между другото, родната научна мисъл има вековни традиции, излизящи далеч извън рамките на едно поколение, което се изхитри да ги разруши.

Имаме право да се гордеем с постиженията на нашата наука, чито корени достигат в дореволюционните години. В частност, в Русия винаги е съществувала много ефикасната система на научни школи, които са били градени около един или друг голям учен. С времето учениците са ставали съмишленци и колеги, развивали подхванатата тематиката, подготвяли млади специалисти, които са следвали същия *фарватер*, но вече на нова спирала. Ръководителят уминал, но създадената от него школа продължавала да живее и работи. Такава приемственост на поколенията е спомагала за постъпителното развитие на науката, възпитавала кадри за тяхното по-нататъшно усъвършенстване, осигурявала непрекъснатостта на познавателния процес. Като пример може да се спомене школата, създадена от Л.Ландау. Вече почти 40 години откакто него го няма, обаче нивото на съвременната теоретична физика, и не само у нас, и до днес се определя от неговите последователи.

Интересното е, че нито революцията, нито граждanskата война, нито Отечествената успяха да разрушат традициите на научните школи. Те се запазиха в такива важни за страната ни области като математиката, физиката, химията, металознанието и др. Този интелектуален потенциал позволи на страната ни да постигне много неща, да създаде авиационната промишленост още преди войната, и да реши в необичайно кратък срок атомния проблем.

Осъществяването на ядрения проект – наистина фантастичен успех на руската (по-точно – съветската) наука и техника, е резултат на уникална сплав от фундаментални знания и технически постижения. Работата беше извършена през втората половина на 40-те и първата половина на 50-те години, след току-що бушувалата война, отнесла живота на милиони хора, разрушила до основи цели градове. Изглеждаше, че ще са необходими години за да се възстановят загубите и да се завърнем към нормално съществуване, да възстановим научната работа, без да мислим за осъществяване на гигантски проекти. Но се оказа, че страната е способна да порив, че в нея има кадри от висока класа по всички актуални направления: физика, химия, механика, хидро- и газодинамика, и едновременно забележителни конструктори и инженери. Независимо от всички изпитания, беше запазен значителен кадрови потенциал, останаха живи научните школи, които за кратко време възпитаха плеяди млади блестящи учени, и за неимоверно кратки срокове създадоха мощни военно-технически комплекси.

В търсене на средното поколение

За съжаление, това което беше създадено в продължение на десетилетия беше подложено на забележимо разрушение за последните 15 години на т. нар. преходен период.

Какво представляват колективите на съвременните наши научни институти? В значителна степен те се състоят от хора от старшата възрастова група като се наблюдава катастрофален недостиг на хора от средното поколение – 30-45 години, когато се знае, че именно на този период се пада разцвета на способностите на человека и неговата творческа енергия. Средното звено най-ефективно осъществява педагогическа дейност и предава знанието на младото поколение. Имаше времена, когато на горните курсове във висшите училища лекциите се четяха от водещите научни сътрудници на изследователските институти. В тях пък студентите готвеха своите дипломни работи и дисертационните си изследвания под ръководството на водещи учени. Образоването и науката бяха неразрывно свързани, което обезпечаваше не само високото ниво на знанията, но и приемствеността между поколенията в науката. Преподаването се водеше от млади талантливи учени. Например, С.П.Капица беше на 35 години, когато беше поканен да завежда катедра в Московския физико-технически институт, а самия ректор на МФТИ О.М.Белоцерски беше на 37 години. И на тях беше поверено ръководството на едно от най-престижните учебни заведения в страната. Впрочем, всички ръководители на съветския атомен проект: Курчатов, Кикоин, Алиханов и др. бяха между 35 и 40 години и не бяха навършили 50 когато доведоха до успешен край първия етап на проекта.

Днес средното поколение на научната интелигенция в Русия в голямата си част е загубено. Когато страната направи рязък завой към капитализъм, науката беше забравена, понеже не обещаваше бърза и лека печалба ни за

държавата, ни за предприемачите. Държавниците ни си мислеха, че след като премине етапа на първоначално натрупване те ще могат да се заемат с науката, да я възродят, да върнат загубеното време. Далеч от науката хора си мислеха, че да се реанимира науката е просто – достатъчно е да се прочетат учебниците и специализираните списания. Такава гледна точка говори за пълно неразбиране на научно-изследователския процес, който представлява по същество непрекъснато натрупване, попълване, развитие и предаване на знанията, започвайки от училищната и студентска скамейка и завършвана в научните лаборатории и реализирането на мащабни проекти.

Учените в канавката

В резултат на подобна недалновидност, в кризисна ситуация се оказаха и системата за образование, и научната мисъл, и самите мислители. Да допуснем, че млад човек завършва водещ университет с отлична диплома и постъпва на работа в един от най-добрите академични институти. Неговата основна заплата ще бъде от порядъка на 1500 рубли (приблизително 30 рубли = 1\$; бел. прев). Стипендията на аспирант не надвишава 1000 рубли. Кандидат на науките получава максимум 2500 рубли, което не го издига и до жизнения минимум. Между другото, със тези оскъдни средства младия човек трябва не само да живее и поддържа семейство, но и да купува необходимата му литература, компютър и пр. За сравнение – минималният доход на аспирант на Запад е 20 (двайсет!) пъти по-голям, отколкото в Русия.

В резултат, много хора, които биха искали сериозно да се занимават с наука, да работят самостоятелно на съвременно оборудване, въпреки че имаха минималното обезпечение за поддържане на семейството, заминаха зад граница. При това, съвсем не поради недостатъчен патриотизъм, а поради липса на възможност за ефективна работа в полза на родината, на която те се оказаха ненужни. Наистина останаха и доста, които се отказаха да напуснат страната, които поддържат жизнеспособността и нивото на родната наука. Но те са принудени да търсят пътища и начини за обезпечаване на жизненото си ниво. И не можем да изискваме *подвижничество* „въпреки всичко“. Полето на тяхната слава са научните лаборатории със съвременен технически потенциал, финансиране на оригинални проекти и държавна поддръжка. При отсъствие на материално-техническа база е безсмислено да се говори за научни пориви – на пусто място те са трудно ощеествими даже при наличие на ентузиазъм.

Много перспективни млади хора се прехвърлиха в бизнеса или други не- научни сфери, които осигуряват достойното им съществуване. А да се занимава истински с наука едновременно с някаква странична работа, все още никой не е успявал.

Дълги години нашата наука се финансираше по „остатъчния принцип“: десетилетия институтите работеха с отдавна остаряло оборудване, без да имат средства за неговото обновление. При това те успяваха да постигнат сериоз-

ни научни резултати, понякога граничещо с чудо! Трябва да се спомене, че перспективни учени получават различни грантове и премии, но това е капка в морето. Получените средства стигат само за закупуване на компютър и някакви химикали, но са съвсем недостатъчни за придобиване на съвременни прибори, осъществяване на дългосрочни изследвания и поставяне на своята работа на принципно ново ниво.

В резултат съвременната руска наука е представена основно от сивокоси учени мъже. Именно те все още имат възможност да провеждат научните занимания, да развиват ноу-хау, да учат младите. За съжаление, това поколение си отива, и когато тях няма да ги има, ситуацията ще се окаже катастрофална, нивата на науката ще опустее.

От Берлин до Пекин

Трябва да се каже, че Русия не е първата страна, оказала се в условия на дефицит в науката.

Хитлер, идвайки на власт, унищожи или изгони много първокласни учени – едни поради национална принадлежност, други поради инакомислие. В резултат на това, след войната в Германия практически нямаше наука. Въпреки че немските университети бяха прославени още от Средните векове. През 1963 г. поста на федерален канцлер на ФРГ беше зает от Л. Ерхард, известен като творец на икономическото чудо. Преди всичко, за възхода на икономиката бяха направени колосални капиталовложения; второ, като национален приоритет беше поставена задачата за връщане в страната на напусналите я специалисти и предоставянето им на всички възможности за плодотворна работа. „Възвращенците“ бяха приравнявани с държавните чиновници специално за да получават съответстващия им социален пакет на привилегии. Именно онези, които тогава се завърнаха в родината си, определят днес лицето на германската наука.

Поразителен възход се наблюдава днес в Китай – удивителен по динамика, темпове на развитие и перспективи за страната. Навремето много китайски студенти заминаваха да учат в чужбина, което беше поддържано както от държавата, така и от китайската диаспора в чужбина. Днес се прави всичко възможно тези хора да се завърнат: млад специалист, от когото страната е заинтересована, получава квартира, висока заплата, а главното – големи средства за оборудване на лаборатории и придобиване на всичко необходимо за да може да заеме достойно място в съвременната наука. Плюс – престиж и уважение в обществото.

Впрочем и много руски учени биха се завърнали в къщи, ако има уверение, че ще могат да живеят достойно и работят безпрепятствено. Какви уникални кадри – млади, енергични, с блестящо образование, опит в работата, връзки със световната научна общност и най-важното, с разбиране на процесите, протичащи в съвременната световна наука.

В дебрите на реформата

Това, че руската наука се нуждае от „неотложна медицинска помощ“, вече се говори от много години. Методите за лекуване, които се предлагат, са най-различни – от финансова реанимация до радикална хирургическа намеса. Очевидно, необходими са капиталовложения, при това, колкото по-вече се отлага това, толкова по-големи средства ще са необходими по-късно за възстановяване на нивото на изследванията.

Но работата не е само във финансовата страна на въпроса. Необходима е концепция за развитие на науката, одобрена от научната общност. При това, нито един от предложените в последно време документи, не съдържа реална програма, те само описват търговско-икономическите отношения, възникващи при осъществяване на научно-изследователска дейност. При това, всички решения в тази сфера се вземат от чиновници, без съгласуване с научните кръгове. Не по-малко странно изглеждат усилията да се разделят фундаменталните изследвания от приложните. Според тази формулировка, с първото нека се занимава Академията на науките, а второто трябва да се отдаде под юриспруденцията на Министерството на образованието и науката. Подразбира се, че фундаменталната мисъл витае в *емпиреях*, и значи нека се реформира както намира за добре, а приложната област трябва да се занимава с инновации и да носи печалби. Но какво е всъщност иновация? Тя се ражда в резултат на многогодишни изследвания, по пътя на опитите и грешките. За да се създаде едно ново лекарство, е необходимо да се изучат десетки хиляди химически съединения. Всяка приложна разработка се основава на комплекс от базисни знания и опит, таланта на хора, способни в конкретната ситуация в хода на работата нещо да менят и оптимизират. Само симбиоза на фундаменталната и приложна наука и наличието на квалифицирани кадри е способна да направи пробив в науката и техниката. Благодарение на такова съчетание стана възможно осъществяването на руския атомен проект, защото голямата част от неговите ръководители в началото на своята научна кариера се бяха занимавали с фундаментални изследвания, и тази основа им позволи ефективното решаване на чисто приложните проблеми.

Историята и практиката на науката и икономиката познава много примери на необикновено ефикасно сплотяване на двете направления. Например, създадената през 1925 г. научно-изследователска фирма „Бел-телефон лаборатория“ се е състояла от няколко взаимносвързани подразделения. Едната от тях се е занимавала изключително с фундаментални изследвания, в частност, в областта на физиката на твърдото тяло, електрониката и т.н., друг отдел на тяхна основа е развивал приложни методи, при това колеги от „фундаменталния“ отдел са били основните им консултанти и са им помогали по всякакъв начин. Трета лаборатория се е специализирала в производството на различни продукти.

Нека посочим, че всички национални и изследователски лаборатории в САЩ – Брукхейвънската, Аргонската, Лос-Аламоската и др., активно развиват фундаменталните си изследвания, тясно свързани с държавните университети и имат държавно финансиране. Тук се крие и залогът за успеха.

Технопарк от юрския период. Сега активно се обсъжда въпросът за създаване на технопаркове с цел оптимизация на научната и инновационната дейност. От идеята се заинтересува и президентът. Наистина, сама по себе си идеята е добра. В чужбина подобни комплекси се натрупват около големи университети или научни лаборатории, чито изследвания могат да имат приложно значение. В очакване на резултати, се осъществява *венчурно* финансиране на разработките и тяхното придвижване. Обаче да се създаде такава научно-производствена корпорация на голо поле, без активното развитие на фундаментални изследвания, създаващи инновационни приноси, е невъзможно.

В Русия идеята за технопаркове, колкото и да е странно, не е нова, но има печален опит на нереализация. Навремето беше прието забележителното решение за създаване на научен център в Сибир – Сибирското отделение на АН. Въщност, то и до днес си остава опора за развитие на науката в този огромен район. Негов организатор в края на 50-те години беше един уникален човек – академик М.Лаврентиев, който представляваше рядкото съчетание на голям учен и способен администратор. Той прекрасно разбираше необходимостта от формирането на технопарк и даже направи усилия в такава насока. Обаче съветската административна система отхвърли тази негова инициатива, обявявайки я за непланирана младежка самодейност. А след това да се повдига този въпрос вече не беше възможно. Да се надяваме, че сега опитите ще бъдат по-сполучливи.

Как да не родим чудовище

Бог е дарил Русия с богати недра, които ние от десетилетия експлоатираме, рискувайки да превърнем страната в сировинен придатък на по-развитите страни – такава съдба ни е отредена от недалновидните политики и предприемачи, неспособни и не желаещи да погледнат по-далеч от моментните си изгоди. А какво ще се прави, когато нефтът и газта привършат? Впрочем, пред очите ни е нагледният пример как страни, които нямат никакви природни богатства, като Япония или Южна Корея, направиха колосален скок, базирайки се изключително на научните постижения. Нима Русия, притежаваща огромни природни и интелектуални ресурси, притежаваща уникатен опит и традиции в областта на науката и образоването, не е способна грамотно да се възползва от своите предимства? Благополучието на страната не трябва да зависи от цената на енергоносителите!

Какви крачки трябва да се направят в тази насока? Преди всичко, да се вземат основополагащи държавни решения, разглеждащи науката като една

от основните направления за развитие на страната през ХХI век и като основа на доктрината за нейната независимост и безопасност. Второ, необходима е концепция за развитие и финансиране както на фундаменталните, така и на приложните изследвания. И трето – да се направят необходимите усилия, за да се върне в науката поколението от средната възраст и да се привлекат младите, създавайки условия, позволяващи им достоен живот и продуктивна наука.

Разбира се, всичко това изисква политическа воля и капиталовложения. Но колкото повече отлагаме решаването на тази задача, толкова по-дълбока става ямата, която сами копаем, и толкова по-големи средства ще са необходими по-късно за да се оправи ситуацията.

