

В ЦЕРН* Е СЪЗДАДЕНО НОВО СЪСТОЯНИЕ НА МАТЕРИЯТА

На специален семинар на 10.02.2000 г. ръководителите на експерименти от Програмата на ЦЕРН за тежки йони представиха убедително доказателство за съществуването на ново състояние на материята, в което кварките вместо да са свързани в по-сложни частици като протони и неутрони са освободени да блуждаят безпрепятствено.

Теорията предвижда, че такова състояние би трябвало да е съществувало около 10 милисекунди след Големия Взрив, преди формирането на материята така както я познаваме, но досега тази хипотеза не е била потвърдена експериментално. С тези резултати нашето разбиране за това как е създадена Вселената, което досега беше непроверена теория за всички точки във времето преди образуването на обикновените атомни ядра (около 3 минути след Големия Взрив) е експериментално доказано до точка, която е само на няколко милисекунди от Големия Взрив.

Професор Лучано Майани, генерален директор на ЦЕРН каза: “Комбинираните данни от седемте експеримента на Програмата на ЦЕРН за тежки йони дават ясна картина за ново състояние на материята. Този резултат доказва важно предсказание на съвременната теория за фундаменталните сили между кварките. Той е и важна стъпка напред в разбирането на ранната еволюция на Вселената. Сега имаме доказателство за ново състояние на материята, в което кварките и глюоните са свободни. Открива се цяла свършено нова теория за изследване физичните свойства на кварк-глюонната материя. Сега предизвикателството се премества към Колайдера на релятивистки тежки йони (RHIC) в Брукхайвънската Национална Лаборатория и по-късно на Големия адронен колайдер в ЦЕРН”.

Задачата пред Програмата на ЦЕРН за тежки йони беше да сблъсква оловни йони така, че да създава изключително високи плътности на енергията, които да преодолеят силите, задържащи кварките в по-сложните частици. Сноп от оловни йони с много висока енергия (33 TeV) беше ускорен в Супер Протонния Синхротрон на ЦЕРН (SPS) и насочен върху мишени в седем различни експериментални детектори. Сблъскванията създадоха температури около 100 000 пъти по-високи отколкото в центъра на Слънцето и плътности на енергията двадесет пъти по-големи от плътността на ядрената материя, плътности, които никога дотогава не бяха достигани в лабораторен експеримент. Събраните данни от експериментите дават убедително доказателство, че е създадено ново състояние на материята. Намереното при сблъскванията на тежки йони в SPS състояние на материята има много от характеристиките на теоретично предсказаната кварк-глюонна плазма, първичната “супа” в която са съществували кварките и глюоните преди да се групират заедно при охлаждането на Вселената.

Програмата с оловните снопове започна пред 1994 г., след като ускорителите в ЦЕРН бяха осъвременени благодарение на сътрудничеството между ЦЕРН и институти от Германия, Индия, Италия, Франция, Чехия, Швейцария и Швеция. Към съществуващите свързани ускорители в ЦЕРН – протонния синхротрон (PS) и SPS беше добавен нов източник на оловни йони. Седемте големи експеримента включваха измервания на различни характеристики на сблъскванията - олово с олово и на олово

със злато. Те бяха наречени NA 44, NA 45, NA 49, NA 50, NA 52, WA 97/NA 57 и WA 98. Някои от тези експерименти използват многоцелеви детектори за измерване и съпоставяне на няколко от най-често наблюдаваните явления. Това координирано усилие, използващо няколко допълващи се експеримента, се оказва много успешно.

Проектът е отличен пример за сътрудничество във физическите изследвания. В експериментите участваха учени от институти в повече от двадесет страни¹. Програмата позволи да се развие и изключително продуктивно сътрудничество между физиците, занимаващи се с физика на високите енергии и ядрените физици. Още по-важно – тази стъпка напред стана възможна благодарение на сътрудничеството между различните експерименти. Данните от нито един отделен експеримент не бяха достатъчни, за да очертаят пълната картина, но комбинираните резултати от всички експерименти се съгласуваха напълно с нея. Всички опити резултатите да се обяснят с установените взаимодействия на частиците бяха неуспешни, докато много от наблюденията са в съгласие с предсказаните сигнали за появата на кварк-глюонна плазма.

Резултатите от ЦЕРН са нов и силен мотив за планираните бъдещи експерименти. След като всички парченца на главоблъсканицата изглежда да се сглобяват в обяснението, че е получена кварк-глюонната плазма, сега е съществено да се изучи тази новосъздадена материя при по-ниски и при по-високи температури, за да се характеризират напълно нейните свойства и по този начин напълно да се потвърди интерпретацията ѝ като кварк-глюонна плазма. Фокусът на изследванията с тежки йони се премества сега към Колайдера на релативистични тежки йони (RHIC) в Брукхайвънската национална лаборатория в Съединените щати, където експериментите ще започнат през тази година. През 2005 г. експерименталната програма на Големия адронен колайдер ще включи експеримента ALICE², специално посветен на сблъскванията между тежки йони.

Пълна информация за Програмата за релативистични тежки йони на ЦЕРН може да се получи на адрес:

<http://www.cern.ch/CERN/Announcements/2000/NewStateMatter>

* ЦЕРН е Европейска организация за ядрени изследвания в Женева. Членове на ЦЕРН са: Австрия, Белгия, България, Великобритания, Германия, Гърция, Дания, Испания, Италия, Норвегия, Полша, Португалия, Словакия, Унгария, Финландия, Франция, Холандия, Чехия, Швейцария и Швеция. Наблюдатели са: Европейската комисия, ЮНЕСКО, САЩ, Япония, Русия, Турция и Израел.

¹ Сред тях има и български учен – д-р Лъчезар Бетев от екипа на Калифорнийския университет в Лос Анджелис.

² На постоянна работа в експеримента ALICE след конкурс е назначен младият български физик д-р Петър Христов. Петър Христов е първият българин, назначен в ЦЕРН след приемането на България в организацията през 1999 г.

РЕЛАКСАЦИОННИ ПРОЦЕСИ В МОЛЕКУЛИТЕ

Светослав Рашев, Ст. н. с. в ИФТТ - БАН

1. С какво са интересни релаксационните явления в молекулите.

След възбуждане със светлинен квант атомът обикновено много бързо се освобождава от погълнатата енергия, като излъчва спонтанно светлина със същата честота. За разлика от атома, оптично възбудената молекула демонстрира много по-сложно поведение и рядко излъчва резонансно. Например молекулите почти никога не излъчват светлина от по-високо възбудените си електронни състояния, а само от първо възбудено синглетно или триплетно състояние; молекулите обикновено не излъчват тази дължина на вълната, с която са възбудени, а цяла широка ивица от по-дълги вълни; не всички оптично възбудени молекули въобще излъчват квант.

Непосредствено след възбуждането в молекулата започва самопроизволна еволюция на вътрешното ѝ състояние. Тази еволюция се заключава в преразпределение на енергията между нейните степени на свобода – изменение на формите на движение и преминаването им от един вид в друг. Това са, най-общо казано, **вътрешномолекулните релаксационни (или безизлъчвателни) процеси**, които ще бъдат обект на разглеждане в настоящия обзор. Релаксационните процеси водят до това, че молекулата излъчва светлина от друго състояние, а не от първоначално възбуденото или пък въобще не излъчва, а се освобождава от погълнатата енергия по други, безизлъчвателни канали. Много често тези фотофизични процеси, каквито са релаксационните, се придружават и преплитат със химични или структурни превръщания (фотохимични реакции) – напр. регрупиране на атомите в молекулата (изомеризация) или откъсване на части от нея (дисоциация).

Изясняването на механизмите и пътищата на миграция на енергията във възбудената молекула, освен от голям чисто научен интерес, е много важно от приложна гледна точка – във връзка с широкото използване на многоатомните молекули като активни среди за пренастройваеми лазери (на пари или разтвори), за целите на различни химични технологии и др. Релаксационните явления играят изключителна роля в молекулите с биологично значение и тяхното изясняване се очаква да даде ключ към разбирането на някои жизненоважни биологични процеси в живия организъм. Изследването на вътрешномолекулните релаксационни процеси е изключително сложен проблем – поради голямата сложност и многообразие на процесите и взаимното им преплитане, проблемът е различен при всяка отделна молекула и толкова сложен, колкото по-голяма и сложна е молекулата. Въпреки това, обаче, съществуват определени общи закономерности, на които се подчиняват всички вътрешномолекулни релаксационни процеси в многоатомните молекули и които са главният предмет на настоящото изложение. Преди да пристъпим към тяхното разглеждане, за да може да бъде правилно формулирана основната задача и нейното решение, а и за въвеждане на необходимата терминология, ще дадем някои основни сведения от молекулната теория.

2. Видове движения и състояния в молекулите.

При молекулите освен електронна структура и електронни състояния, както при атомите, възникват два нови вида движение, каквито атомите не притежават - вибрационно и ротационно. Мнозинството молекули имат определена структура -

скелет, оформен от взаимното разположение на ядрата на атомите, образуващи молекулата. Тази структура е характерна за дадената молекула, но тъй като се определя от електронния облак, тя се изменя в малка степен от едно електронно състояние в друго. Разглеждана като твърда конструкция (скелет), молекулата може свободно да се върти в пространството, като всяко твърдо тяло, притежаващо три ротационни степени на свобода. Но в действителност конструкцията на молекулата не е твърда - това е просто една равновесна конфигурация, съответстваща на минимума на потенциалната енергия; и ядрата могат да трептят (по определени траектории и с малки амплитуди) около равновесните си положения, което определя вибрационните степени на свобода на молекулата.

2А. Взаимодействия между отделните движения в молекулата.