Може и да се продължава с бездействие. Но трябва да се разбере, че не става дума за амбицията на учените, а за безопасността и бъдещето на страната ни. Ако искаме да видим Русия богата и независима индустриска страна, трябва да развиваме науката, при това не отделни нейни части, а целия комплекс, включително и образованието. Науката представлява жив организъм и не може да се лекува крайник, глава или опашка, след това да се слепят в произволен ред и да се получи жизнеспособно същество – то трябва да расте като единно цяло. В противен случай ние ще породим обречено на гибел чудовище, подобно на създаденото в своето безумие от доктор Франкенщайн.

Важно е, че всяка сериозна структура, било то армия, образование или наука излиза извън рамките на едно поколение, десетилетия, а и столетия събира и формира своя опит, знания и традиции. Да се разрушат подобна система е лесно, но за възстановяването и са необходими многогодишни целенасочени усилия. Удивително е: ние не можем да си помислим за своята безопасност и защленост без армия, и затова държавата се старае по всякакъв начин да поддържа нейното ниво и авторитет, но пропускаме да се замислим, че без висококачествена и мощна наука не е възможно ни политическа, ни икономическа, ни интелектуална безопасност и дори просто самостоятелна държава.

Казаното до тук се отнася до всички области на съвременното естествознание, аналогични процеси се развиват и в обществените и в хуманитарните науки. Докосвайки се до чувствителните места, учените поставят диагноза както на себе си, така и на цялото ни общество и страна, и в известен смисъл – на нашето бъдеще. Но диагнозата не е присъда, а повод за вземане на решителни мерки. Ще бъдат ли те предприети или и занапред ще почиваме върху лаврите на минали благополучия, утешавайки се със запасите на нефт и газ?

Превод от руски: Н.Ахабабян
Заглянуть за горизонт, В мире науки, апрель 2006

ДИПОЛНО-ДЕЛИТЕЛНА РАВНИНА

Христо Ив. Дичев

Известно е, че при протичане на ток през бобина (соленоид), възниква магнитно поле. Ако токът е постоянен, винаги се получава двуполюсен постоянен магнит, чиято посока N-S, зависи от посоката на тока. Всеизвестни са опитите със соленоид и железни стърготини, които във вътрешността на соленоида се подреждат в успоредни линии, от което наблюдение се правят изводи, че полето вътре е хомогенно.

Опитно установих обаче, че при други условия в соленоида могат да се наблюдават картини, различни от познатите досега.

Опитната установка (Фиг.1-3) представлява вертикално разположен соленоид, в който се поставя малка пластмасова ваничка, на чиято повърхност плават фини железни частици.

Както се вижда от приложените фотографии (Фиг.1-3), когато ваничката се премества по осата на соленоида вътре в него, железните частици се подреждат по различен начин, в зависимост от нейното положение: когато тя е в един то двата края на соленоида (позиции 1 и 5), частиците се подреждат в концентрични дъги а когато е в средата (позиция 3) – в успоредни линии. Именно тези линии, възникващи в геометричната среда на соленоида, нарекох диполно-делителна равнина поради наблюдавания поразителен факт, че най-късите хорди в тази равнина имат диполен характер.

При преместване на ваничката нагоре (позиция 2), успоредните линии се огъват към най-късата хорда и оформят единния полюс а при преместване надолу (позиция 4) те се огъват към срещуположната къса хорда и оформят срещуположния полюс.

Въз основа на еквивалентността на магнитното поле получено от постоянен магнит и от соленоид, захранван от постоянен ток, от гореописаните наблюдения биха могли да се направят някои изводи относно магнитостатиката изобщо, както и палеомагнетизма^{*} и Новата глобална тектоника^{**}.

* Палеомагнетизъм – това е магнетизма на Земята.

** Новата глобална тектоника – наука изобщо за Земята.



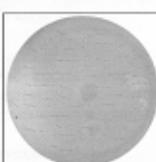
Фиг. 1 - В горната част на соленоида - позиция 1, частиците са подредени в концентрични дъги, същото се наблюдава и в позиция 5.



Позиция 1 (N полюс)



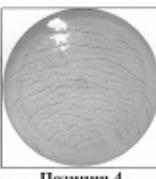
Позиция 2



Позиция 3



Фиг. 2 - В позиция 2 линиите са огънати към единия полюс, а в позиция 4 към противоположния полюс.



Позиция 4



Фиг. 3 - В средата на соленоида - позиция 3, се наблюдава диполно-делителна равнина с частици подредени в успоредни линии.



Позиция 5 (S полюс)

МЪДРЕЦ

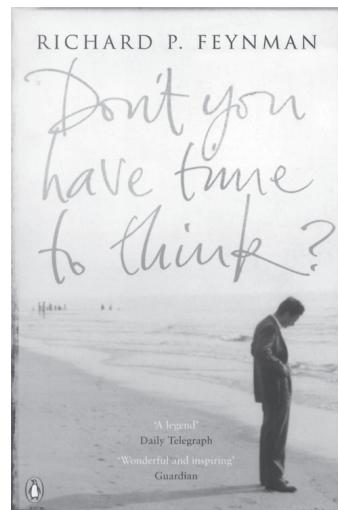
Фрийман Дж. Дайсън

За книгата: Безупречно обосновани отклонения от утъпкания път: Писмата на Ричард П. Файнман. Под редакцията и въведение от Мишел Файнман и предговор от Тимъти Ферис

Великите учени принадлежат към една от следните две разновидности, които Изайа Бърлин, цитирайки поета Аркилькъс от седми век пр. Хр., е нарекъл лисици и таралежи. Лисиците знаят много хитрости а таралежите – само една. Лисиците се интересуват от всичко и лесно прескачат от един проблем към друг. Таралежите се интересуват от много малко проблеми, които те смятат за фундаментални, и остават приковани към тези проблеми в продължение на години или десетилетия. Повечето велики открития са дело на таралежите, а повечето от малките открития – на лисиците. За своето нормално развитие науката се нуждае както от таралежите, така и от лисиците – таралежите за да се задълбват дълбоко в природата на нещата а лисиците, за да изучават сложните детайли на нашата чудесна вселена. Албърт Айнщайн беше таралеж; Ричард Файнман беше лисица.

Много от читателите на *The New York Review of Books* сигурно познават Файнман по-скоро като разказвач, например от неговата книга „Вие сигурно се шегувате, мистър Файнман!“¹, отколкото като учен. Вероятно не са много тези, които са прочели неговия забележителен учебник *Файнманови лекции по физика*,² който стана бестселър между физиците, но не беше предназначен за широката публика. Сега получаваме сбирка от негови писма, подбрани и редактирани от неговата дъщеря Мишел. Тези писма не ни говорят почти нищо за неговата наука. За читателите, които не са учени, е важно да разберат, че лисиците могат да бъдат толкова съзидателни, колкото и таралежите. Файнман имаше шанса да бъде млад във време, когато съществуваха огромни възможности за лисиците. В началото на двайсти век таралежите – Айнщайн и неговите последователи – бяха копали надълбоко и бяха разкрили новите основи на физиката. Когато Файнман излезе на сцената около средата на века, основите бяха положени здраво и вселената беше широко отворена пред лисиците за да я изследват.

Едно от малкото писма в сбирката, което се занимава с Файнмановата



наука, е написано до неговия бивш студент Коичи Мано. То описва метода на работа на една лисица:

Работих върху безброй проблеми, които ти би нарекъл скромни, но които ми бяха приятни и ми доставяха удоволствие поради това, че понякога почти успявах... Образуването на шокови вълни при експлозии. Построяването на неутронен брояч... Обща теория за това, как да сгънем хартията, за да направим една детска играчка (наречена флексагон). Енергетичните нива в леките ядра. Теорията на турбулентността (с нея се занимавах няколко години безуспешно). Плюс „по-големите“ проблеми на квантовата теория.

Никой проблем не е твърде дребен или тривиален, ако наистина можем да направим нещо по него.

„По-големите“ проблеми на квантовата теория“ са само една от точките в дългия списък на Файнмановите занимания.

Фразата „‘по-големите’ проблеми на квантовата теория“ се отнася до неговата блестяща работа, за която той получи Нобелова награда през 1965 г.: за изобретяване на изобразителното представяне на природата, което той нарече „пространствено-времеви подход“. Тази работа беше започната през 1947 г. като един скромен опит да се изчислят точно фините параметри на водородния атом за да се сравнят с резултатите от някои нови експерименти, проведени в Университета на Колумбия. За да извърши това изчисление, Файнман изобрети нов начин за описание на квантовите процеси, използвайки нагледни диаграми вместо уравнения, за представяне на взаимодействащи частици. „Файнмановите диаграми“, които той изобрети за целите на едно конкретно изчисление, предизвикаха революция във физиката. Диаграмите се оказаха не само полезно средство при изчисленията но също така и един нов инструмент за разбиране на природата. Основната идея на Файнман беше проста и обща. Ако искаме да пресметнем един квантов процес, всичко което трябва да направим, е да начертаем стилизирани изображения на всички взаимодействия които са възможни, следвайки прости правила да пресметнем по едно число съответстващо на всяко изображение, и накрая да съберем тези числа. И така квантовият процес се представя като сбор от изображения, всяко от тях описващо един възможен начин, по който процесът би могъл да протече.

Файнмановите диаграми ни дадоха една проста нагледна представа на квантовите процеси не само за водородния атом, но и за всички останали явления във вселената. Двайсет години след изобретяването им, тези диаграми се бяха превърнали в работен език на частичковите физици по целия свят. Сега е трудно дори да се представим, как сме могли да мислим за полетата и частиците, преди да имаме този език. Една нова книга на историка от МТИ Дейвид Кайзер, *Разчленяване на теориите: Разпространението на Файнмановите диаграми в следвоенната физика*,³ ни дава едно живо описание на

това, как диаграмите обходиха целия свят. Диаграмите се разпространяваха като грипна епидемия. Всяко ново поколение от млади учени се заразяваше от Файнмановата болест и после заразяваше други, с които влизаше в личен контакт. Файнмановата епидемия се оказа по-продължителна от грипна епидемия поради това, че инкубационният период се измерваше с години а не с дни. Много от по-възрастните учени останаха незасегнати, но тяхното влияние започна да избледнява с повсеместното въвеждане на новия език.

След като Файнмановата работа върху диаграмите беше приключена, измина цяла година преди тя да бъде публикувана. Той беше зает с това да споделя идеите с всеки, който искаше да слуша, обаче намираше писането на формална статия за безвкусно занимание и го отлагаше докато е възможно. Неговата основополагаща статия „Пространствено-времеви подход към квантовата електродинамика“,⁴ можеше и никога да не бъде написана, ако той не беше отишъл за няколко дни на гости при своите приятели Бърт и Мюлайка Корбен. Докато бил в тяхната къща, те го подканвали да седне и да напише статията, а той измислял всякакви извинения за да не го прави. Мюлайка, която била жена със силен и освободен характер решила, че са необходими драстични мерки. Тя била една от малкото, които можели да се сравняват с Файнман по сила на волята. Тя го заключила в неговата стая и отказала да го пусне да излезе, докато статията не бъде завършена. Тази история ми беше разказана по-късно от самата Мюлайка. Както и много други Файнманови истории, и тази може да е била разкрасена при разказването, но като познавам и Мюлайка и Файнман, тя ми звуци съвсем правдоподобно.

Всички които познаваха Файнман като приятел и като колега бяха изненадани, когато се появи тази колекция от негови писма. Никога не сме си го представяли като писмописец. Той беше прочут като голям учен и изключително общителен човек, но начина му на общуване с хората беше говоренето а не писането. Той говореше живо и непосредствено но винаги е твърдял, че е неспособен да пише на граматически правилен английски. Всичките му книги не са писани от него, а са записвани и редактирани от други по записи на негови разкази. Специализираните книги бяха записи на неговите лекции а популярните му книги – записи на всевъзможни, разказани от него истории. Той предпочиташе да публикува своите научни открития под формата на лекции а не на научни статии.

Настоящата книга обаче разкрива че Файнман, както и другият велик комуникатор – Роналд Рейган – тайно е писал персонални писма на голям брой различни хора. Малка част от тези писма са до негови професионални колеги. Много от тях са до семейството му но и голяма част са до хора, които той не познавал и с които никога не се е срещал, в отговор на писма, които те са му писали и съдържащи въпроси на научна тема. Въпреки претенцията му че е неграмотен, писмата са написани на отличен и граматически безупречен

английски. В тези писма рядко се споменава неговата работа като творчески учен. В тях не се говори нищо за настоящите му изследвания. В тези писма виждаме Файнман като учител. Той прекара голяма част от живота се преподавайки и се отдаваше на преподаването също така страстно както и на изследователската работа. Той пишеше писмата, защото искаше да помогне на някого, който искрено се опитваше да разбере. Предпочиташе да отговаря на такива писма които повдигаха проблеми, които той можеше да обясни на прост език. Проблемите обикновено са елементарни и отговорите на Файнман са съобразени с научното ниво на неговия събеседник. Не се опитваше да се прави на много умен. Целта му беше да бъде максимално ясен.

Всяко едно от писмата е лично. Той откликуващ на личните нужди на хората както и на техните въпроси. Като пример на негов личен отговор, ето последния параграф на писмото до Коичи Мано, което вече цитирах. Коичи бил нещастен от своя живот като учен, защото не се занимавал с фундаментални проблеми. Файнман отговаря:

Казвай, че си безименен човек. Не си такъв за жена си и за детето си. Няма да останеш дълго такъв и за непосредствените си колеги, ако можеш да отговаряши на простите въпроси, с които те се обръщат към теб. Ти не си безименен човек за мен. Не бъди безименен за себе си – това е твърде тъжен начин на съществуване. Знай своето място на земята и оценяй себе си справедливо, не според наивните идеали на собствената си младост нито според това, което погрешно приемаш за идеали на своя учител.

Желая ти щастие и успехи.

*Искрено твой,
Ричард П. Файнман*

Мишел Файнман е добавила някои кратки забележки към писмата и едно въведение, в което описва какво значи да си Файнманова дъщеря. Тя била също така изненадана както и всички останали, когато открила писмата и започнала да ги чете шестнайсет години след неговата смърт. През тези години те са останали затрупани в архивите на Калифорнийския Технологичен Институт, разпръснати сред огромно количество статии и лекционни записи. Веднага щом ги прочела тя решила, че те трябва да станат достояние на света. Те показвали Файнман в нова светлина. По-рано, хората го познаваха като голям учен и прочут клоун. Една година след като се срещнах с него за първи път в Корнелския университет през 1947 г., аз го описах в едно писмо до родителите си като „наполовина гений и наполовина шут.“ В тези писма той не е нито гений нито шут а мъдър съветник, дълбоко заинтересуван от най-различни хора, отговарящ на техните въпроси и опитващ се с всички сили да им помогне.