Тези три вида движение на молекулата - електронно, вибрационно и ротационно, не са независими, а са свързани помежду си. С най-голямо значение е взаимодействието между електронното и вибрационното движение. Например в различните електронни състояния (основно и възбудени) на една молекула потенциалното поле, в което се движат ядрата, е различно и поради това както равновесните конфигурации на ядрата (междиядрените разстояния), така и силовите константи и вибрационните честоти се променят в известна степен; обратно, характеристиките на самото електронно състояние (електронните вълнови функции) са функции на вибрационното движение, особено при по-големи вибрационни амплитуди.

Не по-малко интересно е взаимодействието между вибрационното и ротационното движение в молекулата. То се проявява в две различни форми: Кориолисово (всяко ядро, движещо се със скорост v във въртящата се молекула, се подлага на действието на някаква сила, която променя траекторията на неговото движение) и центробежно [относителните (вибрационни) движения на ядрата водят до изменения на инерчните моменти на молекулата, което пък се отразява на скоростта на въртенето].

2В. Адиабатно приближение.

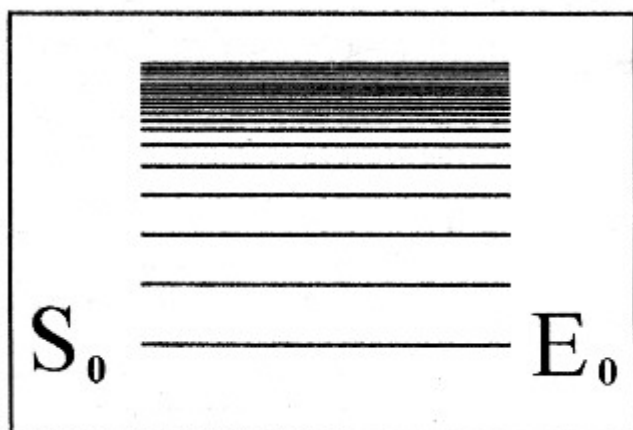
Във всяка молекула ядрата се движат много по-бавно и с много по-малки амплитуди от електроните, поради много по-голямата си маса. На тази разлика в скоростите и амплитудите се основава т. нар. адиабатно приближение, което е важен инструмент при теоретичното разглеждане на молекулите: Електронната структура се изследва в приближение на неподвижни ядра, при което получените електронни вълнови функции $\varphi_e(q, Q)$, придобиват параметрична зависимост от ядрените координати Q (q обозначава електронните координати). Основна роля в квантовата теория на молекулите играе **параметърът на Борн-Опънхаймър** $\kappa = \sqrt[4]{m_e / M} \approx 0,1$ (където m_e е масата на електрона, а M - характерна ядрена маса). Всички важни величини, отнасящи се до електронното и ядреното движение в молекулата, се намират в съотношение κ (или някаква негова цяла степен).

Важна роля в квантовата теория и спектроскопията на молекулите играе симетрията. Всяка химически стабилна молекула може да бъде отнесена към някаква точкова група на симетрия. Електронно-вибрационният Хамилтониан H е пълно-симетрична функция на ядрените и електронните координати, а всички електронни и вибрационни вълнови

функции принадлежат на определени типове симетрия, характерни за съответната точкова група.

2С. Нормални трептения.

Когато молекулата се намира в определено електронно състояние, нейните ядра могат да трептят по различни начини (по различни траектории и с различни честоти), съответстващи на така наречените **нормални трептения** [1]. Това са колективни движения на ядрата, повече или по-малко локализирани върху определени (групи от) атоми в молекулата. Молекула с N атома има $3N - 6$ различни нормални трептения, с честоти $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{3N-6}$, и нормални координати $Q_1, Q_2, \dots, Q_{3N-6}$. Най-простият вид вибрационни състояния, съответстващи на трептения по една от нормалните координати Q_i с честота ω_i , се наричат **фундаментални**. Възможни са също трептения по една координата Q_i , но с честоти $2\omega_i, 3\omega_i$ и т.н., които се наричат **обертонове**. Накрая, възможни са трептения по координата, която е суперпозиция на няколко нормални координати, напр. Q_i, Q_j, Q_k с честота $n_i\omega_i + n_j\omega_j + n_k\omega_k$ (n_i, n_j, n_k - цели числа) - **съставни трептения**. Гореизброените хармонични вибрационни състояния представляват най-често използвания базис от вълнови функции при конкретните пресмятания. Казва се, че молекулата се намира в дадено **вибронно** състояние - т.е. определено електронно състояние $\Phi_e(q, Q)$ и вибрационно състояние $\chi_v(Q)$, което се описва с вълнова функция-произведение (в приближение на Борн-Опънхаймър): $\Psi(q, Q) = \Phi_e(q, Q) \chi_v(Q)$; а енергията на вибронното състояние е сума от енергиите на електронното и вибрационното състояния: $E_{ev} = E_e + E_v$. Вибронните състояния не са стационарни (те не са собствени състояния на пълния електронно-вибрационен Хамилтониан на молекулата). Поради това те са свързани помежду си чрез матрични елементи, дължащи се на неадиабатни, спин-орбитални, анхармонични и вибро-ротационни взаимодействия.



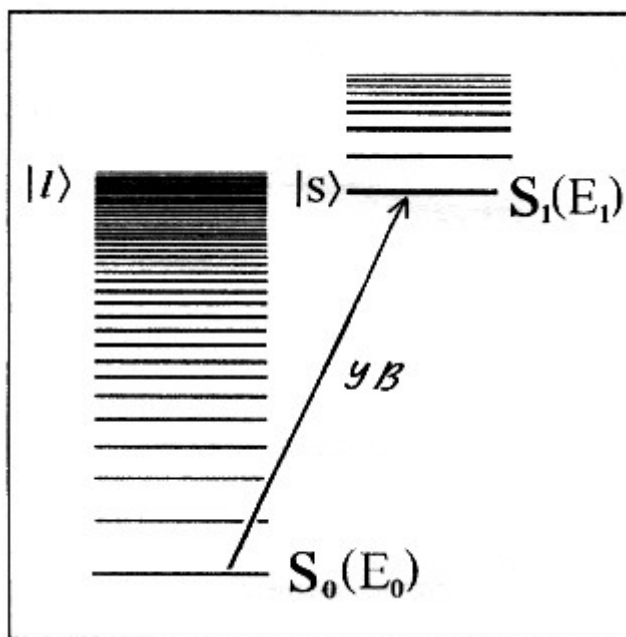
Фиг. 1.

2D. Плътност на вибрационните състояния.

Много важна характеристика на вибрационните базисни функции $\chi_v(Q)$ (имаща непосредствено отношение към по-нататъшното изложение), е **плътността** $\rho(E_v)$ на техните състояния с енергии E_v (т.е. брой състояния на единица енергетичен интервал), схематично представена на Фиг. 1. От фигурата се вижда, че плътността на вибрационните състояния много бързо нараства с увеличаване на вибрационната енергия E_v . Колкото по-голяма е молекулата, толкова по-бързо нараства плътността $\rho(E_v)$ с увеличаване на E_v . Например за молекула с 12 атома, ρ надвишава 10^6 състояния/ cm^{-1} при $E_v = 16\,000\text{ cm}^{-1}$ (основна единица за измерване на честоти и енергии в молекулната спектроскопия е обратния сантиметър: $1\text{ cm}^{-1} = 1/8068\text{ eV}$). Областта на много висока плътност на вибрационните състояния (при големи E_v) се нарича вибрационен квазиконтинуум. Именно тази област с висока плътност на базисните вибрационни състояния е от особено значение за протичането на повечето вътрешномолекулни релаксационни процеси. Състоянията във квазиконтинуума се характеризират с големи амплитуди на трептене на ядрата. Когато тези амплитуди нараснат твърде много, е възможно да настъпи откъсване на атом (или група атоми) от молекулата - **дисоциация** или преодоляване на някаква потенциална бариера и прескачане на молекулата в друга равновесна конфигурация - **изомеризация**.

3. Електронни безизлъчвателни преходи [2-4].

Често се случва в многоатомните молекули вибронни състояния Ψ_I , принадлежащи на по-ниско лежащо електронно състояние S_0 (но силно вибрационно възбудени - с вибрационна енергия E_{0v} и поради това много гъсто разположени), да имат същата обща енергия, колкото енергията на вибронното състояние Ψ_S , което принадлежи на по-високо възбудено електронно състояние S_1 и има много по-малка вибрационна енергия E_{1v} (Фиг.2). Схемата на Фиг.2 е фундаментална при разглеждане на електронни **безизлъчвателни преходи** в молекулите [2,3]. Преходът от състояние $\Psi_S = |S\rangle$ към гъсто разположените състояния $\Psi_I = |I\rangle$ (който може да протече самопроизволно в изолираната молекула) представлява преход от по-високо (S_1) към по-ниско (S_0) възбудено електронно състояние с трансформиране на освободената електронна енергия във вибрационна (възможен е преход и в обратната посока, но с много по-малка вероятност).



Фиг. 2.

За избягване на някои възможни недоразумения е необходимо ясно да подчертаем, че по време на безизлъчвателния процес изолираната молекула не извършва преход от свое възбудено състояние към основното. Това е невъзможно, понеже за времето на релаксацията молекулата не отделя енергия – тя запазва първоначално погълнатата енергия. Релаксационният процес представлява прехвърляне на заселеността от едни възбудени състояния към други, също възбудени, при същата енергия. Може също така да се каже, че релаксационният процес се заключава в прехвърляне на енергията от едни (вътрешномолекулни) степени на свобода към други в стремеж да се достигне до равномерно (статистическо) разпределение на енергията по всички степени на свобода в молекулата (електронни и вибрационни). Тези съображения се отнасят както до електронните безизлъчвателни преходи, разглеждани тук, така и до вибрационната релаксация, за която ще стане дума по-късно, с една единствена разлика, че при нея енергията се разпределя само между вибрационните степени на свобода на молекулата (без изменение на електронното състояние).

3А. Вътрешна и интеркомбинационна конверсия.

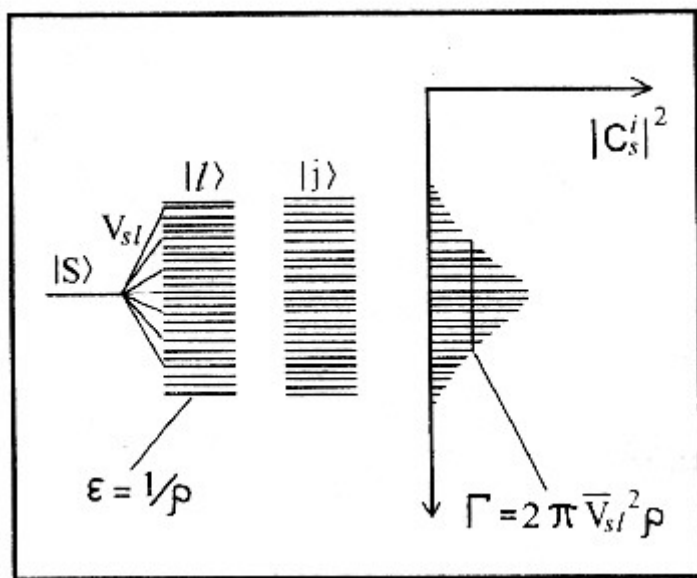
Доколкото в молекулите съществуват два вида електронни състояния (в зависимост от спина на електроните) - синглетни (S) и триплетни (T), то възможни са два типа електронни безизлъчвателни преходи: а) **Вътрешна конверсия** (ВК) - когато двете комбиниращи електронни състояния (S_0 и S_1) са с еднаква мултиплетност и преходът се дължи на неадиабатни взаимодействия, и б) **Интеркомбинационна конверсия** (ИКК) - когато двете електронни състояния са с различна мултиплетност (S и T) и преходът се дължи на спин-орбиталното взаимодействие.

3В. Преход от “светли” към “тъмни” състояния.

Основните принципи на теоретичното разглеждане на електронните безизлъчвателни процеси са следните [2,3] (Фиг.2). Молекулата в основно състояние може да погълне

квант УВ (или видимо) лъчение и да се засели вибронното състояние $|s\rangle$, принадлежащо на възбудено електронно състояние S_I (и съдържащо малко вибрационна енергия), благодарение на големите **Франк-Кондонови фактори**, т.е. голямо припокриване на вибрационните вълнови функции на началното и крайното състояние.

Поради това състоянието $|s\rangle$ се нарича "светло". Същевременно, поради неблагоприятните правила на отбор (много малки Франк-Кондонови фактори), заселването на гъсто разположените състояния $|l\rangle$ (съдържащи голяма вибрационна но малка електронна енергия) е невъзможно и затова те се наричат "тъмни". Обаче вибронното състояние $|s\rangle$ не е стационарно (не е собствено състояние на молекулния Хамилтониан H , също както и $|l\rangle$); $|s\rangle$ е свързано посредством матрични елементи $V_{sl} = \langle s|V|l\rangle$ на (неадиабатно или спин-орбитално) взаимодействие с известен брой изоенергетични състояния $|l\rangle$ (Фиг.3). Поради това първоначално възбуденото "светло" състояние $|s\rangle$ еволюира във времето. Безизлъчвателният процес се заключава именно в тази еволюция, при която става прехвърляне на заселеността от $|s\rangle$ към състоянията $\{|l\rangle\}$ (което означава прехвърляне на енергията от електронните към вибрационните степени на свобода в молекулата).



Фиг. 3.

Алтернативен подход в теорията на безизлъчвателните преходи може да се формулира в термините на стационарни състояния $|j\rangle$ (собствени състояния на Хамилтониана H), вместо нестационарните $|s\rangle$ и $|l\rangle$. Собствените състояния $|j\rangle$ на H в тази енергетична

област се получават като линейни комбинации от състоянията $|s\rangle$ и $\{|l\rangle\}$: $H|j\rangle = E_j |j\rangle$, $|j\rangle = c_s^j |s\rangle + \sum_l c_l^j |l\rangle$. Собствените състояния $|j\rangle$, попадащи в околността на $|s\rangle$, получават "светъл" принос $|c_s^j|^2$ от $|s\rangle$. При такова разглеждане се приема, че възбуждащият импулс е достатъчно широк спектрално и кратък във времето, че да засели едновременно (и кохерентно) всички собствени състояния $|j\rangle$, притежаващи съществен "светъл" принос $|c_s^j|^2$ (в действителност зависимостта $|c_s^j|^2$ от E_j представлява абсорбционният спектър на $|s\rangle$). При такава формулировка безизлъчвателният преход се заключава в последващата еволюция на така образуваният вълнов пакет. Характерът на протичащия релаксационен процес се определя от характерната (средната) сила на взаимодействието $\overline{V_{sl}}$ между $|s\rangle$ и състоянията $|l\rangle$ и от плътността ρ на състоянията $|l\rangle$. Оказва се, че релаксационното поведение се определя от съотношението на средното енергетично отстояние между съседни нива $|l\rangle$, $\varepsilon = \rho^{-1}$ и средната сила на взаимодействието $\overline{V_{sl}}$, т.е. от произведението $\rho \overline{V_{sl}}$. Различаваме три основни случая, в които се наблюдават три типа релаксационно поведение: (i) $\rho \overline{V_{sl}} \ll 1$ (взаимодействието е много слабо в сравнение с разстоянието ε между нивата) - релаксацията е невъзможна; (ii) $\rho \overline{V_{sl}} \cong 1$ (взаимодействието $\overline{V_{sl}}$ е сравнимо с ε - малък брой (5-10) състояния $|l\rangle$ участват във взаимодействието с $|s\rangle$) - наблюдават се осцилации в заселеността на $|s\rangle$ (квантови биения на флуоресценцията); (iii) $\rho \overline{V_{sl}} \gg 1$ (голям брой $[N=2\pi (\rho \overline{V_{sl}})^2]$ състояния $|l\rangle$ са ефективно свързани с $|s\rangle$) - релаксационният процес е статистически и протича експоненциално със скоростна константа K_{nr} , определена от т. нар. **Златно правило на Ферми**:

$$K_{nr} = \frac{1}{\tau_{nr}} = \frac{2\pi}{\hbar} \overline{V_{sl}}^2 \rho. \quad \text{----- (1)}$$

K_{nr} определя полуширината на абсорбционната ивица Γ , схематично показана на Фиг.3.

3С. Квантов добив на флуоресценцията.

Понеже флуоресценцията е възможна само от "светлото" състояние $|s\rangle$, но не и от тъмните $|l\rangle$, то интензитетът на излъчената след възбуждането флуоресценция $I(t)$

затихва експоненциално: $I(t) \sim \exp(-t / \tau_F)$, където $\tau_F = (K_{rad} + K_{nr})^{-1}$ е време за затихване на флуоресценцията, а K_{rad} - скоростна константа за радиационно затихване на състоянието $|S\rangle$.

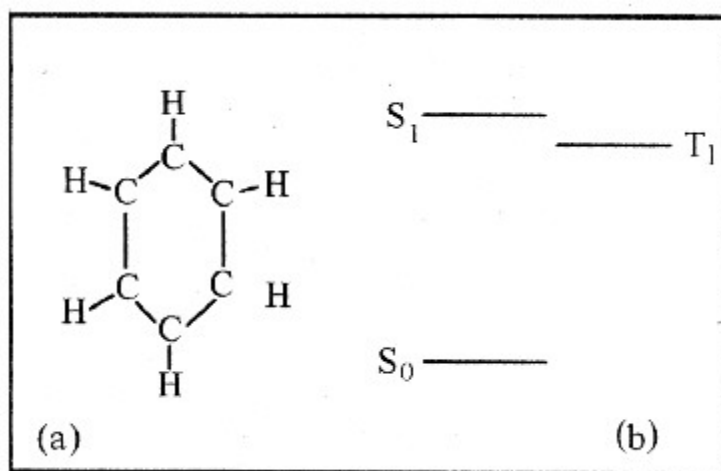
От експериментална гледна точка еволюцията (затихването) на възбуденото състояние $|S\rangle$ може да бъде характеризирано с две измерваеми величини: време на затихване на флуоресценцията $|I\rangle$ и **квантовия добив** на флуоресценцията ϕ_F , дефиниран като отношението на броя излъчени към броя погълнати кванти лъчение:

$$\phi_F = \frac{K_{rad}}{K_{rad} + K_{nr}}.$$
 След като са определени експериментално $|I\rangle$ и ϕ_F , от горните формули могат да се пресметнат константите K_{rad} и K_{nr} . Последната може да бъде сравнявана с теоретично пресметнатите стойности.

4. Безизлъчвателни преходи в бензол [3].

За да илюстрираме приложимостта на теоретичните принципи, скицирани по-горе, ще разгледаме някои конкретни релаксационни процеси, протичащи в изолираната бензолна молекула. Освен това тези процеси представляват значителен интерес сами по себе си.

Бензолът е една много важна за химията и химичната технология молекула, която освен това притежава цялото разнообразие от фотофизични процеси, характерни за многоатомните молекули. Бензолът е може би най-добре изучената органична молекула с използване на огромното разнообразие от методи на експерименталната и теоретична спектроскопия. Макар да е сравнително голяма молекула (12 атома, вж. Фиг. 4а), бензолът се характеризира с много висока симетрия, което опростява разглеждането. Поради това той често се използва като моделна система при изучаване на различни фотофизични процеси в многоатомните молекули.



Фиг. 4.

4А. По какъв начин релаксира възбуденото електронно състояние $S_1(^1B_{2u})$.