Въведението на Мишел завършва с една бележка, която тя намерила при

писмата в архива. Файнман я е писал за своята реч на банкета по случай връчването на Нобеловата награда в Стокхолм. Когато за първи път беше обявено присъждането на неговата Нобелова награда, преди да отиде в Стокхолм, той направи пренебрежителни забележки относно наградата и по формалните церемонии, които ще му се наложи да изтърпи в Стокхолм. Той каза че смятал да откаже наградата но жена му обяснила, че това би предизвикало много повече нежелана шумотевица, отколкото ако я приеме. Той не обичаше формалните церемонии а още по-малко обичаше снобизма, присъщ на царете, цариците и царските дворци. Но по-късно, след като беше посетил Стокхолм и се беше насладил на шведското гостоприемство, той написал бележка, която изразява най-точно неговите чувства към обществото. Той описва как наградата е предизвикала лавина от писма:

Разкази за бащи, обръщащи се възбудено с вестник в ръка, към жените си; на дъщери, тичащи нагоре-надолу по стълбите на жилищната кооперация и звънящи по звънците на съседите за да споделят последните новини; победни викове като „Аз ти казах“ от хора без никакви технически познания – чието сполучливо предсказание е било основано само на вяра; от приятели, от родници, от студенти, от бивши учители, от колеги, от напълно непознати хора...

Във всяко от тях аз съзирах два общи неща. Във всяко от тях имаше радост; и имаше привързаност (виждате, че всичката скромност, каквато може би съм имал някога, е напълно загубена през последните дни).

Наградата беше един повод за тях да изразят, а за мен да узная за техните чувства...

За всичко това съм благодарен на Алфред Нобел и на всички, които са работили толкова упорито, за да реализират неговите стремежи по този конкретен начин.

И така, скъпи шведски хора, с вашите почести, и вашият тромпети, и вашия цар – простете ми. Защото аз най-сетне разбрах – тези неща отвсят път към сърцето. Когато се използват от мъдри и миролюбиви хора, те могат да породят добри чувства и дори любов между хората, даже в земи, твърде отдалечени от тяхната. За този урок аз ви благодаря.

Заглавието на тази книга е взето от едно писмо, което Файнман написал до Калифорнийската държавна комисия, в което похвалил учебниците, предназначени за началните училища. Синът му Карл тогава бил на три години, така че след още три години щял да постъпи в началното училище и да учи по тези учебници. Файнман употребил много време и усилия да чете учебниците и да отбелязва техните недостатъци. Той също изучил и инструкциите за учителите, придружаващи тези учебници. Предназначенето на инструкциите било да обясняват материала в учебниците, така че учителите да могат да го преподават с разбиране. Файнман бил особено критичен към тези ин-

трукции. В отговор на една получена серия от учебници и инструкции, той написал:

Честно. Пъстра смес от добро и лошо.

За първи клас, прости и ясни експерименти по кондензация и т.н., но голяма част от материала за животните е върху техните повърхностни различия (нищо по въпроса как снасят яйца, как отглеждат малките си и др.)

За пети клас, химията и звука са добре представени и ясни, но материалите за атмосферното време и за електричеството не са много добри. Поточно, и при двата материала (време и електричество) учителското ръководство не отчита възможността за получаване на верни отговори, но различни от очакваните и инструкцията за учителката не ѝ дава възможност да се справи с напълно разумни отклонения от утъпкания път. Освен това, в тези раздели са предложени трудни експерименти, които може и да не про-работят толкова лесно колкото се очаква, но на учителите не се дават указания че това може да се случи и как да се справят с такава ситуация.

Той е бил особено загрижен че учителите, които използват тези ръководства, може да санкционират онези деца, които предлагат оригинални решения на задачите. Това действително се случило много години по-късно, когато Мишел била в гимназията и била наказана за това че използвала нестандартен път за решаване на една алгебрична задача. Когато Файнман отишъл в училището да се оплаче учителят го обвинил, че не разбира нищо от математика. След това Мишел си останала в къщи да учи математика с баща си и отива в училището само за да си взема изпитите.

Мишел била по-малката от две деца, обичани безумно от баща си и отвръщащи му с любов и възхищение. Брат ѝ Карл, бил по-близък до него интелектуално, споделяйки неговите интереси към науката и към компютрите. Мишел описва как тя мълчаливо пристъпля до тях при дългите разходки, докато те увлечено обсъждали нещо. Веднъж той ми се оплака от Карл:

Мислех си, че винаги съм бил добър баща, който се гордее със своите деца и никога не се опитва да ги тласка в някаква определена посока. Не съм искал да станат професори като мен, бих бил не по-малко щастлив ако те станат шофьори на камион или пък балетни танцьори, стига да са удовлетворени от това, с което се занимават. Но се оказва, че те винаги намират начин да те опровергаят. Например, моет син Карл. Той е студент в МТИ и с какво е решил да се занимава? Иска да стане проклет философ.

Файнман се възхищавал от хора с практически умения и не виждал никаква полза от философите. За щастие, увлечението на Карл по философията било кратко. Той скоро се върнал към компютърната наука – област, в която можел с радост да споделя с баща си идеи и технически умения.

Лесно бих могъл да запълня цялата статия с цитати от писмата. В нача-

лото има писма на Файнман до родителите му, включително една крайно нетривиална математическа загадка, включваща дълго делене, която той изпратил на своя баща, когато бил още двайсет и една годишен. Баща му бил пътуващ търговец, страстно привързан към науката, но без научна подготовка. Тази загадка ще да е била част от продължителна размяна на задачи и идеи между баща и син. Много години по-късно той писал за баща си:

Той ми разказващие забележителни неща за звездите, числата, електричеството... Преди да се науча да говоря, той вече ме беше заинтригувал с математически построения, направени от блокчета. Тъй че аз от край време съм бил учен. А аз винаги съм бил доволен от това, затова съм му благодарен за този подарък, който ми е направил.

Сред семейните писма се намира сбирка от писма между Файнман и неговата първа жена Арлийн, описващи ден след ден техния обречен и труден живот през трите години от женитбата им до нейната смърт от туберкулоза. През по-голямата част от този период, Файнман работил по проекта Манхатън за създаване на атомна бомба в Лос Аламоската лаборатория, а Арлийн била настанена в санаториум в Албукуерк, на около шейсет мили по разбити планински пътища. Ето какво й написал Файнман през май, 1945 г.:

Докторът специално дойде да ми съобщи за израстването на една пlesen, стрептомицин, която изглежда, че успешно лекува ТБ при гвинейски прасета – тя била изprobвана върху хора – прилични резултати, освен че била опасна, защото увреждала бъбреците... Той каза, че това може би скоро ще бъде поправено – и ако проработи, бързо ще стане достъпна...

Не губи надежда – защото смятам че е възможно да се случи нещо. Ние не е сигурно. Ние тук водим чуден живот.

Стрептомицинът се окказал добър за хората и бързо станал достъпен, но не достатъчно бързо, за да спаси Арлийн. Тя починала един месец по-късно.

Пет от писмата са по-различни от останалите. Те са писани от Файнман до неговата трета жена, Гуинит, когато той е пътувал без нея. Гуинит е майка на Карл и втора майка на Мишел. Той очевидно е обичал да й пише. Писмата са пълни с негови наблюдения на такива подробности, които повечето пътници биха пропуснали. Една от неговите дарби беше способността, когато попадне на място на което никога не е бил преди, да види с един поглед всичко, което става там. Именно неговата прецизна наблюдателност и ярка описателна способност правят тези писма толкова незабравими. Същата дарба му помогнала да стане единственият успешен откривател на причините за катастрофата на совалката Чалънджър през 1986 г. Когато му предложили да участва в комисията, разследваща причините за катастрофата, той смятал да откаже, но Гуинит му казала:

Ако ти не го направиш, тогава ще има група от дванайсет души, които ще ходят заедно от място на място. Но ако се включиш в комисията, тога-

ва ще има група от единайсет души – които ще обикалят заедно – а дванайсият непрекъснато ще тича наоколо и ще проверява всякакви необичайни факти... Няма друг, който може да прави това като теб [5].

Той знаел, че Гуинит е права, и затова се съгласил. Неговите „Лични забележки върху безопасността на совалката“, публикувани като допълнение към официалния доклад на комисията, съдържат много мъдрост. След като е анализирал подробно редица възможности за възникване на инциденти, той достига до заключението, че очакваната вероятност за фатални инциденти при совалките е средно веднъж на сто полета. Вторият фатален инцидент, катастрофата с Колумбия на 1 февруари 2003 г. показва, че неговата оценка е близо до истината. Но политиците и администраторите, които управляват НАСА, досега не са признали публично, че той е бил прав.

Петте дълги писма до Гуинит са писани от пет различни места: от Брюксел, където той бил на конференция по физика през 1961 г. а тя била бременна с Карл, от Варшава, където той бил на друга конференция по физика през 1962 г., от Атина, където четял курс лекции през 1980 г., от Швейцария, където бил на посещение през 1982 г. и от Вашингтон, където работел като член на комисията за совалката през 1986 г. Всяко от тях е като отделна пиеса, ясно разграничена във времето и пространството и съдържаща ярки портрети на хора, с които се е срещал. Брюкселската пиеса е поставена в кралския дворец, където той бил представен на краля и кралицата и съдържа ярко описание на строгите и глупави формалности на кралския разговор. За щастие, секретарят на кралицата се окказал приятелски настроен съюзник и Файнман успял да избяга от двореца и да прекара един приятен следобед със секретаря, жена му и децата му в тяхната вила.

Варшавската история се разиграла в ресторанта на Гранд хотела, където Файнман описва неприятностите, причинени от комунистическата бюрокрация. „Теоретично“ написал той,

Планирането може и да е добро нещо – но засега никой не е разкрил причините за глупостта на правителствените чиновници – и докато не стане това, всички идеалистически планове ще се провалят.

Атинската история разказва как гръцката образователна система, с нейното прекалено наблягане на славата на древна Гърция, дава лош старт на децата в живота учейки ги, че каквото и да направят, няма да могат да се доближат до славата на своите предшественици:

Te бяха много разочаровани когато аз казах, че най-важното нещо за европейската математика е било откритието на Тарталия, че кубичното уравнение има решение – което, макар и да се използва много рядко, трябва да е било психологически прекрасно защото показало, че съвременният човек е в състояние да направи нещо, което никой древен грък не е можел да направи.

ви и поради това помогнало на ренесанса, състоящ се в освобождаване на човека от сянката на древните.

Швейцарската история е най-дългата и най-старателно замислена, с формално заглавие „Проклятието на богатите.“ Тя описва посещението на Файнман в извънградското имение на един южноамерикански милионер „който беше наследил голямо богатство.“ Той построил грандиозна къща, подобна на замъка на Уйлям Рандолф Хърст в Сан Симеон, Калифорния, с голяма колекция от римски, на майт и полинезийски съкровища на изкуството. Файнман прави заключението, че неговите първоначални благоприятни впечатления се превърнаха в ужасно сюрреалистично видение – когато си представих как три мата – той, жена му и дъщеря му... се хранят сами в тази дълга зала с небоядисани стени, а римските изображения наблюдават от високо тъмната съена, осветявана единствено от свещите... поставени в един древен свещник... Ето как в този случай се проявява проклятието на богатството.

Вашингтонската история била написана след втората голяма ракова операция, много трудно преживяна от Файнман, по-малко от две години преди неговата смърт. Тя описва неговия продължителен дуел с Уйлям Роджърс, председателят на комисията „Чалънджъ“. Файнман бил решил да разследва фактите по този казус докрай, независимо докъде биха го отвели, а Роджърс бил твърдо решен да го държи под непосредствен контрол, за да не би да открие нещо, което би било политически неудобно. Файнман се отнасял към Роджърс с подчертана учтивост и не се бунтувал открито. Той знаел, че може да победи Роджърс в състезание по съобразителност. Той пише на Гуинит преди края на битката, в очакване на близката победа. Обяснява й, как Роджърс се опитва да го неутрализира, като го затрупва с огромна купчина от данни и подробности.

Така че те да имат време да притъпят показанията на опасните свидетели и т.н. Но това няма да им се удаде, защото (1) Аз обменям и разбирам техническата информация много по-бързо отколкото те могат да си представят, и (2) Аз вече надувам някои нередности за които няма да забравя, тъй като аз просто обичам миризмата на нередности, защото тя обещава вълнуващи приключения.

По-късно той писал на Роджърс, в защита на доклада на комисията:

Ние изложихме фактите и го сторихме добре. Големият брой негативни забележки се дължат на ужасяващото състояние, в което е изпаднала програмата на НАСА по совалките. Това е неприятно, но вярно и ние бихме направили лоша услуга ако не сме напълно откровени по този въпрос.

Защо толкова много се занимаваме с Файнман? Какво толкова особено има в него? Защо той се е превърнал в публична икона, образуваща заедно с Албърт Айнщайн и Стивън Хокинг светата троица на физиката на 20-ти век?

Обществото демонстрира изненадващо добър вкус при избора на своите идоли. Всеки един от тях е истински велик учен, с проблясъци на истинска гениалност и значими постижения в своя актив. Но за да се превърнеш в икона, не е достатъчно да си велик учен. Има много велики учени, не чак толкова велики колкото Айнщайн, но по-велики от Хокинг и Файнман, които не се превърнаха в икони. Пол Дирак е добър пример за учен, по-велик от Файнман. Файнман не пропускаше нито една възможност да каже, че „пространствено-времевият подход“, който го довел до неговия нов начин за разглеждане физиката на частиците, бил директно взаимстван от една статия на Дирак.⁶ Това беше вярно. Дирак беше изказал оригиналната идея, а Файнман я беше преврнал в полозен практически инструмент. Дирак беше по-великият гений. Но Дирак не се превърна в икона, защото той нямаше такова желание нито пък притежаваше талант да забавлява публиката.

Учените, които се превръщат в икони трябва не само да са гении, но и артисти, играещи пред тълпата и приемащи нейните овации. Както Айнщайн така и Файнман недоволстваха от репортерите на радиото и вестниците, които смущаваха личния им живот, но и двамата даваха на репортерите това, което беше нужно на публиката, остри и духовити забележки, подходящи за гръмки заглавия. Хокинг по свой уникален начин също се радва на публичното възхищение, дължащо се на начина, по който той се справя с физическите си проблеми. Никога няма да забравя една ведра утрин в Токио, когато Хокинг излезе да се поразходи по улиците със своята инвалидна количка а японците на тълпи се завтекоха след него, протягайки ръка за да докоснат стола му. Айнщайн, Хокинг и Файнман притежаваха способността да разчупват бариерите, които ги разделяха от обикновените хора. Публиката ги обожаваше, защото те се държаха непосредствено и бяха шегаджии, но едновременно с това и гении.