Един от най-интересните случаи на електронен безизлъчвателен преход е динамиката на първо синглетно електронно възбудено състояние $S_1(^1B_{2u})$ в бензол при енергия $E_{el} = 38\,086\text{ cm}^{-1}$ (Фиг. 4б). Фотофизичната картина на разпада много съществено зависи от това, какви вибронни състояния $|s\rangle$ (принадлежащи на S_1), се възбуждат първоначално. Състоянията с малка вибрационна енергия ($E_v < 3000\text{ cm}^{-1}$) притежават квантови добиви $\phi_F \approx 0,18$ и се характеризират с $K_{nr} \approx 4\ K_{rad} \approx 7 \cdot 10^6\text{ s}^{-1}$. С нарастване на вибрационната енергия обаче, за състояния $|s\rangle$ при около $E_v \approx 2500\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$, се наблюдава рязко (и модово селективно) нарастване на безизлъчвателните скоростни константи до стойности $\geq 10^9\text{ s}^{-1}$ и съответно квантовият добив на флуоресценцията рязко намалява до $\phi_F \approx 10^{-2}\text{--}10^{-3}$ (т.е. практически не се наблюдава флуоресценция, а всичката погълната енергия се трансформира във вибрационна). Възможните безизлъчвателни канали на разпад от електронно състояние $S_1(^1B_{2u})$ в бензол са два: а) вътрешна конверсия, която протича към основното електронно състояние S_0 (при разлика в електронните енергии $\Delta E \geq 38\,086\text{ cm}^{-1}$ и скоростна константа K_{BK}); б) интеркомбинационна конверсия, протичаща към триплетното състояние $T_1(^3B_{1u})$ ($\Delta E \geq 8000\text{ cm}^{-1}$, скоростна константа K_{IKK}).

4В. Тайнственият "трети канал".

Дълго време в литературата цареше всеобщото убеждение, че безизлъчвателният разпад на ниско разположените вибронни състояния $|s\rangle$ в S_1 бензол (при $E_v < 3000\text{ cm}^{-1}$) се дължи на интеркомбинационната конверсия $S_1 \rightarrow T_1$ (K_{IKK}). Това убеждение произлизаше от оценките, направени въз основа на тогавашното състояние на теорията на безизлъчвателните преходи, които показваха, че скоростните константи на вътрешна конверсия (K_{BK}) за прехода $S_1 \rightarrow S_0$ би трябвало да са изключително малки (поради твърде голямата енергетична разлика между двете електронни състояния, водеща до много малки Франк-Кондонови фактори), а K_{IKK} достатъчно големи (поради много по-малката ΔE между S_1 и T_1), т.е. $K_{BK} \ll K_{IKK}$.

Що се отнася до причината за бързото нарастване на безизлъчвателните скоростни константи на състоянията $|s\rangle$ при вибрационни енергии $E_v \geq 3000\text{ cm}^{-1}$, то произходът на този релаксационен канал дълго време оставаше пълна загадка и беше условно наречен в литературата "канал 3". ["Канал 1" - обозначава флуоресценция със скоростна константа K_{rad} , "канал 2" - интеркомбинационна конверсия $S_1 \rightarrow T_1$ (K_{IKK}).] Действително, изхождайки от тогавашното състояние на теорията на безизлъчвателните преходи, нямаше основание да се смята, че K_{IKK} ще нараства рязко с увеличаване на вибрационната енергия на състоянията E_v . А още по-малко че K_{BK} , която и без това се получаваше твърде малка, ще се ускори до такава степен с увеличаване на вибрационната енергия, че да надвиши всички останали канали на разпад на възбуденото състояние. Правени са опити да бъде обяснен бързият безизлъчвателен разпад "канал 3" с помощта на някои екзотични обратими фотохимични превръщания, за които обаче не бяха намерени никакви експериментални доказателства.

4С. Обяснението: вътрешна конверсия с ефективна плътност на вибрационните състояния.

Един възможен разумен отговор за фотофизичната дезактивация на състоянието $S_I(^1B_{2u})$ в бензол започна да се оформя, когато беше възприет нов подход за пресмятане на скоростните константи на вътрешна конверсия K_{BK} . Този подход се гради на диференцирано разглеждане на много гъсто разположените състояния $|I\rangle$, принадлежащи на вибрационния квазиконтинуум на основното електронно състояние S_0 , при високи вибрационни енергии, съответстващи на енергията на първоначално възбуденото състояние $|S\rangle$. (Общата плътност на тези състояния в бензол при такива високи вибрационни енергии е: $\rho \geq 10^{15}$ състояния/ cm^{-1} .) Внимателният анализ показва, че матричните елементи V_{sl} на взаимодействие между "светлото" състояние $|S\rangle$ и отделните "тъмни" $|I\rangle$ се различават твърде силно по големина (на порядъци). Пресмятанията показват, че само малка част от състоянията $|I\rangle$, с **ефективна** плътност $\rho_{\text{eff}} \approx 10^7$ състояния/ cm^{-1} , имат достатъчно големи матрични елементи V_{sl} , а останалите, които са огромното мнозинство, са пренебрежимо слабо свързани с $|S\rangle$. Поради това, ако се осредни V_{sl} по всички изоенергетични състояния $|I\rangle$, се получава твърде малка стойност за $\overline{V_{sl}}$, което е основната причина за малките стойности на K_{BK} , получавани с използване на формула (1). Ако обаче се пресметне ефективен среден матричен елемент на взаимодействие, използвайки само силно свързаните състояния (с ефективна плътност ρ_{eff}), то тогава се получава много по-голяма стойност $\overline{V_{sl(\text{eff})}}$, от която по формула (1) се получава реалистична оценка за K_{BK} , в добро съответствие с експерименталните данни за K_{nr} . Пресметнати по такъв начин, скоростните константи K_{BK} са напълно подходящи по порядък на величината, за да обяснят безизлъчвателния разпад на състояния $|S\rangle$ от S_I при ниски вибрационни енергии.

Нещо повече, могат да се направят съвсем прости оценки (въз основа само на вибрационните плътности), които показват, че интеркомбинационният процес $S_I \rightarrow T_I$ въобще не е осъществим в бензола. За да покажем това, разсъждаваме по следния начин. Както беше споменато по-горе, за по-ниските вибронни състояния в S_I бензол

$$K_{nr} = \frac{1}{\tau_{nr}} \approx 7 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}.$$

експериментално е получено: Това съответства на релаксационна ширина $\Gamma = K_{nr} \hbar \approx 4 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$. От друга страна теоретичната оценка за пълната вибрационна плътност на състоянията $|I\rangle$ (с необходимата симетрия като тази на $|S\rangle$, поради правилата на отбор по симетрия) дава $\rho_{B2u} \approx 4000$ състояния/ cm^{-1} , т.е. средно разстояние между съседните състояния $\varepsilon = 1/\rho_{B2u} \approx 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$. Вижда се, че

ε е около 10 пъти по-голямо от Γ_{nr} ; оттук (използвайки формулата $\Gamma_{nr} = 2\pi \overline{V_{sl}}^2 \rho$) лесно се получава $\overline{V_{sl}} \ll \varepsilon$, което съответства на случая $\rho \overline{V_{sl}} \ll 1$, при който е невъзможно протичането на безизлъчвателен процес (поради недостатъчната плътност на крайните състояния). За протичане на релаксационен процес със скоростна константа, като дадената по-горе, е необходима вибрационна плътност поне 10^6 състояния/ cm^{-1} , каквато в дадения случай липсва.

4D. Ролята на C-H валентните и на извънравнинните трептения.

По такъв начин би могло да се смята за окончателно доказано, че безизлъчвателният разпад на по-ниските вибронни състояния в електронно състояние $S_I(^1B_{2u})$ на бензол се дължи изключително на процеса вътрешна конверсия $S_I \rightarrow S_0$. Теоретичните изследвания на по-високо разположените вибронни състояния $|s\rangle$ показаха, че с увеличаване количеството вибрационна енергия E_v , при $E_v \geq 2500 \text{ cm}^{-1}$ (и особено при възбудени един или повече кванта от извънравнинните трептения на молекулата), скоростните константи на вътрешна конверсия K_{BK} рязко нарастват, което представлява едно удовлетворително обяснение на загадъчното явление "канал 3". По такъв начин се оказва, че процесът вътрешна конверсия е в състояние да обясни удовлетворително безизлъчвателния разпад на изолираната бензолна молекула от вибронни състояния $|s\rangle$ на електронно състояние $S_I(^1B_{2u})$, както при ниски, така и при високи вибрационни енергии E_v .

При протичане на вътрешна конверсия, освободената електронна енергия (равна на разликата в енергиите на начално и крайно електронни състояния на прехода), се превръща във вибрационна енергия на молекулата. Внимателният теоретичен анализ показва, че разпределението на тази енергия по вибрационните степени на свобода на молекулата е неравномерно. Преобладаващата част от освободената енергия (около 70 %) се поема от най-високочестотните C-H валентни трептения (с честоти $\approx 3000 \text{ cm}^{-1}$), т.е. възбуждат се предимно състояния, съдържащи високи обертонове на C-H валентните трептения, които изпълняват функцията на "акцептиращи" за съответния безизлъчвателен процес. Именно тези състояния образуват "ефективната" плътност

ρ_{eff} , която беше използвана по-горе при пресмятане на скоростите на вътрешна конверсия. Тези състояния се отличават от останалите по значителните матрични елементи на взаимодействие, които ги свързват със "светлото" състояние $|s\rangle$. А причината за тези особено големи матрични елементи е в C-H валентните трептения – в техните високи честоти и много силни анхармоничности, които водят до големи Франк-Кондонови фактори. По такъв начин, непосредствено след протичане на бързия преход на вътрешна конверсия, разпределението на енергията по вибрационните степени на свобода е силно неравновесно (нестатистическо). Това дава основание да се очаква, че процесът на вътрешна конверсия ще бъде последван от процес на преразпределение на вибрационната енергия в молекулата - пренос на енергията от C-H валентните трептения към останалите (по-нискочестотни) трептения. Това е така наречената **вътрешно-молекулна вибрационна релаксация**, която ще бъде кратко разгледана в следващата част на този обзор.

5. Вътрешно-молекулна вибрационна релаксация [5].

Втори фундаментален тип релаксационни процеси в изолирани многоатомни молекули са процесите на преразпределение на енергията между вибрационните степени на свобода на молекулата. Най-общо казано явлението се състои в следното. Нека в началния момент молекулата се намира в някакво (неравновесно) вибрационно състояние, при което цялата вибрационна енергия е концентрирана в една обособена група атоми на молекулата. В следващите моменти започва самопроизволно предаване (преразпределение) на енергията към други групи атоми, които ще затрептят, макар първоначално да не са били възбудени. Възможността за такова прехвърляне на вибрационната енергия от едни към други части на молекулата (което се стреми да установи равномерно, статистическо разпределение на вибрационната енергия), се дължи на нелинейните (анхармоничните) взаимодействия, които свързват различните трептения в една молекула. За разлика от електронния безизлъчвателен преход, тук процесът протича в границите на потенциалната повърхност на едно определено електронно състояние.

5А. Парадокс на Ферми-Паста-Улам (ФПУ).

Математичното разглеждане на основните принципи на вътрешномолекулната вибрационна релаксация се съдържа в теорията на хаоса, която получи съществено развитие през втората половина на този век. Един от централните въпроси в теорията на хаоса може да се представи по следния начин. Имаме една интегрируема система от N линейни осцилатори, описвана с Хамилтониан H_0 . Известно е, че нейната динамика е (квази) периодична и се определя от честотите ω_k на нормалните моди на системата. Нека добавим към системата H_0 един неинтегрируем член V , съдържащ слаби нелинейни връзки между осцилаторите. Въпросът се състои в това дали новата система, описвана с Хамилтониан $H = H_0 + V$, ще продължи да еволюира квазипериодично или пък ще придобие съвсем нови свойства – ергодичност и ще се развива по статистическите закони.

До към средата на века, в съответствие с по-ранните работи на Поанкаре и теоремата на Ферми, беше разпространено общото убеждение, че при наличието на достатъчно голям брой осцилатори N , след включването на макар и много малка пертурбация V , системата ще прекрати своята периодична динамика и ще започне да се развива по статистическите закони, стремейки се към своето равновесно състояние. С други думи смяташе се, че въвеждането на произволно слаби нелинейни връзки между осцилаторите на системата я довежда до ергодично поведение – т.е. състоянието на системата ще обхожда последователно всички точки от нейното фазово пространство без рекурентности (т.е. връщане към началното състояние).

През 1955 г. Ферми, Паста и Улам (ФПУ) се опитаха да проверят това твърдение на примера на една моделна верига едномерни осцилатори със слаби нелинейни връзки помежду си. Техните числени изследвания (извършени на съвсем новия за онова време компютър MANIAC-I в Лос Аламос) обаче, дават отрицателен резултат – енергията на възбуждане не показва тенденция към равновесно (статистическо) разпределение по нормалните моди на системата. Причината за тази обезпокоителна липса на ергодичност на системата нелинейно свързани осцилатори е обяснена от Форд през

1961 г. въз основа на формулираната от Колмогоров и доказана от Арнолд и Мозер теорема (КАМ). Форд показва, че на системата ФПУ ѝ липсва едно основно свойство, необходимо за поделяне (преразпределяне) на енергията между нормалните моди, а именно активни нелинейни резонанси на нормалните честоти ω_k , наричани “вътрешни” или “Ферми” резонанси (цели съотношения между честотите на системата).

Според теоремата на Колмогоров-Арнолд-Мозер условието за ергодичност на интегрируема система осцилатори под действието на малка нелинейна пертурбация V е наличието на “припокриващи се резонанси”, т.е. приблизителна линейна зависимост на

нормалните честоти ω_k на осцилаторите:
$$\sum_{k=1}^N n_k \omega_k \approx 0$$
 (където n_i са не прекалено големи цели числа). Ако това условие не е в сила за системата H_0 , то въвеждането на добавката V несъществено пертурбира честотите на системата и предизвиква възникването на слаби хармоники на основните честоти ω_k . Когато обаче условието е спазено достатъчно точно, малката нелинейна пертурбация V предизвиква патологични изменения в еволюцията на интегрируемата система H_0 , водещи я до ергодичност и статистическо поведение.

5В. От какво зависят скоростите на вибрационна релаксация.

Изходен пункт за теоретичното разглеждане на вибрационната релаксация (което концептуално е подобно на теорията на електронните безизлъчвателни преходи) е общият вид на вибрационно-ротационния Хамилтониан на молекулата [1] H , представен във вида: $H = H_0 + V$. Построява се базис от вибрационни вълнови функции (обикновено хармонични), които са собствени функции на H_0 . Между базисните състояния съществуват матрични елементи на взаимодействие, което се съдържа във V . Основният тип взаимодействия, предизвикващи вибрационната релаксация, са анхармоничните - поради анхармоничността на електронната потенциална повърхност. Другият тип взаимодействия, съдържащи се във V и предизвикващи релаксация, са вибрационно-ротационните - Кориолисови и центробежни.

Процесите на вибрационна релаксация обикновено са много бързи (суб-пикосекундни). Техните скоростни константи и други характеристики много силно зависят от големината на молекулата (броя вибрационни степени на свобода $3N-6$), а също и от вибрационната енергия на възбуждане E_v . Релаксационните скоростни константи силно нарастват с увеличаване големината на молекулата и особено с нарастване на вибрационната енергия E_v . Поради голямата сложност на проблема засега всички експериментални и теоретични изследвания на вибрационната релаксация се правят върху сравнително малки молекули и при неголеми вибрационни енергии E_v . Най-голям интерес обаче представлява поведението на силно вибрационно възбудените молекули - при големи E_v . Интересът към такива обекти идва от една страна от общата теория на нелинейните системи с много степени на свобода и изучаването на свързаните с тях явления като ергодичност, хаос и др. От друга страна областта на големи E_v е най-интересната за химията - за теорията на мономолекулните реакции (дисоциация и изомеризация). Действително, с увеличаване вибрационното възбуждане E_v на една молекула се достига до границата на дисоциация D на някоя от връзките в

молекулата [или се надвишава потенциалния бариер за прегрупиране на атомите (изомеризация)] и тогава протича мономолекулна реакция.

5С. Лазерно управляеми химични реакции.

Съвременната теория на мономолекулните реакции се основава на предположението, че при високи стойности на вибрационната енергия E_v , независимо от начина на възбуждане, вътрешномолекулната вибрационна релаксация е изключително бърза и вибрационната енергия практически мигновено се разпределя равномерно по всички вибрационни степени на свобода. От това следва, че независимо от вида на възбуждането (лазерно, топлинно и др.), винаги първа ще дисоциира най-слабата връзка в молекулата, т.е. тази с най-малка енергия на дисоциация D . През последните две десетилетия обаче се появиха някои както експериментални, така и теоретични резултати, които дават надежда, че при определени условия е възможно да се осъществи селективно възбуждане на молекули. Ако действително се окаже възможно да бъде възбудена определена група от атоми в молекулата до високи вибрационни енергии, т.е. енергията да се концентрира в определена сравнително изолирана част на молекулата, то би могло да се очаква, че дисоциацията ще настъпи между атомите на тази група, преди енергията на възбуждане да се е разпространила статистически по цялата молекула. Търсенето на възможности за осъществяване на такива управляеми (модово селективни) химични реакции е най-важният стимул за продължаване на изследванията върху вибрационна релаксация във високовъзбудени молекули, каквито понастоящем се провеждат интензивно в значителен брой лаборатории по света.

Съвременните лазери са в състояние да осигурят много големи мощности, много кратки импулси, в много тесен спектрален интервал. Поради това те биха могли по принцип да осъществят възбуждане само на определени части (връзки) в молекулата, като останалите части останат невъзбудени. Надеждата е, че с помощта на достатъчно къси и мощни лазерни импулси (или комбинации от импулси), настроени на специфични за молекулата резонансни честоти, ще бъде възможно да се заобиколят статистическите закони и да се разкъса молекулата на точно определено, предварително избрано място.

Признателност: Авторът е дълбоко благодарен на Михаил Бушев и на Людмила Кънчева, които неколkokратно прочетоха ръкописа и дадоха много полезни препоръки и предложения. Благодарение на тяхната помощ статията се промени и подобри твърде силно.

Литература

1. E. Wilson, J. Decius, P. Cross, "Molecular Vibrations" (Mc Graw-Hill, New York, 1955).
2. P. Avouris, W. Gelbart and M. El-Sayed, Chem. Revs., vol.77, p.793 (1977).
3. M. Bixon and J. Jortner. J. Chem. Phys., vol. 48, p. 715 (1968).
4. C. Parmenter, Advan. Chem. Phys., vol. 22, p. 365 (1972).
5. T. Uzer, Phys. Repts., vol. 199, p. 73 (1991).

УСКОРИТЕЛНИЯТ КОМПЛЕКС НА CERN

Д. Динев, д-р, ст.н.с. в ИЯИЯЕ - БАН

1. CERN - ЕВРОПЕЙСКАТА ОРГАНИЗАЦИЯ ЗА ЯДРЕНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

След приемането през миналата година на България за член на CERN интересът към тази международна научна организация нарасна.

CERN е Европейската организация за ядрени изследвания.

За първи път идеята за създаването на европейски научен център е изказана през 1949 г. от L. de Broglie на Европейската културна конференция в Лозана. През 1952 г. единадесет европейски страни създават Conseil Europeen pour la Recherche Nucleaire - CERN. На срещата на CERN в Амстердам за място на бъдещата лаборатория е избрана площадка близо до Женева.

На 29.09.1954 г. дванадесет европейски страни подписват договор за създаването на Европейската организация за ядрени изследвания - CERN.

Днес в CERN членуват 20 страни. Последната засега страна, приета за член на CERN, е България. Сред страните членки са и Полша, Чехия, Словакия и Унгария. САЩ, Япония и Русия също активно сътрудничат с CERN. Те имат статут на страни - наблюдатели.