Третото качество, което е нужно на един учен за да се превърне в икона, е мъдрост. Освен че беше прочут шегаджия и гений, Файнман беше и мъдро човешко същество, което дава смислени отговори на сериозните въпроси. На мен и на стотиците други студенти, които ходеха при него за съвет, той казваше истината. Както и Айнщайн и Хокинг, той беше преживял големи страдания, грижейки се за Арлийн по време на нейното боледуване и наблюдавайки я как умира, и това го беше направило по-силен. Зад неговата огромна жажда за живот и за забавления, се криеше усещането за трагедия, съзнанието, че земният ни път е кратък и пълен с опасности. Обществото го превърна в икона защото той беше не само велик учен и голям клоун но също и изключителен човек и приятел в трудни моменти. Във всички книги го описват като учен магьосник и блестящ разказвач. Тази колекция от писма за пръв път ни го показва като син, загрижен за своите родители, като баща, грижещ се за свои-

те жена и деца, като учител, загрижен за своите ученици, като човек, откликащ на хора от цял свят, които са му писали за своите проблеми и са получили в пълна степен неговото специално внимание и съпричастие.

Бележки

- [1] Norton, 1985.
- [2] Addison-Wesley, 1963-1965 (три тома).
- [3] University of Chicago Press, 2005.
- [4] Physical Review, Vol.76, No.6 (September 15, 1949).
- [5] Richard P. Feynman, What Do You Care What Other People Think? (Norton, 1988), p.117.
- [6] Виж напр. писмото до Хърбърт Джил, на стр. 159.

Превод: С. Рашев

F.J. Dyson, „Wise man“, *The New York Review of Books*,
Vol.52, No.16, October 20, 2005.

„ГРАВИТОННО ПРИКЛЮЧЕНИЕ“

Книгата на Николай Велев е много актуална и в основата ѝ е хуманизация на астрофизичните знания за ученици. Реализиран е баланс между теорията и научно-популярния стил, чрез който по нестандартен начин се постига непринуден интерес към опознаване на Космоса. Учениците се докосват до въпроси, които винаги са вълнували и вълнуват хората – как е устроена Вселената, сами ли сме в Космоса, защо е необходимо неговото изследване и др.

Авторът посвещава книгата си „Гравитонно приключение“ на ученици, които ще се срещнат по един по-различен начин с необятния Космос. В нея с лекота и в рима, чрез пътуване като в сън през Слънчевата ни система и великата Вселена, той представя на младите читатели красотата на планетите и звездните системи. Чрез съпреживяване на съпътстващи го в Космоса събития, главният герой открива нов изключително интересен свят чрез „вълшебното знание“.

Би било чудесно, ако тази книга стигне до всички ученици.

Емилия Здравкова

ВТОРИ НАЦИОНАЛЕН ФЕСТИВАЛ „НАУКА НА СЦЕНАТА“ Севлиево, 11.11.2006 г.

Вторият национален фестивал „Наука на сцената“ е част от Международния проект „Наука на сцената 2“, ръководен от седем европейски научни организации, свързани с изследвания по природните науки – физика, химия, биология, астрономия. Международният проект се финансира частично от Европейската комисия по Седма рамкова програма и самият той е част от т. нар. „Европейска инициатива за учителите по наука“ (природни науки). Първите три етапа на проекта бяха насочени към учителите и средното образование по физика „Физика на сцената“, а четвъртият – реализиран през 2005 г. – вече обхващащ едно по-широко множество от учители и експерти по образованието по всички природни науки. Сегашният етап „Наука на сцената 2“ се отнася за периода 2006-2007 г., като завършва с Международен фестивал в Гренобъл, Франция, от 2 до 6 април 2007 г. България участва в международния проект от самото начало през 2000 г., като националната програма се субсидира от Международния организационен комитет с 5 000 евро, а ние осигуряваме по-голям еквивалентен финансов принос.

Националният фестивал в Севлиево бе хубав празник на младите хора от средните училища с интереси към природните науки, а също – за техните учители, поели според собствените си разбирания за професионален дълг и призвание – отговорността да подготвят и да доведат своите ученици на фестивала, за да им покажат красотата на природните науки. Фестивалът бе организиран великолепно и за рекордно кратки срокове от колегите – учители от Севлиево. Ще отбележим организационната роля и ентузиазъм на колежката Росица Конова, учителка по физика в СОУ „В. Левски“, фактическият двигател на Организационния комитет в Севлиево. Съществена подкрепа на националната среща на учителите и учениците оказа Общината в Севлиево и особено кметът на града Йордан Стойков.

В Националния фестивал участваха около 320 ученици и 115 учители от всички краища на Р. България. Статистиката на Организационния комитет – Севлиево показва участието на групи от ученици и учители от 60 училища от различните видове и степени на средните училища, от 31 града и 3 села, а също на 24 гости и около 80 участници от Севлиево в литературната и театрална част на програмата и организацията на фестивала. По такъв начин фестивалът събра над 500 участници и имаше национален мащаб.

Както и при предишните издания на фестивала, той включващо няколко типа прояви – 15 театрални постановки с демонстрации на природни явления и с истории от живота на бележити учени, демонстрации на експерименти, уреди, установки, модели и др., компютърни презентации от учители и ученици – особено многообразни и с тематика от всички природни науки. Заслужава да се оценят като много добро представянето на демонстрации и компютърни разработки

по физика (традиционнно) и биология, фестивалът се оказа много близък по време с национална конференция по химия, поради което участието на учители по химия бе сравнително по-слабо.

Организационният комитет непрекъснато подчертаваше пред участниците, че фестивалът няма състезателен характер и отбелязването от няколко журити на театрални постановки, демонстрации и компютърни разработки има за цел те да се посочат като модел за участниците и пример за настойчива и плодотворна работа по преподаването и популяризирането на природните науки.

Най-интересните и качествени разработки бяха селектирани от Националния организационен комитет за Международния фестивал.

Цялото противане и фестивалната програма бяха широко отразявани от журналисти в Севлиево, а чрез техни кореспонденции – в централни медии. Във фестиваля участваше и Британския съвет – България (за което сърдечно благодарим) с изложбата „Визии за наука“ и „Научно кафене“ на тема „Светлината и цветът през дигитални очи“.

Позволявам си накрая да споделя някои свои изводи и препоръки за бъдеща работа по извеждането на „науката на сцената“ пред нейните бъдещи творци.

1. Интерес към природните науки сред учениците съществува и, вероятно, ще се развива през следващите години. За щастие, има учители с интерес и ентузиазъм към тяхното преподаване. По този повод символична бе спонтанната реакция на изпълнената с ученици зала при закриването на фестивала, които аплодираха моята благодарност към „Вашите учители, защото зад всеки от Вас, при подготовката и по време на фестивала, стои фигурата на един учител“.

2. Проблемите по популяризирането на природните науки, както и въобще по тяхното преподаване в средните училища, трябва да се решават общо (макар всяка да запазва своята специфика като учебна дисциплина).

3. Вкусът и работата по експериментите и демонстрациите трябва да се възпитават у учители и ученици. Сега най-достъпни за модернизацията на материалната база в средните училища са компютрите, но те не могат да заменят реалните експерименти (колкото и привлекателни да са техните информационни и демонстрационни възможности). Не случайно в международните фестивали „Наука на сцената“ компютърните презентации са слабо застъпени.

Презумпцията, че хуманитарното образование е по-перспективно като основа на бъдеща кариера, постепенно се изоставя в страните от Европейския съюз, и броят на младите хора, които виждат своето бъдеще в природните науки нараства. Фестивали като националният фестивал „Наука на сцената“ представляват стъпки в същата посока – да покажат красивото лице на природните науки пред младите и да ги заинтригуват като една от възможностите за тяхната професионална ориентация.

Проф. дфн Иван Лалов
Председател на Националния Организационен комитет
„Наука на сцената 2“

ЕХО ОТ ДЕВЕТИЯ ЗИМЕН СЕМИНАР НА МЛАДИТЕ ФИЗИЦИ

На 14-16.12.2006 г. беше проведен Деветият зимен семинар на докторантите и младите учени от физическите институти на БАН, спонсориран от БАН и Софийския клон на СФБ и организиран от ИФТТ – БАН. В семинара взеха участие 30 младежи. Бяха изнесени 27 доклада (13 – от докторанти, 3 – от студенти, 4 – от вече доктори, 7 – от физици, химици и инженери). Както обикновено, почти половината от младежите участваха в семинара за първи път. Имаше представители от следните звена на БАН – ИФТТ, ИЯИЯЕ, ИЕ, ЦЛАФОП, ЦЛСЕНЕИ, НИХМ, Институт по биофизика, а така също и от ТУ – София, ВХТМУ – София и ФФ на СУ. Резюметата на представените доклади са отпечатани в книжка, благодарение на подкрепата на Софийския клон на СФБ.

С голямо удоволствие искам да отбележа, че представянето на младежите беше на много голяма висота. Не само че докладите им бяха посветени на най-актуални проблеми, които предизвикаха изключително интересни дискусии, но и самото оформление и представяне (с прекрасни илюстрации, анимации, атрактивни снимки) бяха подгответи много старателно.

Семинарът беше открит от Зам.- председателя и Главен научен секретар на БАН Проф. Н. Якимов, който увери младежите, че ръководството на БАН прави всичко възможно за тяхното успешно професионално развитие, окуряжи ги да работят упорито и да вярват в успеха на науката в България и ги наಸърчи да споделят откровено своите проблеми. Научният секретар на БАН за физическите науки ст.н.с. I ст., д.н.н. И. Недков, в съавторство с Проф. Н. Якимов и Чл.-кор. А. Балтов, представи много интересен доклад за състоянието (в близкото минало, в момента и в перспектива) на докторантурите в БАН, който предизвика спонтанна реакция и стана повод за много емоционална дискусия. Оцеляват най-сериозните и уверени докторанти, които възнамеряват да допринасят за съдържателна и модерна наука в България – извод, представляващ добра мотивация за всички млади хора в звената на БАН.

Докладите на всички поканени гости на семинара се оказаха много полезни за младите участници. Прекрасните обзорни доклади на Акад. А. Г. Петров (Течнокристалниnanoструктури), ст.н.с. I ст., д.н.н. М. Петров (Електрооптични свойства на термотропни течни кристали) и ст.н.с. I ст., д.н.н. Н. Вучков (Лазери и тяхното приложение) представляваха отлична основа за по-лесното разбиране от всички на материията, представена след това от някои младежи. Ст.н.с. II ст., д-р К. Илиева (Неutronна терапия на изследователския реактор в София) информира аудиторията за реконструкцията на ядрения реактор и за възможностите за различни полезни приложения, в частност – за

неутронна терапия. Най-младият поканен докладчик д-р М.Матев (Супердеформирани атомни ядра далеч от областта на стабилност) направи много ефектно и вдъхновено представяне на съвременната теория за описание на супердеформирани атомни ядра. Проф. К. Минков (Състояние на роботиката и мехатрониката в България) ги заинтригува с интересна информация около понятието „роботика“. Още от самото заглавие на доклада на ст.н.с.П ст., д-р Л. Аврамов (From Research to Enterprise) стана ясно колко актуален ще бъде, така че докладчикът, изненадващ не веднъж младите участници с провокиращи теми, и този път успя да насочи вниманието им към най-правилните посоки на развитие на науката ни според Европейските и световните тенденции.

По време на семинара подробно запознах участниците с разнообразната дейност на Софийския клон на СФБ, в частност относяща се до развитието на младите физици. Раздадох им списания „Светът на физиката“ от последните години, любезно предоставени от Проф. Н.Ахабабян. Насърчих ги да вземат реално и по-активно участие в разнообразния живот на нашия съюз, а не само да използват привилегиите, които могат да получат от членството си в него.

Организацията на семинара, този път поета почти изцяло от секретарите му Е.Борисова (ИЕ) и К.Темелков (ИФТТ), беше перфектна. Всички останали младежи се включваха най-активно в разнообразните дейности по време на неговата работа. Вече съм убедена, че младите ни колеги са способни в бъдеще да се самоорганизират при провеждането му.

Проведената викторина по повод годината на физиката (2005) по време на Осмия зимен семинар беше доказала по безспорен начин, че нашите младежи имат разнострани интереси и познания не само в областта на физиката. С въпросите за обща култура от най-различни области младежите се бяха справили отлично. Общата им култура в областта на физиката също се беше оказала на високо ниво, а за трудните отговори на най-актуалните проблеми във физиката те бяха насочвани към съответните статии в списанието „Светът на физиката“.

По-интересно е, обаче, че резултатите от проведената анонимна анкета на настоящия семинар почти повториха тези от предишната. От нея биха могли да бъдат извлечени следните изводи:

– Нашите младежи са физици по призвание и макар че за голяма част от тях е все още рано да кажат, дали съжаляват че са избрали физиката, прекрасно е че почти всички потвърждават, че пак биха избрали физика, ако трябваше да кандидатстват отново (“намирам я за много интересна и привлекателна, защото тя дава отговор на любопитството ми за света“). Освен това, след 30 години, почти всички биха искали да бъдат „не богат, но удовлетворен от работата си човек“ ($\approx 50\%$ желаят да станат видни учени, 10% – учени

или преподаватели в западна страна, 1 – преуспяващ бизнесмен, няколко души – богати и доволни от работата си). Чистият младежки ентузиазъм е възхитителен! От друга страна, обаче, 80% не са доволни от обстановката, в която работят в момента, поради липса на достатъчно добра (модерна) материална база, тематика и научна литература. Факти, добре известни ни до болка. И ако това не се промени, как ще ги задържим?!

– Естествено е, както проличава и от отговорите на младежите, професионалната ориентация да се формира в средния курс, но очевидно поради по-всеобхватния мироглед за света, който физиката дава, повече от половината от анкетираните споделят, че са я избрали още като деца или в началния курс. Следователно, важно е по-отрано да започнем да работим с учениците и даже с децата, за да бъдат привлечени професионално към нашата наука.

– На въпроса дали знаят кой е признат за най-виден български физик, всички отговарят отрицателно, с изключение на участниците от ИФТТ, които знаят, че първото признато откритие в България е на академик Г. Наджаков. А отговорите на въпроса „На кой виден физик или учен се възхищавате най-много?“ почти не се повтарят – от „нямам идоли“ до „Айнщайн“, през акад. Джаков, акад. Будевски, акад. Наджаков, Проф. Драйшу, проф. С. Александров, Ландау, С.Хоукинс, Р.Джайнман, С.Сванберг и В.Тухин. За щастие, докладът на Г.Камишева успя да повиши гордостта на младежите, като ги запозна с историята на физиката в България и видните български физици, работили на Европейско ниво още през 19 век.

– Какво знаят младежите за Съюза на физиците в България (преди да им разкажа за неговата дейност)? Повечето знаят, че СФБ съществува и развива разнострранна дейност (65% от тях са негови членове) и че издава списанието „Светът на физиката“ (40% са абонати; нито един не съобщава, че не го харесва). Парадоксално е, че почти никой от новопостъпилите младежи (досконочни студенти във ФФ на СУ) не са чували, че съществува Съюз на физиците, не знаят каква дейност развива и не са виждали списанието „Светът на физиката“. Изводът е, че трябва да се помисли за по-активно привличане на студентите от ФФ на СУ в дейностите на нашия съюз.

Този път участниците от Института по метеорология, които имат постоянната грижа да осигуряват хубаво време за семинара, се представиха блестящо. Слънчеви бани в планината през зимата – още един хубав подарък за младите участници в семинара.

Без съмнение, може да отчетем протичането на Деветия Зимен Семинар като много полезно и приятно. Но най-важното е, че и този път нашите млади колеги имаха възможност да почувстват искрените ни грижи за тяхното развитие и тяхното бъдеще.

Ренна Дюлгерова, ИФТТ – БАН

Наградата „Акад. Е. Джаков“ за 2006 г.

По предложение на Постоянната комисия за конкурса „Акад. Емил Джаков“ за най-добра работа в областта на радиофизиката и квантовата електроника и с решение на НС на Институт по електроника „Е. Джаков“ от 21.01.2007 г., наградата за 2006 г. бе присъдена за поредица от трудове, посветени на метод за лазерно фототермично изследване на материали:

- „**Laser heterodyne measurement of photothermal displacement of material surface characterization**“, V. Pencheva, S. Penchev, V. Naboko, T. Donchev, S. Kolev, T. Kutzarova,, *Plasma Processes & Polymers*, Vol.3, pp253 – 256, 2006.
- „**Laser heterodyne photothermal nondestructive method: extension to transparent probe**“, V. Pencheva, S. Penchev, V. Naboko, K. Toyoda, T. Donchev,, приета за печат в *Proc.SPIE*

Направени са теоретични и експериментални изследвания, които са довели до създаването на метод за охарактеризиране на повърхности. Образецът се осветява с модулирана лазерна светлина, а възникналото импулсно фототермично разширение се детектира с помощта на лазерен хетеродин. Ефектът зависи от няколко оптични, топлофизични и механични характеристики на конкретния анализиран материал. За качествата на експеримента свидетелства разделителната способност, близка до теоретичния предел. Експерименталната грешка за механичното преместване е 5×10^{-13} м. Методът е приложим за широка гама от материали, интересни за съвременните технологии.

В предлаганата за награждаване поредица от публикации научните резултати се отличават с оригиналност и полезност. Традицията и опитът от дългогодишните изследвания по лазерни радари на Института по електроника се пренасят и прилагат успешно в друга перспективна област, анализа на повърхности, също успешно развивана в ИЕ.

ЧЕСТИТО, КОЛЕГА ГЕОРГИЕВ!



През пролетта на 2006 г. Великотърновският университет учредява златен медал за научен и преподавателски принос на свои преподаватели, който сега се връчва за първи път. Между тримата наградени е и нашият колега-физик доц. д-р Георги Н. Георгиев. С тази престижна награда са отдадени почети на хора със значителен принос за укрепването и утвърждаването на авторитета на Великотърновския университет. Към личните постижения на доц. д-р Георгиев трябва да отбележим и факта, че той от години е член на редколегията на спис. „J. of Applied Electromagnetism“, което се издава в Института по комуникации и компютърни системи в Атина, Гърция като орган на технически университети и научни институти от Източна Европа, членове на Trans Black Sea Region Union of Applied Electromagnetism (BSAE). Така, наред с личните си научни резултати и педагогическа дейност, доц. Георгиев допринася не само за авторитета на Великотърновския университет, но и за отпечатването на статии със значителна научна стойност от български автори. Затова нека го поздравим с полученото отличие и му пожелаем и бъдещи успехи в науката и преподаването на великата физика! Браво, Георги!

Проф. д-р Л. Вацкевич

Редколегията на „Светът на физиката“ благодари на акад. Ив. Тодоров за щедрото му и великодушно дарение

**НА ВНИМАНИЕТО НА ВЕЛИКОДУШНИ И БЛАГОРОДНИ
СПОМОЩСТВОВАТЕЛИ НА СП.СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА:**

V EURO:
BG 82 SOMB 9130 14 25109301
BIC SOMBBGSF
MUNICIPAL BANK PLC
BRANCH DENKOGLU

V LEVA:
IBAN: BG 03 SOMB 9130 10 25109301, BIC: SOMBBGSF
OBSHTINSKA BANKA
KLON DENKOGLU

ОТНОСНО ВРЕМЕТО – Айнщайновата незавършена революция

Част II

Пол Дейвис

Глава 3. ДЕФОРМАЦИИ НА ВРЕМЕТО

*Не е ли Айнщайновата теория наука и фантазия?
Да, без съмнение. - The New York Times, 1921*

Едно от най-бездлюдните места на земята е в Южна Австралия, на 500 км северно от гр. Аделаида. Сухо, горещо и само тук-там храсти по червената почва и почти идеално гладкия терен. Тук, близо до градчето Умера, е поставен съвместен австралийско-японски експеримент, при който се измерва една от най-големите деформации на времето.

По същество тук се изследват космични лъчи. Когато високоенергетична първична частица удари атомно ядро в атмосферата, тя създава порой от вторични частици, които също имат значителни енергии. Някои от тези частици са с електричен заряд и се движат със скорост много близка до светлинната. Фактически те се движат по-бързо от колкото светлината се разпространява във въздуха. Това е много важен факт. Теорията на относителността забранява кое да е тяло да се движи по-бързо от скоростта на светлината във вакуум. Но във въздуха светлината се движи по-бавно, така че е възможно субатомна частица да се движи по-бързо от нея. Ако частицата е заредена, тя създава своеобразна електромагнитна ударна вълна, в която вместо звук се разпространява светлина. Това е т. нар. „Черенково лъчение“ – по името на неговия руски откривател*. Черенковото лъчение лесно се идентифицира по ъгъла на неговия сноп и учените в Умера остроумно построяват устройство, което прави точно това.

В един по-ранен етап на тези експерименти, през 1970-те години, някои от участниците са допуснали даже, че в космичните порои има частици, които са по-бързи от светлината във вакуум. Както обаче ще видим по-късно (гл. 10) „по-бързо от светлината“ означава „обратно във времето“ с всички прозитичащи от това загадки и парадокси.

Теорията на относителността обаче не твърди, че „нищо не може да се движи по-бързо от светлината“, както често се говори. Тя позволява тела да

* В руската литература то е известно като „лъчение на Вавилов-Черенков“, тъй като идеята за опита е била дадена от Сергей Вавилов. – бел.прев.

се движат със свръхсветлинна скорост даже във вакуум, но само ако тези тела никога не се движат по-бавно от светлината. С други думи според Айнщайновата теория нищо не може да премине светлинната бариера при растяща или намаляваща скорост. Физиците нарекоха свръхсветлинните частици „тахиони“ по гръцката дума за „скорост“.

Макар тахионите да не са забранени от теорията на относителността, те смущават повечето физици с възможните парадокси (напр. да се пращат сигнали в миналото), така че едва ли повече от 1 процент вярват в тях.

Физиците предпочитат да описват частиците с тяхната енергия, а не със скоростта им. Причината е, че повечето бързи частици се движат с повече или по-малко еднаква скорост – малко по-ниска от скоростта на светлината във вакуум. Дадена частица може да има десет пъти по-голяма кинетична енергия в сравнение с друга частица, но да се движи едва-едва по-бързо. (Енергията е по-подходяща също за описание на разтягането на времето.) Например протон с енергия трилион електронволта се движи със скорост 99,9999% от светлинната скорост, а протон с енергия 10 трилиона електронволта има скорост 99,999999% от светлинната. При такива скорости по-нагледно е да се посочи разликата в скоростите на протона и светлината. Например за протон с енергия десет трилиона електронволта тази разлика е само 3 метра в секунда, а за хиляда трилиона тя става едва 0,3 милиметра в секунда.

За да превърнем енергиите на космичните лъчи в коефициент на разтягане на времето, използваме проста формула: делим на милиард енергията в електронволти. Това дава забавянето на часовниците. Например за протон с енергия трилион електронволта неговото време се забавя до една хилядна от нашето, докато при хиляда трилиона електронволта – до една милионна. По стандартите на космичните лъчи тези енергии са доста скромни. През 1993 американска група откри с детекторната система „Око на муха“ (система от над сто огледала с диаметър 1,5 метра, разположени подобно на елементите на окото на муха, ориентирани в много различни посоки) първично космично лъчение с енергия триста милиона трилиона електронволта. Часовник, движещ се заедно с такава частица, би ни изглеждал, че тиктака сто милиарда пъти по-бавно от нашия стенен часовник. Всеки изминал ден на Земята съответства на само една микросекунда от времето на частицата.

Този гигантски коефициент на разтягане е много важен за космичните лъчи. В действителност никой не знае точно какво поражда космичните лъчи и особено онези с енергии стотици милиони трилиони електронволта. Възможни източници са свръхновите, взривяващи се галактични ядра, пулсари и черни дупки, но няма прост механизъм, който да обяснява всички високоенергетични частици, идващи от космоса. Проблемът отчасти е в това, че космичните лъчи падат на Земята почти еднакво от всички посоки, така че трудно могат да се посочат конкретни източници. От друга страна заредени-

те частици се отклоняват от галактичното магнитно поле, така че посоката на тяхното влитане в атмосферата не дава много сведения за техния произход.

Изключение прави обект, наречен Лебед X-3, източник на рентгенови лъчи, състоящ се от двойка звезди в съзвездието Лебед, на 35 хиляди светлинни години от нас. Към средата на 1980-те години беше установено, че от там по права линия пристигат космични лъчи. Щом не се отклоняват от магнитни полета, частиците са неутрални. Възможно ли е да са неutronи? Обикновено неutronите не се срещат в космичните лъчи, защото са нестабилни: полувремето на разпада им е около 15 минути, за които не може да се отиде много далеч. Но тук заработка деформацията на времето. Ако неutronът се движи достатъчно бързо, то в нашата отправна система неговото време на живот може да се разтегне извънредно много. При милион трилиона електронволта, коефициентът на това разтягане е милиард, така че 15 минути се превръщат в 35 000 години. Това е достатъчно време, за да може неutron от Лебед X-3 да стигне до Земята. Който пътува така бързо, той ще живее милиарди земни години.

Значи ли това, че голямата скорост е тайната на вечната младост?

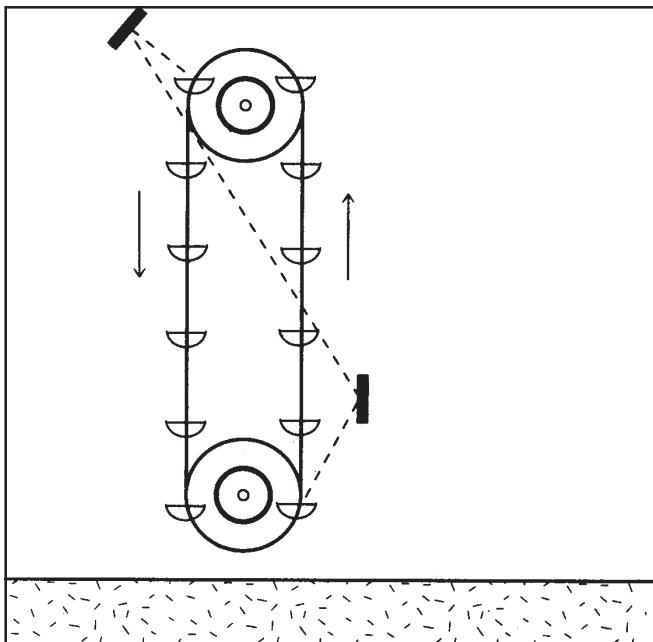
Не! Мнозина се подвеждат от това. При горните скорости в отправната система на Земята средният човешки живот от около 75 години би бил милиарди години. Но в собствената отправна система човешкият живот си остава около 75 години. За съжаление релативистичното разтягане на времето не може да се използва за забавяне на процеса на стареене.

Причината разтягането на времето да не е част от нашето ежедневие е в ниските скорости на обичайното ни движение. През 1905 г. влакът е бил най-бързият транспорт и затова Айнщайн често обсъжда релативистични ефекти за наблюватели на влакове. Той обаче използва факта, че земното въртене създава много по-големи скорости и затова прави извода: „часовник на екватора трябва да върви по-бавно от точно същия часовник при еднакви други условия“. По това време Айнщайн не е знаел, че в действителност Земята е причина за две деформации на времето, които взаимно се компенсират, така че тук той греши! Едната се дължи на въртенето на Земята, а другата – на нейната гравитация. Именно Айнщайн е този, който няколко години по-късно открива гравитационния ефект върху времето.

Вечното движение и гравитацията

Защо гравитацията влияе върху времето? Съществуват много доводи за такова влияние. Един от тях е старата мечта на инженерите за вечно движение.

На Фиг. 3.1 е показан модел на вечен двигател, предложен от Х.Бонди и основан върху идея на Айнщайн. На конвейера са наредени атоми – вляво



Фиг. 3.1. Гравитационната деформация на времето не позволява на тази остроумна конструкция да произвежда енергия.

ми. Това предполага, че за компенсация гравитацията отнема енергия от излъчваните долу фотони. Движейки се нагоре срещу гравитацията, фотоните пристигат с по-ниска енергия от тази, която са имали долу, поради което не могат да възбудят атомите до предишните нива. Конвейерът постепенно ще се забави и ще спре – безславният край на всяко *perpetuum mobile*.

Очевидно гравитацията въздейства върху светлината. Но какво общо има това с времето?

Защо времето тече по-бързо в космоса?

Преди да обясня връзката между отслабването на светлината и времето, ще посоча друг довод в полза на връзката между светлината и гравитацията. Самият Айнщайн достига по твърде различен път на разсъждения до идеята, че гравитацията влияе върху светлината. През 1907 г., когато разсъждава върху загадките на гравитацията, той стига до твърде дълбоки заключения, опирайки се само на анализ на връзката между гравитация и ускорение.

Обсъждайки примера с асансьор, който внезапно потегля нагоре, Айнщайн посочва, че неговото ускорение се проявява точно като усилване на гравитацията (докато спускането му надолу „отнема“ от нашето тегло). Тази

това са възбудени атоми, а вдясно те са в основно състояние. По формулата на Айнщайн $E = mc^2$ възбудените атоми ще тежат повече и затова конвейерът ще се завърта. Долу има устройство, което индуцира възбудените атоми да излъчват фотони (подобно на лазерното излъчване), които се отразяват и възбудят отново атомите в горния край на конвейера. Това непрестанно възбудждане и изсветване на атомите на пръв поглед ще поддържа вечно движение.

Ясно е, че енергията на въртящия се конвейер иде от гравитацията, която тегли надолу по-тежките ато-

тясна връзка между ускорение и гравитация е била позната още на Галилей и Нютон, но те са гледали на нея като на случайно свойство. Айнщайн обаче издига тази връзка до фундаментален принцип, който нарича „принцип на еквивалентността“ и съгласно който ускорението на една система е физически еквивалентно на гравитационна сила.