Лабораториите на CERN са разположени край Женева и днес се разпростират върху територии, принадлежащи на две държави - Швейцария и Франция.

Историята на CERN е до голяма степен историята на създаването и развитието на уникалния комплекс на CERN от ускорители на частици. Именно ускорителите станаха онези уникални инструменти, които позволиха успешното проникване в тайните на микросвета.

2. УСКОРИТЕЛНИЯТ КОМПЛЕКС НА CERN

А. Синхроциклотрон

През 1957 г. влиза в действие първият ускорител на CERN - 600 MeV синхроциклотрон. На този ускорител за първи път е наблюдавано разпадането на пиони на електрони и неутрино. По-късно ускорителят се използва за изследвания по ядрена физика. Закрит е през 1992 г.

В. CPS

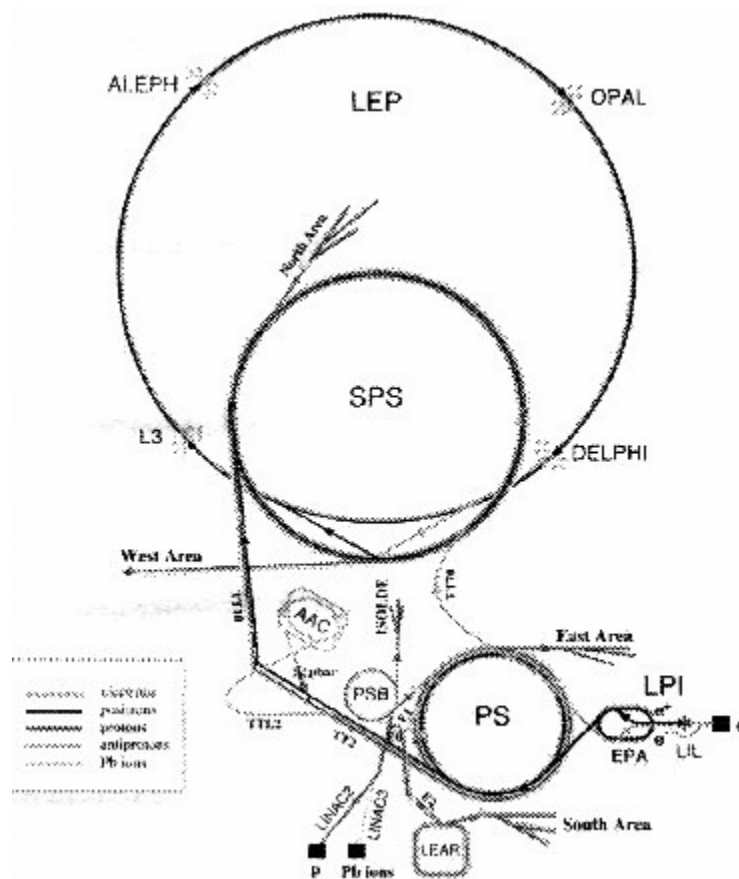
През 1952 г. Съветът на CERN излиза със смело предложение да се построи протонен синхротрон с енергия 10 - 20 GeV въпреки липсата на какъвто и да е опит в

строителството на големи ускорители. Първоначално се е смятало това да е машабно копие на току що влезият в действие протонен синхротрон за 3 GeV Cosmotron в Brookhaven, САЩ. Ускорителят в Brookhaven е една слабо фокусираща машина. Той използва за удържане на протоните върху кръгова орбита електромагнити със С-образен магнитопровод и слаб градиент на магнитното поле. Такива електромагнити имат фокусиращо действие върху протоните, необходимо за формирането на сноп ускорени частици. Фокусиращата сила обаче е малка и сечението на снопа е относително голямо – $20 \times 60 \text{ cm}^2$ в Cosmotron. Необходими са следователно големи и скъпи електромагнити. През същата 1952 г. един от пионерите на ускорителната техника S. Livingston предлага да се разгледа възможността в синхротроните да се използват С-образни електромагнити с редуваща се полярност на градиента. При тази конфигурация ако единият електромагнит има фокусиращо действие, то следващият ще има дефокусиращо действие, но общият ефект ще бъде фокусиране на частиците около равновесната орбита. Теоретическият анализ на това предложение е направен от E. Courant и H. Snyder, които показват, че такъв тип ускорител, наречен силно фокусиращ, може да свее ускорявания сноп частици до няколко сантиметра. С това значително се намаляват размерите на вакуумната камера и размерите и цената на електромагнитите на ускорителя.

В CERN за ръководител на строителството на протонния синхротрон е назначен F. Goward. F. Goward е човекът построил първия в света синхротрон за електрони с енергия 14 MeV. Това става в Harwell, Великобритания през 1946 г. Той бързо оценява достоинства на новия тип силно фокусиращи ускорители и излиза с предложение протонният синхротрон в CERN да бъде построен по тази нова технология. Неговата настойчивост води в крайна сметка до едно от най-важните решения на Съвета на CERN - да се построи силно фокусиращ протонен синхротрон с максимална енергия 28 GeV. Началото на строителството е през 1955 г. Ускорителят има диаметър 200 m и е разположен в подземен тунел с размери $6 \times 6 \text{ m}^2$. На 24.10.1959 г. е получен първият сноп от 10^{10} protons/pulse с енергия 24 GeV. Новият ускорител е наречен Cern Proton Synchrotron - CPS. През 1963 г. CPS е оборудван със система за извеждане на снопа чрез възбуждане на резонанс в движението на протоните, т.н. бавен извод. Това значително разширява възможностите на машината за провеждането на експерименти.

Създаването на високоефективния резонансен извод на протоните позволи развитието на неутринни експерименти на CPS. През 1963 г. с мехурчеста камера са регистрирани първите неутринни взаимодействия.

През 1973 г. е направено едно от важните открития във физиката на високите енергии - това на неутралните токове. Това откритие даде силна подкрепа за новосъздаващата се електрослаба теория.



Фиг. 1. Ускорителният комплекс на CERN

Сериозно ограничение обаче остава относително ниската интензивност на сноповете. За нейното увеличаване пречат силите на кулоново отблъскване между протоните, които при голяма интензивност водят до разрушаването на снопа. Този ефект е от значение при инжекцията на частиците в ускорителя, когато техните скорости са малки. Необходимо е да се повиши енергията на инжекция. За тази цел през 1968 - 1972 гг. в CERN се създава малък синхротрон-инжектор, т.н. бустерен ускорител. Той е наречен Proton Synchrotron Booster - PSB. PSB има диаметър 50 m и се състои от четири еднакви пръстена, разположени един над друг. Всеки пръстен има периметър равен на 1/4 от дължината на орбитата на CPS. В PSB протони с енергия 50 MeV, идващи от линейен ускорител, се доускоряват до 800 MeV, след което се инжектират в CPS. С влизането в действие на PSB интензивността на протонния снап в CPS е увеличена и днес тя достига $3 \cdot 10^{13}$ protons/pulse.

C. ISR

През 60-те години, след пионерските работи на научното обединение на американските университети от средния запад MURA, вниманието на физиците се насочва към натрупването на интензивни снопове електрони в т.н. натрупвателни пръстени (storage rings). Натрупвателните пръстени откриват нови хоризонти пред експеримента и в частност възможността за осъществяването на достатъчен брой стълкновения на насрещно движещи се снопове, при което енергията на взаимодействие нараства

многократно. По-точно един ускорител с насрещни снопове или колайдър (collider) има енергия на взаимодействие $2T/E_0$ пъти по-голяма от съответния ускорител с неподвижна мишена, където T е кинетическата енергия на частиците и E_0 е енергията им в покой.

Отначало и CERN проявява интерес към натрупването на електрони. Построен е електронен синхротрон за 100 MeV и натрупвателния пръстен CESAR.

И тук идва историческото предложение на V. Weisskopf, тогава Генерален директор на CERN, да се построи 25 x 25 GeV протон-протонен колайдър.

По това време натрупването и сблъскването на високоинтензивни адронни снопове е напълно неизучена територия. Предложението получава решаваща подкрепа на Европейската комисия за бъдещи ускорители ECFA и на тогавашния и председател E. Amaldi.

Трябва да се преодолеят редица технически предизвикателства - подържането на висок вакуум в ускорителя ($< 10^{-12}$ torr), преборването с многобройните нестабилности в движението на частиците, които се проявяват при голяма интензивност на снопа, фокусирането на двата насрещни снопа в зоната на удара до изключително малки размери (2 mm) с помощта на много силни свръхпроводящи магнитни лещи (т.н. low- β секции), за да се получат достатъчно голям брой събития (голяма светимост).

Строителството на Intersecting Storage Rings - ISR започва през 1968 г., а първият сноп е ускорен през 1971 г. ISR е протон-протонен колайдър с енергия 31,4 GeV на сноп. Състои се от два пръстена с диаметър 700 m. В ISR са натрупани 52 A на сноп и е постигната светимост $L = 0,85 \cdot 10^{31} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Натрупаният при експлоатацията на ISR опит е безценен за бъдещото развитие на CERN.

В ISR за първи път са наблюдавани ефекти свързани с кварковата структура на протона. За първи път е наблюдавано раждането на частици с голям напречен импулс - първо доказателство за съществуването на точкови силновзаимодействащи съставляващи протона частици (кварки и глюони). През 1978 г. за първи път е наблюдавано раждането на фотони при големи ъгли - индикация за кварк-глюонни процеси във взаимодействащите протони.

Може да се каже, че с ISR започва ерата на колайдърите, които разшириха неимоверно възможностите на ускорителите с неподвижна мишена.

През 1984 г. ISR е затворен поради започването на строителството на гигантския ускорител LEP.

D. SPS

През 1963 г. ECFA препоръчва в Европа да се построи протонен ускорител за много висока енергия, а през следващата година в CERN е подготвен идейният проект на протонен синхротрон за 300 GeV.