Следващата стъпка в разсъжденията на Айнщайн е да отбележи въздействието на движението върху светлината – Доплеровия ефект. Подобно на звуковия Доплеров ефект светлината на приближаващия се източник повишава честотата си, докато тази на отдалечаващия се източник понижава честотата си. Това значи, че приближаващия се източник претърпява синьо отместване на честотата, докато отдалечаващия се – червено.

Като свързва принципа на еквивалентността с Доплеровия ефект, Айнщайн стига до забележителния извод, че гравитацията влияе върху светлината. Да допуснем, че се отдалечаваме ускорително от светлинния източник. С растенето на скоростта светлината все повече се отмества към червеното. Следователно, разсъждава Айнщайн, светлината в гравитационно поле трябва да претърпява червено преместване, защото ускорението наподобява гравитационно поле и създава еквивалентни физически ефекти. Прилагайки своята специална теория на относителността, той получава формула, описваща големината на гравитационното червено отместване.

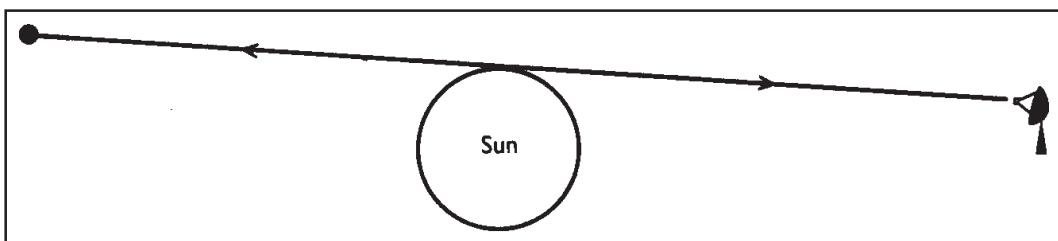
Именно това червено отместване отстранява парадокса на *вечния двигател*, защото има връзка между честотата на светлината и енергията на съответните фотони. Всъщност тези две величини са правопропорционални. Така че, ако светлината е с червено отместване, енергията на фотона е намаляла и фотоните, пристигащи в горната част на конвейера, действително ще са с по-ниска енергия и няма да могат да възбуджат атомите.

Сега вече сме готови да стигнем до връзката с времето. „Честота“ означава брой цикли в секунда; така че щом честотата на светлината намалява поради гравитационното червено отместване, броят на циклите в секунда намалява. Но за да измерим честотата, ние трябва да измерваме секундите с часовник. Затова, ако светлината пристига до горния край на конвейера с понижена честота, ние бихме могли да сметнем, че времето в долната част на конвейера върви малко по-бавно от това в горната. Тиктакането на часовника расте с височината по точно същия начин, по който фотонът губи честота. А тъй като това се отнася за всеки вид часовник, вместо да казваме, че „горе всички часовници вървят по-бързо“, по-добре е да казваме, че „горе времето тече по-бързо“.

Ехото, което пристигна късно

Първоначално Айнщайн препоръчва да се търсят признания за гравитационно червено отместване в слънчевата светлина. На слънчевата повърх-

ност времето тече с около две милионни по-бавно отколкото на Земята поради значително по-голямата гравитация на Слънцето. Поради това спектралните линии на Слънцето трябва да са отместени също толкова. На практика този ефект е замъглен от други процеси и не е така ясен. Обаче слънчевата деформация на времето се изразява много ясно по друг начин и тогава може лесно да се измери. Когато планета се намира от другата страна на Слънцето, снопът светлина, идещ от тази планета до Земята, трябва да премине близо до слънчевата повърхност, където времето тече малко по-бавно. Поради това светлината ще пристигне на Земята малко по-късно, отколкото ако го нямаше Слънцето на пътя ѝ (Фиг. 3.2).



Фиг. 3.2. Когато Слънцето застава почти точно между някоя планета и Земята, радарните сигнали и тяхното echo трябва да минават близо до слънчевата повърхност, където времето тече малко по-бавно. Това забавя ехото с няколкостотин микросекунди.

Теорията на Айнщайн предсказва също, че снопът светлина ще бъде слабо закривен.

Самият Айнщайн е знаел за това забавяне на времето още през 1911, но не го изследва. Едва през 1961 американският физик Ъруин Шапиро пресмята, че слънчевото забавяне на времето ще се измери по-добре с помощта на радар. Радарните вълни се отразяват от другите планети и се връщат на Земята във вид на слабо echo. Ако дадена планета е подходящо разположена близо до Слънцето, радарният лъч преминава два пъти близо до слънчевата повърхност, така че неговото echo ще бъде забавено с няколкостотин микросекунди. Като насочват радарния лъч към Венера и измерват времето на пристигане на всяко echo, Шапиро и колегите му получават през 1966 потвърждение на Айнщайновата теория с точност 20%. През 1977 г. за отражател е използван космически кораб на НАСА, при което точността на проверката е стократно увеличена.

Нагоре в света

Забележително е, че първата точна проверка на влиянието на гравитацията върху времето е осъществена на Земята – изцяло в границите на Харвардския университет. През 1959 г. Робърт Паунд и Глен Ребка измерват гравитационното червено отместване с помощта не на видима светлина, а на гама лъчи. В този случай честотата е милиони пъти по-висока и това обещава по-

голяма точност. Експериментът трябва да покаже, че гама лъч, изпуснат от възбудено ядро долу на земята не може да се погълне от тъждествено ядро на покрива на кула (висока 22,5 м.) поради по-ниската му честота.

Номерът е да се получат гама лъчи с много точна енергия, а следователно и честота, доколкото ефектът на отместването е твърде малък (2,5 части на хиляда трилиона). За да не позволят на ядрата да получават енергия на отката при излъчването на гама фотоните, Паунд и Ребка използват кристал на радиоактивно желязо: голямата маса на кристала прави пренебрежим ефект на отката.

Движещият се нагоре фотон се оказва твърде слаб, за да възбуди ядро в също такъв кристал. Но като разлюяват нагоре-надолу кристала на покрива на кулата, Паунд и Ребка създават променливо Доплерово отместване за идващите отдолу фотони. Получаващото се синъо Доплерово отместване се компенсира с гравитационното червено отместване на издигащия се фотон и това осигурява възбуждане на ядрата в кристала горе. Гравитационната деформация на времето се измерва чрез скоростта на люлеенето на кристала. Така предсказанието на Айнщайн за забавяне на времето в гравитационно поле беше потвърдено в опита на Паунд и Ребка с точност до 1 процент.

Когато за пръв път прави това предсказание, Айнщайн знае, че има малък шанс то да бъде експериментално проверено. Наред с това той непрестанно се връща към формулировката на проблема за ефектите на гравитацията върху светлината. Той е наясно, че трябва да обобщи своята специална теория на относителността, за да включи гравитационните полета и ускореното движение. Но още не знае как да постигне това и в писмо от 1911 г. до приятеля си Бесо признава, че задачата е „дяволски трудна“. Общата теория на относителността, в която съгласувано са съчетани пространство, време, материя, движение и гравитация, ще удиви света само след няколко години.

Глава 4. ЧЕРНИТЕ ДУПКИ – ПРОХОДИ КЪМ КРАЯ НА ВРЕМЕТО

В небесата има черни тела, големи колкото звездите и вероятно също толкова многобройни.

Пиер дьо Лаплас (1796)

Безкраен коефициент на деформация

Веднъж получих писмо от Тайланд, в което най-серизно ме питаха дали до рая може да се стигне през черна дупка. Откакто този предизвикателен термин беше създаден от принстънския физик Джон Уилър през 1967, черните дупки добиха почти мистична привлекателност за публиката. Вероятно това е заради способността им да погълнат всичко, което ги доближи.

Черната дупка е окончателната проверка на Айнщайновите идеи. Макар

че гравитационните деформации на времето напълно са потвърдени от прецизни опити на Земята и в слънчевата система, ефектите са невероятно слаби и без практическо значение извън навигацията и астронавтиката. Ако това бяха единствените следствия от общата теория на относителността, тези открития на Айнщайн днес биха оставали неизвестни. Но във Вселената има много обекти, които деформират времето по твърде внушителен начин.

През 1967 младата англичанка Джослин Бел случайно се натъква на гравитационна деформация на времето милиони пъти по-голяма от тази, която създава Слънцето. Като дипломантка наadioastrонома Антъни Хюиш тя изучава променливи радиоизточници. Веднъж забелязва на детектора някаква размита следа. Следата се появява всяка нощ около полунощ. Заедно с Хюиш те внимателно изучават това явление. Скоро идват до заключението, че размитите следи се създават от космически радиоизточник, излъчващ регуляри импулси. Открити са пулсарите.

Както беше казано в гл. 2, пулсарът е въртяща се неutronна звезда – толкова плътен обект, че неговото гравитационно поле е милиард пъти по-силно от земното. Ефектът върху времето е поразителен. На повърхността на типична неutronна звезда времето се забавя около 20% в сравнение с времето на Земята. Забележително е, че от гледна точка на наблюдател върху повърхността на неutronна звезда Земята е само на 3.5 милиарда години (земни), а Вселената е с два до три милиарда години по-млада от нашата оценка.

Неutronната звезда има маса като Слънцето или по-голяма, но тя е сви-та до радиус само няколко километра. Колкото по-голяма е гравитацията върху повърхността на един обект, толкова повече се забавя (или разтегля) времето. Когато обект с масата на Слънцето се свие до радиус три километра, разтеглянето на времето става безкрайно. Това е критичният радиус.

Забележително е, че същината на идеята за безкрайното забавяне на времето става известна на Айнщайн почти веднага след като е създал общата теория на относителността. Но това не е негово откритие. През януари 1916 той прочита статията на Карл Шварцшилд, директор на Потсдамската обсерватория. В статията е намерено първото точно решение на Айнщайновите уравнения на гравитацията. Намереното от Шварцшилд решение описва прост, но физически полезен пример: гравитационното поле в празното пространство извън хомогенно сферично тяло. Това позволява не само да се определят гравитационните полета близо до Земята и Слънцето, но заедно с това показва, че на големи разстояния от тях се получава Нютоновият закон за гравитацията.

Айнщайн обаче е смутен от факта, че има критичен радиус (за Слънцето той е равен на посочените горе три километра). При този радиус, известен днес като „радиус на Шварцшилд“, времето се забавя *безкрайно*, което за Айнщайн е физически неоправдано. Това би означавало, че червеното отместване

ще бъде безкрайно, т.е. фотонът ще има нулева честота и енергия и затова отдалеченият наблюдател няма да вижда нищо. Колкото гореща и блестяща да е звездата на повърхността, на разстояние тя ще изглежда черна.

Тъмна мистерия

Мисля, че трябва да има природен закон, който да забранява на една звезда да се държи по този абсурден начин!

Артър Еингтън

Консерватизъмът на Айнщайн и мнозина около него не е бил споделян от някои по-ранни учени. Звучи невероятно, но още през 1784 неизвестен английски духовник, Джон Мичъл, в публикация на Лондонското кралско общество пише: „*Ако в природата съществуват тела, чиято маса е не по-малка от тази на Слънцето и чиито диаметри са с над 500 пъти по-малка слънчевия диаметър, тяхната светлина не би могла да стигне до нас*“.

Мичъл, разбира се, не е знаел нищо за деформациите на времето или за общата теория на относителността. Той основава своите пресмятания върху Нютоновата теория на оптиката, в която се приема, че светлината се състои от частици, корпуси, и върху Нютоновата теория на гравитацията. А Нютоновата теория съвпада с Айнщайновата теория в някои изводи за влиянието на гравитацията върху светлината. „*Да предположим, че частиците на светлината се привличат подобно на всички познати тела*“, казва Мичъл и посочва, че частицата може завинаги да се откъсне от гравитационно тяло, ако бъде изстреляна от повърхността на това тяло с никаква минимална скорост – т.нар. скорост на откъсване. Например за Земята скоростта на откъсване е 11.2 км за секунда. При по-ниска скорост изхвърленото тяло ще се върне обратно.

За сферично тяло скоростта на откъсване зависи от радиуса и масата му. Ако Земята запази масата си, но се свие до една четвърт от размера си, нейната скорост на откъсване ще се удвои. По същия начин, ако Земята има по-голяма маса, скоростта на откъсване ще е по-висока. Мичъл отбележва, че ако масата на тяло с даден радиус е достатъчно голяма, скоростта на откъсване ще превишава скоростта на светлината. В такъв случай светлината няма да отлита и тялото ще изглежда черно. Забележително е, че формулата, която Мичъл извежда, съвпада с формулата, свързваща масата с радиуса на Шварцшилд.

Няколко години по-късно изводът на Мичъл е повторен от прочутия френски математик Пиер Лаплас. Но въпреки безспорния научен авторитет на Лаплас дълго време никой не възприема сериозно неговите разсъждения за т.нар. „черни звезди“.

През 1930 г. талантливият деветнайсетгодишен индийски студент Субра-

маниан Чандрасекар се занимава с уравненията, описващи звезда от типа бяло джудже. Това той прави по време на дълго презокеанско пътуване с кораб към Англия, където възnamерява да работи в Кеймбриджкия университет при великия Едингтън. За свое изумление Чандрасекар стига до твърде странно решение. Ако бялото джудже има маса по-голяма от 1.4 слънчеви маси, тя не би могла да остане стабилна и би колапсирала неограничено. Когато Чандрасекар показва пресмятанията си на британските астрономи, те ги отхвърлят като несъществен куриоз. Мнозина просто не вярват, че тяло с масата на Слънцето би могло да се свие до топка с диаметър няколко километра.

Самият Айнщайн пише през 1939 т., че безкрайната деформация на времето „не може да съществува в природата, защото материята не може да се свива произволно силно“. Но точно два месеца по-късно Робърт Опенхаймер, който по-късно става шеф на Айнщайн в Института за авангардни изследвания в Принстън, публикува заедно с ученика се Хартланд Снайдър статия, озаглавена „*Върху продължаващото се гравитационно привличане*“. Подхожда се смело към проблема за еволюцията на массивна звезда, след като нейното ядрено гориво се е изчерпало. Тогава звездата не е в състояние да удържи на оgramното налягане на собственото си тегло и колапсира. Изчисленията, основани върху Айнщайновите гравитационни уравнения, карат авторите да заключат, че колапсът ще „продължава неограничено“ и звездата ще се свие под критичния си радиус, създавайки по този начин безкрайна деформация на времето.

Но посланието на тези резултати е пренебрегнато поради предразсъдъка, поддържан от самия Айнщайн, че безпрепятствена имплозия отвъд радиуса на Шварцшилд е физически невъзможна.

Сингулярен проблем

Математиците често се сблъскват с безкрайности в своите уравнения и рядко това ги смущава. Безкрайните точки в своите решения те наричат *сингулярности*. Забележително е, че не физици, а математици решават загадката на критичния радиус. Това става едва към 1960 г., когато нещата биват изяснени по независим път от Мартин Крускал и Дейвид Финкелщайн в Съединените щати и от Джордж Секереш в Австралия. И тримата установяват, че сингулярената природа на Шварцшилдовия радиус е чисто математически артефакт: няма изобщо нищо *физически* сингулярно. Математическата сингулярност в критичния Шварцшилдов радиус е подобна на поведението на линиите на географските ширини и дължини в южния и северния полюси на глобуса. Илюзията за изкривяване на тези линии се дължи единствено на избраната координатна система. С проста трансформация на координатите сингулярността в Шварцшилдовия радиус може лесно да се избегне.

Не мога да разбера, оплаква се скептикът. Нима няма безкрайна деформация на времето в Щварцшилдовия радиус?

Същественото тук е, че няма локална физическа величина, която да е сингулярна в Шварцшилдовия радиус. Деформацията на времето е свързана с *нелокално сравняване* на часовници: за да бъде тя установена, трябва да се сравняват часовници при Шварцшилдовия радиус с отдалечени от него часовници. Ако сме на Шварцшилдовия радиус, ние няма да кажем: „О, времето тук е безкрайно деформирано“. В действителност ние не бихме забелязали в близката му околност нищо странно нито за времето, нито за коя да е друга проява на локалната физика. Едва когато сравним нашето време с това на някой далеч от нас, ние ще открием деформацията на времето.

За да поясним това, да се върнем към нашите неустрашими близнаки Ана и Бети. Приемаме, че Ана остава на Земята, а Бети, въоръжена с часовник, отива с космически кораб до колапсирала звезда (след малко ще разберем каква би била окончателната ѝ съдба). С помощта на мощните ракети тя може да остава на фиксирано разстояние от звездата. С помощта на радиосигнали те могат да сравняват показанията на своите часовници. Така Бети установява, че тя оства по-бавно от Ана и Ана е напълно съгласна, защото обстоятелствата не са симетрични: именно Бети изпитва силното гравитационно поле и свързаното с него разтягане на времето. За Бети времето действително „тече по-бавно“ в сравнение с това на Ана. Всички физически процеси изглеждат забавени, включително скоростта, с която Бети мисли и оства.

Самата Бети обаче не забелязва нищо странно около себе си. Всичко в близката ѝ околност изглежда нормално. Затова пък, ако наблюдава Земята с телескоп, тя ще забележи, че всички събития там протичат с повишена скорост. Всичко това е реално, а не никаква странна оптическа илюзия.

Но какво ще стане, ако Бети дръзне да се приближи до самия Щварцшилдов радиус? Вероятно разтягането на времето ще стане безкрайно? Как може нещо физично да бъде безкрайно?

С наблизаването към Шварцшилдовия радиус времето ще се разтяга все повече. Бети ще вижда, че часовникът на Ана е все по-бърз и обратното. Заедно с това Бети ще бъде подложена на огромно гравитационно притегляне. Излъчваните от космическия кораб светлинни вълни и радиовълни ще изпитват все по-силно гравитационно червено отместване. Светлината губи толкова много енергия, че само малка част от нея се откъсва и стигащите до Ана образи стават все по-мътни. Накрая Бети и нейният космически кораб напълно изчезват. Както предсказва Джон Мичъл преди две столетия, когато Ана гледа в посока на колапсираната звезда, тя вижда само чернота – черна дупка.

Но нашият скептик продължава: *Ако Бети е вътре в черната дупка, не е ли тя по никакъв начин отвъд края на времето (времето на Ана)?*

Точно така. Когато разтеглянето на времето е безкрайно, микросекундата на единия е вечност на другия. Вътрешността на черната дупка е област на пространството и времето, която никога не може да се наблюдава отвън. Шварцшилдовият радиус отделя събитията вътре в черната дупка от тези вън от нея; за Ана първите са ненаблюдаеми, докато вторите може да вижда. Затова Шварцшилдовият радиус често се нарича „хоризонт на събитията“. Така че в известен смисъл вътрешността на черната дупка е отвъд края на времето, доколкото става дума за външната вселена (макар, разбира се, това не е отвъд края на Бетиното време).

Има ли ги наистина?

Въпреки всеизвестния си вкус към необикновеното и чудното, самият Джон Уилър отначало е настроен скептично към идеята за тотален гравитационен колапс. Той изменя мнението си едва през 1960, след като научава за „премахването“ на Шварцшилдовата сингулярност от Крускал и др.

В астрономията десетилетието след 1960 се оказва извънредно плодотворно за предмета на гравитационния колапс. Първо са открити квазарите (квазизвездните обекти). Разположени в далечните краища на космоса, тези блестящи обекти първоначално са сметнати за звезди. После се разбира, че те имат маса на галактика и са невероятно плътни. Така че те биха могли да претърпят гравитационен колапс.

През 1964 ракета, снабдена с примитивен рентгенов детектор регистрира силен източник на рентгеново лъчение в съзвездието Лебед. Десет години по-късно, този източник, наречен Лебед X-1, става първият кандидат за възможна черна дупка, възникната при звезден колапс.

После идва откритието на пулсарите (неутронните звезди) през 1967. По този повод в края на същата година Уилър заявява, че е възможно продължаващ колапс да създаде „черна дупка“. Така това име влиза в научната терминология.

В началото на 1970-те астрономите се заемат сериозно с търсенето на черни дупки. Наблюденията над обекти като Лебед X-1 подсказаха, че ако черна дупка се образува в система на двойна звезда, тя ще се прояви посредством поведението на нейния видим компаньон.

Квазарите и смутените галактики се оказаха друго обещаващо място за търсене на черни дупки, но в този случай обектите ще са значително по-масивни. Астрономите подозират, че сърцевините на някои галактики съдържат черни дупки с маси на милиони и даже милиарди слънца. Смята се, че такава черна дупка се спотайва в нашия Млечен път. Осем десетилетия след откритието на Шварцшилд съществуването на реални обекти с безкрайно разтягане на времето изглежда потвърдено.

Самият Айнщайн още към 1920 губи интерес към „локалните“ ефекти на

гравитацията. След като новият 2,5-метров телескоп в Маунт Уилсън, Калифорния, позволи да се изучават най-отдалечените обекти във Вселената, астрономите установиха, че има нещо странно в идващата от тях светлина. През същото десетилетие става ясно, че Айнщайновата обща теория на относителността е намерила ново и много по-драматично приложение – произхода и еволюцията на самата Вселена.

Глава 5. НАЧАЛОТО НА ВРЕМЕТО: КОГА ТОЧНО Е ТО?

Големият часовник в небесата

През пролетта на 1988 Стивън Хокинг публикува своята книга *Кратка история на времето*, която веднага му донесе световна слава. Много от специалистите обаче са убедени, че времето трябва да има значително по-дълга история, отколкото Хокинг предполага. Неговата кратка история на времето в действителност е кратка история на вселената, базираща се върху предположението, че времето е започнало, когато е започнала вселената. Но заглавието на книгата подразбира и нещо друго, а именно, че вселената *има* смислена история. Последователното изложение на това, което е „станало“ с вселената, предполага, че космосът може да се обсъжда като едно цяло и неговите изменения са ставали цялостно, етап по етап, от онова, което е бил до онова, което е. Възможно ли е това?

Айнщайн убедително показва, че не съществува универсално време, няма общ часовник за пулса на космоса. Времето е относително – то зависи от движението, зависи от гравитацията. А вселената е пълна и с две. Земята се върти около слънцето, слънцето обикаля галактиката, галактиката се движи в локалната група галактики. Нещо повече, галактичните купове се разлитат в общото разширяване на вселената, така че най-далечните галактики изглеждат като да се отдалечават от нас почти със светлинна скорост. А освен това вездесъщо движение всички астрономични тела имат и гравитационни полета, които драстично изменят времето. След като имаме мириади времена, как можем да смятаме, че вселената като цяло марширува през историята под звъна на един единствен космически барабан?

В една хаотична вселена действително не би имало определена космическа история, защото не би имало универсално време. За късмет по никакъв мистериозен начин в най-големия мащаб вселената не е хаотична. Галактиките и техните движения при осредняване са удивително еднородни. Белег за тази еднородност е фоновото топлинно лъчение, което изпъльва пространството. Открито през 1965 г. от Арно Пензиас и Робърт Уилсън, това микровълново лъчение прониква цялата вселена. Смята се, че то е остатък от горещия Голям взрив, при който е възникнала вселената. То е живата реликва, остатък от първичната преизподня, в която се е родил космосът. Когато ре-

гистрираме това лъчение, ние наблюдаваме вселената такава, каквато тя е била преди около триста хиляди години след големия взрив. Поради ефекта на гравитационно червено отместване всички по-значителни нееднородности във Вселената биха оставили своя отпечатък върху това лъчение. Но данните от наблюденията не сочат никакви забележими вариации в топлинното лъчение от различни области на вселената. Затова вярваме, че в голям машаб вселената е и почти винаги е била извънредно гладка.

Гледано от Земята, поради нейното движение, космическото топлинно лъчение ще бъде леко нееднородно. Но трябва да съществува такова движение, такава отправна система, спрямо която космическата топлинна баня да изглежда *точно* една и съща във всяка посока. Тогава времето в тази отправна система (космически кораб със свой часовник) ще има уникален статут. Ние можем да използваме този часовник, за да дефинираме *космично* време – времето, спрямо което да измерваме историческите изменения във вселената.

Подобни хипотетични часовници биха могли да се разположат навсякъде във вселената и винаги в отправни системи, в които космическото фоново лъчение е еднородно. Показанията на тези часовници биха могли да се съгласуват така, че да имаме единно време за цялата Вселена (за разлика от Нютоновото абсолютно време, валидно за *всички* наблюдатели). Именно съществуването на тази всепроникваща скала на времето позволява на космозите да датират събитията в космическата история и да има смисъл, когато говорят за „вселената“ като за единичен обект.

Големият взрив и какво е станало преди него

През 1924 г. младият американски астроном Едуин Хъбъл се заема да изследва мъглявините с помощта на големия телескоп на Маунт Уилсън. Съпоставяйки данните за отдалечеността и червеното отместване на няколко десетки галактики, Хъбъл се убеждава, че колкото по-далечна е галактиката, толкова по-голямо е нейното червено отместване, т.е. толкова по-брзо се отдалечава тя от нас. През 1929 г. Хъбъл прави едно от най-забележителните открития за всички времена: Вселената се разширява.

Според статистически осреднения закон на Хъбъл, галактиките се отдалечават *една от друга* със скорост, пропорционална на разстоянията между тях. „Вселената се разширява“ означава, че в мащабите на галактичните купове, т.е. в най-едри мащаби, галактиките се разбягват една от друга (макар че вътре в галактичния куп те могат даже да се сближават). При това разширяването е много еднородно: средно взето, то е едно и също във всички посоки. Именно тази еднородност се отразява в еднородното фоново лъчение.

Щом вселената расте, тя трябва в миналото да е била по-малка. Можем да си представим, че е имало момент, когато всички галактики са били плът-

но събрани. Това уплътнено състояние съответства на времето на големия взрив. Когато космологите казват, че вселената е започнала с големия взрив, те подразбират връщане на разширението до никаква идеализирана начална точка, в която цялата материя на вселената е била концентрирана на едно място. Такова състояние на безкрайна плътност означава безкрайно гравитационно поле и безкрайна пространствено-времева кривина, т.е. сингулярност. Сингулярността на големия взрив наподобява центъра на черна дупка, но в миналото, а не в бъдещето. Тъй като не е възможно пространството и времето да се простират отвъд такава сингулярност, излиза, че големият взрив е началото на *самото време*. Някои нови идеи в квантовата физика поизмениха схващането ни за възникването на времето. Но същественият извод остава непроменен: времето не е съществувало преди големия взрив.

Най-голямата грешка на Айнщайн

След създаването на общата теория на относителността през 1915 г. Айнщайн навлиза дълбоко в космологията. Скоро той създава модел на едромашабната структура на вселената, като прилага описание на гравитацията посредством кривината на пространство-времето. Това е било през 1917 г. Тогава никой не е подозирал, че вселената се разширява и е било напълно естествено Айнщайн да търси статичен и вечен модел. Основната трудност иде от самата гравитация. Както е и в Нютоновата теория, общата теория на относителността описва гравитацията като универсално привличане между всички тела в космоса. Това води до своеобразен парадокс, защото тези привличащи се тела не могат да остават неподвижни – те неминуемо ще се слеят в една обща маса. С други думи светът ще колапсира под собствената си тежест.

За да избегне тази трудност, Айнщайн намира остроумно решение. Той приема, че срещу силата на гравитационното привличане действа нов вид сила на отблъскване, която точно балансира теглото на космоса и така се осъществява статично равновесие.

Първоначалните Айнщайнови уравнения описват чисто привличаща сила на гравитацията. За да осигури статичност на Вселената, Айнщайн прави съдбоносна крачка, като прибавя към уравненията допълнителен член. Нарича го „космологичен член“. Неудобството е, че новият член съдържа неизвестно число Λ , наречено „космологична константа“. Така наред с константата „ G “, която в Нютоновата и в първоначалната Айнщайнова теория е мярка за силата на привличане между две тежки тела, се появява втора константа Λ , която също като G трябва да се определи чрез измерване.

Космологичният член може да се положи равен на нула и така да се възстановят оригиналните уравнения; но ако се избере с положителна стойност, той ще описва сила на отблъскване, т.е. антигравитация. За разлика обаче от

„нормалната“ гравитация и другите познати сили, Λ -силата с разстоянието не намалява, а *расте*. Космологичното отблъскване е пренебрежимо малко в машабите на слънчевата система, където Айнщайновата теория вече е демонстрирала внушителна точност.

Космологичният член обаче не оправдава очакванията по две причини. През 1927 г. белгийският духовник и математик Жорж Льометр установява, че балансът между гравитационното привличане и космологичното отблъскване е неустойчив: и най-малкото смущение може да причини или колапс на вселената, или неудържимо разширяване. А по това време става все поясно, че вселената все едно не е статична, а се разширява.

Когато Айнщайн научава всичко това, той се отказва от своя статичен модел, нарича космологичния член „*най-голямата грешка в моя живот*“ и изразява съжалението си, че Хъбъл не е направил откритието си малко по-рано.

Можем със задна дата да кажем, че тази реакция на Айнщайн е била прибързана. Наистина, той е бил силно разочарован от пропуснатата възможност да предскаже разширяването на вселената няколко години преди откриването му. Но фактът, че вселената се разширява, *не изключва* Λ -силата. В разбираемия си гняв Айнщайн, както ще видим, изхвърля бебето заедно с мръсната вода.