Първоначално се предвижда създаването на нова лаборатория на съвсем ново място и са предложени 22 подходящи площадки. Тук идват трудности от финансов и

политически характер. Първо Германия подлага първоначалния проект, който всъщност е едно мащабно копие на CPS, на унищожителна критика. Предлага се да се възприеме наскоро предложението от R. Wilson синхротрон с разделени функции. В този тип ускорител удържането на частиците върху кръгова орбита се осъществява от магнити с еднородно поле, а фокусирането им към равновесната орбита от магнитни квадруполни лещи. Такава конструкция допуска работа при по-висока индукция на магнитното поле, т.е. ще са необходими по-малки размери на ускорителя. Освен това самите магнити имат по-проста конструкция и са по-евтини.

Следва втори удар - Великобритания се отказва от поддръжка на проекта. В опит да се изгладят противоречията Съветът на CERN назначава англичанина J. Adams за ръководител на проекта.

J. Adams е една от ключовите фигури в историята на CERN. Любопитно е, че няма завършено висше образование. Учил е в Eltham College, но не успява да го завърши поради липса на средства. По-късно работи в Harwell върху построяването на 18 MeV синхроциклотрон. През 1953 г. се премества в CERN, където скоро проявява своята изключителна квалификация и способност да обединява големи научни колективи за постигането на една цел. За тези си качества е определен за ръководител на строителството на CPS.

Най-голямото препятствие пред новия ускорител възниква когато Германия заявява, че ще подкрепи проекта само ако новата лаборатория е разположена на нейна територия.

Изход от тази заплетена ситуация намира J. Adams. През 1970 г. той предлага новият ускорител да се построи на вече съществуващата площадка на CERN като максимално се използва съществуващото експериментално оборудване и инфраструктура и CPS като инжектор. С изключително дипломатическо умение J. Adams успява да убеди различните страни в перспективността на предложението и през 1971 г. Съветът на CERN одобрява построяването на новият Super Proton Synchrotron - SPS.



Фиг. 2. Протонният синхротрон SPS

Тъй като по онова време технологията за производство на свръхпроводящи магнити още не е добре развита, се решава в новия ускорител да се използват стандартни електромагнити с индукция 1,8 Т. Това определя и размера на ускорителя - диаметър 2,2 km. Първият сноп е получен на 17.06.1976 г. SPS е протонен ускорител за енергия 450 GeV. Получена е интензивност $2,5 \cdot 10^{13}$ proton/pulse.

Големият урок на SPS е, че новите големи ускорители трябва да се строят близо до вече съществуващи лаборатории, за да се използва максимално съществуващата инфраструктура и съоръжения. Това значително поевтинява проекта. Може би съдбата на 20 TeV-ния супер колайдър SSC в САЩ нямаше да бъде толкова нещастна, ако вместо на свършено ново място в Тексас беше взето решение той да се строи във Fermilab.

Е. Протон-антипротонния колайдър

В началото на 70-те години в CERN е направено едно от важните открития във физиката на ускорителите - това на стохастическото охлаждане. Методът на стохастическото охлаждане е предложен през 1968 г. от S. van der Meer и през 1975 г. неговата работоспособност е демонстрирана в ISR. Построен е малък експериментален ускорител Initial Cooling Experiment - ICE за изучаване и оптимизиране на този метод.

Целта на стохастическото охлаждане е да се създадат снопове ускорени частици с много висока плътност и с много тясно разпределение по енергии. Това е от изключителна важност за ускорителите с насрещни снопове - колайдърите, в които броят на регистрираните събития е правопрпорционален на броя частици във всеки сноп, на честотата, с която частиците се въртят в ускорителя и е обратнопропорционален на сечението на сноповете. Колайдърите се характеризират с т.н. светимост L -коефициента на пропорционалност между сечението на изследвания процес и броя на регистрираните събития в секунда - $N = L\sigma$. Светимостта се измерва в единици $\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

В метода на стохастическото охлаждане с помощта на специални детектори т.н. Schottky pickup се измерват случайните флуктуации в положението на центъра на тежестта на тънък резен от снопа. След това сигнал се изпраща напреко на пръстена към коригиращи устройства, т.н. kickers, в които с помощта на електрическо поле с подходяща сила се коригира до нула отклонението на центъра на тежестта на същата част от снопа. Този процес се повтаря милиони пъти и води до формирането на много тънък сноп с висока монохроматичност.

Разработването на стохастическото охлаждане е онази решаваща стъпка, която позволи създаването на адронни колайдъри Тази техника позволи натрупването на интензивни снопове от адрони с висока плътност и висока енергетическа еднородност.

За създаването на стохастическото охлаждане S. van der Meer получи Нобелова награда по физика за 1984 г.

През 1976 г. C. Rubbia излиза със своето знаменито революционно предложение да се превърне протонният ускорител с неподвижна мишена SPS в протон-антипротонен колайдър. Предложението се базира върху постигнатите успехи със стохастическото

охлаждане. Именно охлаждането позволява натрупването на достатъчно интензивни снопове от антипротони.

Антипротони се раждат при облъчването на метална мишена с високоенергетични протони. За съжаление добивът на антипротоните е много нисък - един антипротон се ражда средно на $2 \cdot 10^6$ протона. Антипротоните се раждат в много широк диапазон от енергии и ъгли и не са годни за по-нататъшно ускоряване. Тук помага стохастическото охлаждане, което позволява енергията на антипротоните да се концентрира около зададена стойност и силно да се намали ъгловата разходимост. След охлаждане антипротоните могат вече успешно да се натрупват и ускоряват.

C. Rubbia предлага да се създаде нов натрупвателен пръстен, т.н. Antiproton Accumulator - AA, в който антипротоните да се натрупват и охлаждат. За около половин ден (30000 импулса на CPS) в AA могат да се натрупат $6 \cdot 10^{11}$ антипротона.

След това антипротоните се доускоряват в CPS до 26 GeV и се инжектират в SPS. В SPS протоните и антипротоните се движат в противоположни посоки и се ускоряват до 270 GeV.

C. Rubbia предлага да се изградят две точки на удари на p и $\bar{p}$ снопове.

Енергията на взаимодействие в SCM е 540 GeV.

Тази енергия не е избрана случайно. Тя е необходима за раждането на носителите на слабото взаимодействие – W и Z бозоните. Именно потвърждаването на електрослабата теория е основната цел на предложението на C. Rubbia.

По това време CERN драматично се е нуждаел от значително (историческо) откритие, за да се оправдаят многогодишните усилия и големите финансови разходи.

C. Rubbia с изключителна настойчивост успява да убеди ръководството на CERN в осъществимостта на проекта. Именно C. Rubbia е движещата сила на проекта и на последвалото откриване на W и Z бозоните.

На 6.12.1983 г. в експеримента UA1 са регистрирани първите $p\text{-}\bar{p}$ удари, а на 12.01.1983 г. са получени първите доказателства за раждането на W бозони с маса около 80 GeV. По-късно, на 1.06.1983 г., е открит и Z бозона с маса около 90 GeV.

За реализирането на протон-антипротонния проект и за откриването на W и Z бозоните C. Rubbia е удостоен с Нобелова награда за физика за 1984 г.

F. LEP

През 1981 г. Съветът на CERN одобрява строителството на нов гигантски по своите размери ускорител - Large Electron Positron collider - LEP.

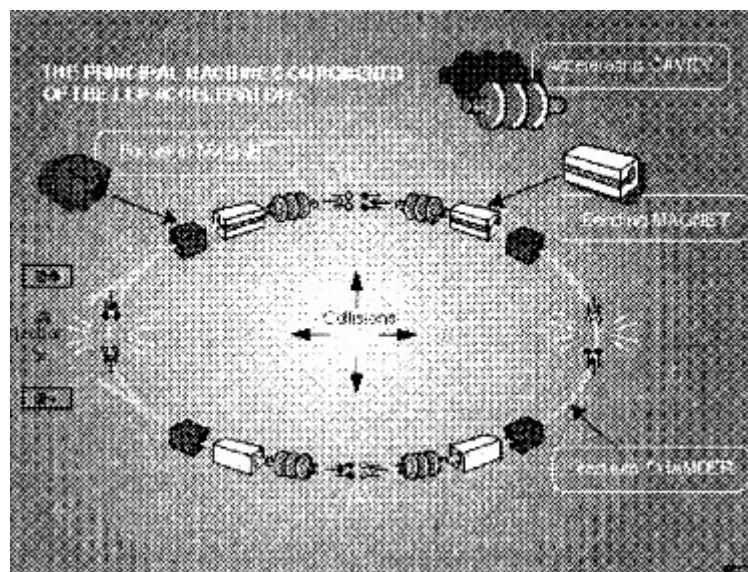
Предложението за строителство в CERN на електрон-позитронен колайдър се заражда в края на 70-те години, а през 1980 г. е готов и идейният проект за 22 - 130 GeV e^-e^+ колайдър.

Адронните колайдъри могат да дадат важна информация за поведението на кварките и глюоните. Получените от тях данни обаче са по-трудни за интерпретиране поради трикварковата структура на адроните. Освен това да се отговори на въпросите на електрослабата теория пречи доминиращото влияние на силното взаимодействие.

Електрон-позитронните колайдъри предлагат по-чисти условия за раждане и прецизно изучаване на W и Z бозоните. В допълнение LEP може да хвърли светлина върху съществуването на Higgs бозоните.

Основна пречка при циклическите електрон-позитронни колайдъри е много мощното синхротронно лъчение. Проблемът е, че при движение по кръгова орбита електроните и позитроните изпитват голямо центростремително ускорение и в съответствие със законите на електродинамиката излъчват електромагнитни вълни - синхротронно лъчение (СЛ). Мощността на СЛ е обратнопропорционална на четвъртата степен на масата на частиците и е от практическо значение само при леки частици, каквито са електроните и позитроните.