Льометр показва, че уравненията на Айнщайн се съгласуват с множество разширяващи се космологични модели, повечето от които започват с голям взрив. Любопитно е, че много от тези модели са били вече открити през 1922 г. от младия руски учен Александър Фридман. Той прилага Айнщайновите уравнения на полето (включващи и Λ -члена) към задачата за вселена, изпълнена равномерно с материя, и открива, че освен Айнщайновото статично решение са възможни също разширяващи се и свиващи се модели. В публикуваните две статии по този въпрос Фридман посочва, че статичният модел на Айнщайн е само предположение, което не се потвърждава от наблюденията. Първоначално Айнщайн отговаря, че това е просто грешка в изчисленията на Фридман, но после признава, че пресмятанията са верни и че тази работа е „изясняваща“. Въпреки това Айнщайн отхвърля идеята за зависима от времето вселена и пророческите резултати на Фридман тънат в неизвестност цяло десетилетие.

Въпреки преживяното разочарование по-късно в съвместна статия с холандския астроном Вилем де Ситер от 1932 г. Айнщайн посочва предпочитанията си към едно определено решение на Фридман. Моделът на Айнщайн-Де Ситер е най-простият от Фридмановите модели без космологичен член. Но Айнщайн вече не храни силен интерес към космологията и трудните въпроси за Големия взрив и произхода на космоса са оставени на Едингтън, Льометр, Хъбъл и др.

Двете времена на космоса

Макар Хъбъл да не настоява на своите изводи относно оценката на възрастта на вселената, все пак към 1950-те години много учени са смутени от получената оценка за горната граница, възлизаша на 1,8 милиарда години. Работата е проста. Радиоактивният метод дава за възрастта на земята 4,5 милиарда години. Подобна е оценката за възрастта и на метеоритите (а по-късно и на луната). Стига се до абсурдния извод, че земята е по-стара от вселената! А оценката за най-старите звезди в нашата галактика и в галактичните купове показва, че възрастта им е поне 14 или 15 милиарда години!

Все пак проблемът за възрастта на вселената е изтласкан от въпроса за природата на самото време. Можем да сравняваме показанията на два часовника, като ги поставим един до друг или като пращаме сигнали между наблюдателите. Но как да сравняваме днешния ход на времето с онзи, който е бил преди милиарди години?

Проблемът е следният: как можем да знаем, че един свръхточен атомен часовник, който работи в продължение на няколко милиона години, в днешно време няма да върви малко по-бързо или по-бавно? Същото може да се каже и за големия часовник в небесата. Ако самият космически часовник се мени с времето, това напълно ще опорочи нашите оценки за възрастта на вселената. Айнщайн освободи времето от оковите на Нютоновия абсолют: ние знаем, че времето може да се мени от място на място. Защо тогава да не се мени и от време на време?

Двама английски учени – Артър Милн, първият ръководител на катедрата по математика „Рауз Бол“ в Оксфордския университет, и Пол Дирак, един от основателите на квантовата механика и Нобелов лауреат – построиха по независим начин теории, от които следва, че атомният часовник постепенно (в машабите на милиарди години) излиза от синхрон с астрономическия часовник. Следствията от тези предсказания бяха проверени с космическия кораб „Викинг“, който през 1977 г. кацна на Марс. Получените данни показваха, че теориите на Милн и на Дирак не се оправдават.

Това обаче не доказва, че за всички физически процеси има само една скала на времето. Докато липсва обединена теория на всички физически процеси, основаваща се върху идеята за обща скала на времето, въпросът за това колко скали на времето има ще остане открит. Съществуват много разновидности на часовник – астрономична, с махало, атомна, кристал на сапфир, свръхпроводящи резонатори и т.н., – в които се прилагат различни физически принципи. Напълно възможно е някои от тези часовници бавно да губят синхрон в космологични мащаби.

Тогава какво е положението с възрастта на вселената? През 1952 г. холандският астроном Валтер Бааде потписа своите колеги, като им съобщава,

че резултатите на Хъбъл съдържат сериозна грешка. По това време Хъбъл вече е натрупал резултати от измервания на червени отмествания за все по-далечни галактики и за разстоянията до тях. В работата с телескопа на Маунт Уилсън му помага опитният асистент Милтън Хюомасън. От самото начало методът на Хъбъл за измерване на разстояния е основан върху наблюденията на определен клас звезди, известни като цефеиди. Тези звезди променят блесъка си по строго периодичен начин и измерването на трайността на светлия цикъл позволява да се изчисли истинската светимост на звездата. От сравнението на истинската светимост с видимата светимост може да се оцени колко далеч е разположена звездата. Хъбъл и Хюомасън търсят цефеиди в други галактики с цел да изчислят техните разстояния. Макар че методът е добър, Хъбъл е работил с неправилна калибровка: цефеидите се оказват поне двойно по-далеч, отколкото той през цялото време е предполагал. Изведнъж размерът на вселената се оказва удвоен, а заедно с него се удвоява и нейната възраст. Макар да е все още далеч от решението си, проблемът Земята да е по-стара от вселената донякъде се смекчи.

След това внезапно преосмисляне, оценката за възрастта на вселената, основаваща се върху формулата на Хъбъл за връзката между разстоянието на галактиката и скоростта на отдалечаване, беше ревизирана няколко пъти. Публикувани бяха оценки за възрастта на вселената, възлизящи на 15 и даже 20 милиарда години. За едно-две десетилетия хората мислеха, че парадоксът вселената да бъде по-млада от някои от нейните съставни части е решен. Но след това всичко отново се обърка.

Глава 6. НАЙ-ГОЛЕМИЯТ ТРИУМФ НА АЙНЩАЙН?*

Отблъскващ проблем

*„Вън космологичният член...“
Алберт Айнщайн*

В предната глава разказах как Айнщайн, след като създава красивите уравнения на гравитационното поле през 1915 г., по-късно ги „загрозява“ с добавянето на космологичния или Л-член. За което горчиво съжалява. Първо, това го лишава от шанса да предскаже разширяването на вселената. Второ, допълнителният член води до множество нелепости, поради което става известен като „нелепият Айнщайнов множител“, който не е достоен за една толкова изящна и мощна теория, каквато е общата теория на относителност-

* Относно въпросите, засегнати в тази глава, виж прекрасната статия на нашия покойен колега проф. Марин Калинков „Успехи на наблюдателната космология“, СФ 23 (2000) № 1. – бел.прев.

та. Окуражени от великия човек, повечето учени са склонни да разглеждат Λ -члена като толкова отблъскващ, колкото е силата, която той описва. Отчасти това е заради драматичния поврат на Айнщайн, а отчасти заради бръснача на Окам. Защо да прибавяме допълнителен член към и без това сложна система от уравнения? С него само се увеличава броят на възможните космологични модели и се затруднява интерпретацията на астрономичните наблюдения.

Има и още една причина, поради която учените биха предпочели Λ да е равен на нула. Космологичните наблюдения ограничават големината на Λ до много малка стойност. Както вече изяснихме, Λ -силата е извънредно слаба, с порядъци по-слаба от всичко друго. Много физици мечтаят различните природни сили – гравитация, електромагнетизъм и ядрени сили – един ден да се обединят в единна полева теория от вида на тази, която Айнщайн упорито търси през последните си години. Едва ли подобна теория ще предскаже сила, която е толкова по-слаба от останалите.

В тази насока Стивън Хокинг предложи остроумен аргумент (1983). За да оценим количествено Λ -силата, трябва да я сравним с нещо. Удобно е това да става посредством разстоянието, на което силата започва да се проявява. Казахме, че тя е пренебрежима на разстояния, по-малки от няколко милиарда светлинни години. Колкото по-слаба е тази сила, толкова по-голямо е разстоянието, на което тя се проявява. Ако е нулева, разстоянието е безкрайно. Можем също да сравняваме с познатата електромагнитна сила, но в този случай нещата са точно обратни. Докато Λ -силата *расте* с разстоянието, електромагнитната сила намалява с разстоянието, така че мярка за нейния радиус на действие е разстоянието, *отвъд* което тя става пренебрежимо малка.

Наблюденията на магнитните полета на галактиките подсказват, че електромагнитните полета се простират най-малко на милион светлинни години, но за по-големите разстояния се знае много малко. *Възможно е* електромагнитната сила рязко да изчезва при, да речем, милиард светлинни години от нейния източник, но почти няма физик, който да вярва в това. Аргументът е, че известният радиус на действие е толкова голям, че той в действителност би трябало да е *безкрайно* голям, защото трудно можем да си представим едно фундаментално разстояние от милиард светлинни години да влиза в основните закони на електромагнетизма. Вместо просто да приемат, че радиусът на електромагнитната сила е някаква неизвестна величина, по-голяма от милион светлинни години, физиците се обръщат към математичен принцип за симетрия (калибровъчна симетрия), който *фиксира* безкраен радиус. Тази красива симетрия, която е неявно заложена още в електромагнитните уравнения на Максуел, също така прави електромагнетизма прост и елегант-

тен. А сега да сравним електромагнитната теория с космологичното отблъскване. Радиусът на действие на Л-силата е много по-голям от милион светлинни години. Ако направим същите като горните разсъждения, ние би трябвало да стигнем до извода, че този радиус е безкраен и да търсим дълбок принцип за симетрия – подобен на електромагнитната калибровъчна симетрия, – който автоматично фиксира *точно нулема* стойност на Л. Но досега никой не е открил такава симетрия.

В усилията си да изгонят Л, физиците теоретици опитват различни идеи. Една от тях е Л-членът да се разглежда като някакво независимо поле със своя собствена динамика. Прилагането на квантовата механика към това поле доведе до извода, че най-вероятната стойност действително е много близка до нула.

Колкото и насочващи да са тези различни пресмятания и аргументи, те не са всеобщо приети и физиците поставят проблема за космологичната константа на едно от първите места сред изпъкващите научни загадки.* Защо това е проблем? Защото повечето физици биха предпочели да няма космологична константа, но липсва убедителна научна аргументация Л да се положи равна на нула. Изтъкнатият физик и космолог Стивън Уайнбърг посочва, че в природата има тенденция да се осъществяват всички неща, които не са конкретно забранени от някакъв принцип за симетрия или друг вид закон. „Няма причина да не включваме космологична константа в Айнщайновите уравнения на гравитацията“ – казва той.**

Вселената в равномерен ход

„Аз съм детектив, който търси престъпник – космологичната константа. Знам, че той съществува, но не знам как изглежда.“

Артър Едингтън (1931)

Не всички космологи мразят космологичната константа. Едингтън например определено я приветства. Заедно с Жорж Льометр той предлага модел за големия взрив на вселената, съдържащ Л-сила. Космологичният член практически не се проявява в плътния ранен стадий на вселената, защото тази сила е много малка на близки разстояния. Обаче с разширяването на вселената отблъскването се засилва и в резултат започва да противодейства на нормалното гравитационно привличане. Точно както нормалната гравитация действа като спирачка върху разширяването, така и Л-членът действа като ускорител, каращ вселената да се разширява по-бързо. Отначало спирачният ефект преобладава, така че темпото на разширяване спада, но с раз-

* Вж. статията на В.Л.Гинзбург в *СФ* 23 (2000) № 1. – бел.прев.

** Вж. Ст. Уайнбърг, „Четиво с продължение“, *СФ* 22 (1999) №3. – бел.прев.

растването на вселената конкуренцията между двете сили става все по-равностойна. В крайна сметка се стига до етап, в който двете сили взаимно се неутрализират и вселената се колебае дали да се ускорява или да се забавя. В резултат тя започва да се разширява с почти равномерна скорост. Все пак тази фаза на „равномерен ход“ не може да продължава безкрайно, защото в крайна сметка отблъскването ще надделее. Бавно, но сигурно вселената започва да се ускорява при своето разширяване и Λ -силата все повече расте. Така че ситуацията, която е била в близост до големия взрив, ще се преобърне, като гравитационното привличане ще намалява, а ще доминира отблъскването. В резултат вселената продължава завинаги да се разширява и с ускоряващо се темпо става все по-голяма.

Приблизително до кога е траял равномерният ход на вселената? Изследванията показват, че това е ставало през много ранна епоха, когато Λ -силата е била все още много слаба. Но тъй като за равномерния ход се изисква баланс на отблъскването и привличането, то и привличащата гравитационна сила трябва да е била много малка, т.е. във вселената е имало много малко материя – значително по-малко, отколкото дават оценките, основани на наблюденията. Следователно малко вероятно е вселената да е пребивавала значително време в състояние на равномерен ход.

При все това съществуването на космологична константа винаги ще служи за известно увеличаване на възрастта на Вселената – свръх тази възраст, която се предсказва от модел с нулема стойност на Λ . Това е така, с или без фаза на равномерен ход в миналото, поради тенденцията към ускоряване. Причината е лесна за разбиране. За да стигне до съвременните си размери и скорост на разширяване, вселената трябва да се е разширявала бързо в миналото, така че да преодолее ефекта на спирането. Ако спирането е било по-малко, вселената би стигнала до днешното си състояние с по-малко темпо на предишното разширяване. Но по-малкото темпо на разширяване в миналото означава, че вселената е съществувала по-дълго време.

По същество космологичната константа действа като друга форма на тъмна материя, допълваща масата на вселената. Несъмнено съществува и определено количество „обикновена“ тъмна материя, но вече не е нужно да приемаме, че поне 90 процента от космическия материал се намира в неизвестна невидима форма. Напълно възможно е това да са само 10 процента, с което константата на Хъбъл би се увеличила до близо 80, а съответно възрастта на вселената да е 16 милиарда години.

Макар че космологичният член остава най-прекият път към решаването на проблема за възрастта на вселената, все още е твърде рано да се дава окончателен отговор. Възможно е обаче отговорът скоро да дойде. През 1990 г. група японски астрономи, както и Едуин Търнър от Принстънския

университет, независимо достигнаха до нов начин за измерване на Λ посредством закривяването на светлинните лъчи (т. нар. гравитационни лещи), идещи от далечни квазари. Щом като вселената с космологичен член е по-възрастна, светлината от далечните квазари ще е пътувала по-дълго и ще е имала по-голям шанс да претърпи гравитационно закривяване при минаване покрай галактики. Така че преброяването на събития на гравитационно закривяване може да се използва, за да се оцени горната граница за стойността на Λ . Моето убеждение е, че тези наблюдения ще потвърдят съществуването на космологичен член. Има някаква върховна ирония в това, че най-голямата Айнщайнова грешка в действителност се оказва неговият най-голям триумф.

(Paul Davies. *ABOUT TIME – Einstein's unfinished revolution.*
Touchstone, London et al., 1996)

Подбор и превод: **М. Бушев**

*Абонирайте се за „Светът на физиката“ на адреса на редакцията –
в канцеларията на СФБ или в тази на Софийския клон на СФБ*

и във всички пощенски станции – кат. № 1686.

Годишен абонамент – десет (10) лева.

За ученици, аспиранти и пенсионери – пет (5) лева.