Мощността на СЛ е пропорционална на четвъртата степен на енергията и обратнопропорционална на радиуса на орбитата. За намаляване на тази мощност радиусът на LEP е избран много голям – 4,2 km, а магнитното поле в завъртащите електромагнити е необичайно ниско – 0,123 T. И въпреки това мощността на СЛ в LEP достига 25 MW при 86 GeV.



Фиг. 3. Електрон-позитронният колайдър LEP

Началото на строителството на LEP е през 1983 г., а първи e^-e^+ стълквения са регистрирани през 1989 г. Ускорителят е разположен в подземен тунел с дължина 27 km.

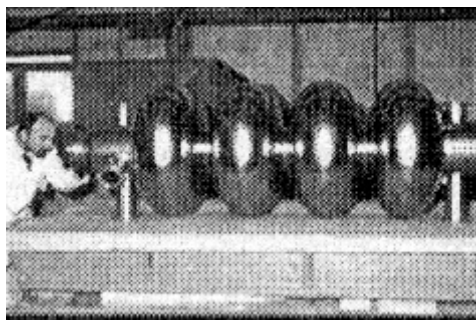
Работата на LEP изисква сериозна модификация на вече съществуващите ускорители. Построен е нов линейен ускорител за 200 MeV електрони. Позитроните се получават при облъчването с електрони на метална мишена. Електроните и позитроните се натрупват в Electron Positron Accumulator - EPA, където се доускоряват до 600 MeV. След това те се ускоряват последователно в CPS и SPS до 20 GeV и се инжектират в LEP. В LEP електроните и позитроните се движат в противоположни посоки и се сблъскват в четири точки, в които са разположени детекторите.

Във вакуумната камера на колайдъра се поддържа вакуум $8 \cdot 10^{-12}$ torr. Светимостта на колайдъра е $L = 5,6 \cdot 10^{31} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, а размерът на снопа е $200 \text{ } \mu\text{m} \times 3,5 \text{ } \mu\text{m}$.

LEP има два етапа. LEP1 работи при 50 GeV на сноп. За ускоряването на електроните и позитроните и покриването на загубите за СЛ се използват медни обемни резонатори.

Енергия 100 GeV в SCM е достатъчна за раждането на Z бозони.

За W бозони, които се раждат в двойка с противоположен електрически заряд, е необходима енергия 200 GeV в SCM.



Фиг. 4. Свръхпроводящият ускоряващ резонатор на LEP

Още през 1981 г. J. Adams с легендарната си способност за предвиждане на правилното решение предлага резонаторите на LEP да се заменят със свръхпроводящи резонатори.

Свръхпроводящите резонатори имат 10^5 пъти по-ниски загуби и много по-висок ускоряващ градиент. В CERN е разработен сферичен резонатор от ниобий, работещ при температура 4,5 K. Честотата на ускоряващото електрическо поле в резонатора е 352 Mhz, а ускоряващият градиент е 6 MV/m.

Започва постепенна подмяна на медните резонатори на LEP със свръхпроводящи. През миналата година бяха инсталирани 288 свръхпроводящи резонатора и енергията на LEP беше повдигната до 100 GeV на сноп.

G. LEP

През 1983 г. в CERN е построен малък натрупвателен пръстен за антипротони, т.н. Low Energy Antiproton Ring - LEAR.

Схемата, по която работи ускорителят е следната: първоначално антипротоните, които се раждат при облъчването на метална мишена с протони и които имат енергия 3,5 GeV, се инжектират обратно в CPS, където се забавят до 600 MeV. Така забавените антипротони се натрупват в LEAR, където се охлаждат.

LEAR внася цяла поредица от важни нововъведения в областта на ускорителната физика. Сред тях може би най-важното е създаването на т.н. свръхбавен извод - метод за резонансно извеждане на частиците от ускорителя, при който частиците се подвеждат към резонанса от генератор на високочестотен случаен шум. Изводът на снопа е разтеглен до много минути и дори часове. Реализирано е дори извеждането на само един антипротон за оборот.

През 1966 г. в LEAR за първи път е получен антиводород. Синтезирането на екзотични атоми, в които един орбитален електрон е заместен с антипротон, става една от приоритетните задачи на LEAR. Друга важна задача е изучаването на механизма на нарушаване на комбинираната четност (CP).

През 1996 г. LEAR е затворен за преоборудване в Low Energy Ion Ring - LEIR - важна част от комплекса на CERN за ускоряване на тежки йони.

H. AD

След затварянето на LEAR за изучаването на екзотични атоми е създаден нов малък ускорител Antiproton Decelerator - AD.

AD има диаметър 54 m и започва работа през 1998 г.

В него антипротоните се забавят до много ниската енергия 5,31 MeV.

В AD ще се изучават т.н. антипротонни атоми-атоми, в които един орбитален електрон е заменен с антипротон и на т.н. протониум - система от “ядрен” протон и “орбитален” антипротон. Протониумът е най-простата двучастична система от силновзаимодействащи частици. Такива системи имат достатъчно дълго време на живот ($\sim$ ms), за да могат да се изучават с помощта на методите на лазерната спектроскопия.

I. ISOLDE

ISOLDE е on-line изотопен сепаратор, който вече 30 г. работи в CERN, първоначално в синхроциклотрона, а от 1992 г. върху бустерния ускорител PSB. Той позволява произвеждането на над 600 изотопа на 70 елемента.

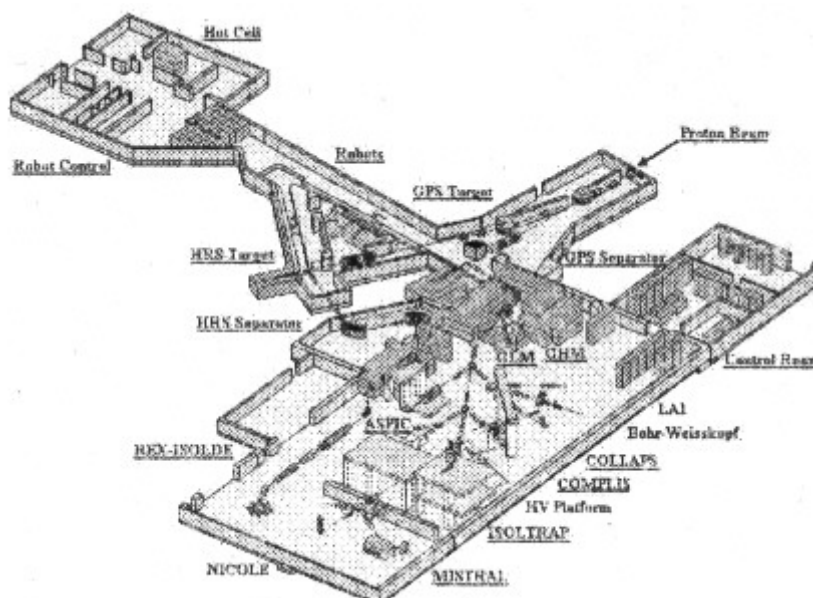
Сърцето на ISOLDE е мишенната станция, в която 1,4 GeV протони от PSB произвеждат изотопи. Тези изотопи, които представляват интерес, след това се извличат, йонизират, сепарират и доускоряват за използване в различни експерименти.

В процес на реализация е Radioactive beam EXperiment at ISOLDE - REX-ISOLDE.

В REX-ISOLDE първоначално изотопите в мишената, които представляват интерес, се йонизират избирателно от лазерен йонен източник и се захващат от магнитното поле на т.н. Penning trap. В този магнитен капан се формира плътен сгъстък от йони - bunch. Банчираният сноп след това попада в т.н. EBIS йонен източник, където първоначално еднозарядните йони се дойонизират до многозарядни йони.

Създаването на импулсен сноп от многозарядни йони е важно, за да могат след това йоните да се ускоряват без големи загуби, например от линеен ускорител. В REX-ISOLDE се очаква ефективност 10%.

Снопове от изотопи с необичайно отношение неутрони/протони могат да помогнат много в решаването на редица фундаментални въпроси на ядрената физика. Освен за изследване на ядрената структура радиоактивните снопове намират интересни приложения и във физиката на твърдото тяло, физиката на полупроводниците и за биомедицински изследвания.



Фиг. 5. On-line изотопният сепаратор ISOLDE

J. ТЕЖКИ ЙОНИ

В CERN освен адрони и лептони се ускоряват и тежки йони. За първи път през 1986 г. кислородни ядра се ускоряват в SPS. От 1994 г. се ускоряват оловни йони.

Схемата е следната. Оловни йони със зарядност $30+$ и ток $100 \mu A$ се получават от ECR йонен източник. След това те се сепарират и се ускоряват последователно в два линейни ускорителя до енергия $4,2 \text{ MeV/u}$. Тази енергия е достатъчна за “одирането” на част от орбиталните електрони при преминаването на йонния сноп през тънко въглеродно фолио, т.н. stripper. Зарядността на йоните след фолиото се повишава до

53+ и това прави следващото им ускоряване в PSB и CPS по-ефективно. След преминаване през нов stripper при енергия 4,23 GeV/u йоните добиват зарядност 82+, т.е. имаме “голи” оловни ядра. Те се инжектират в SPS, където се доускоряват до 158 GeV. Получена е интензивност $7 \cdot 10^8$ Pb ions/SPS pulse.

Основна цел на експериментите с тежки йони в CERN е създаването на кварк-глюонна плазма – състоянието, в което се е намирала Вселената няколко ms след Големия Взрив.

На 10.02.2000 г. беше докладвано, че са получени достатъчно доказателства за съществуването на новото състояние на материята. То е наблюдавано при облъчване на мишена с оловни йони с пълна енергия 33 TeV. Получена е рекордна плътност на енергията и температури 100 000 пъти по-големи от тези в центъра на Слънцето.

K. LHC

При проектирането на LEP подземният тунел е направен с достатъчно голямо сечение, за да може в бъдеще в него да се построи още един ускорител.

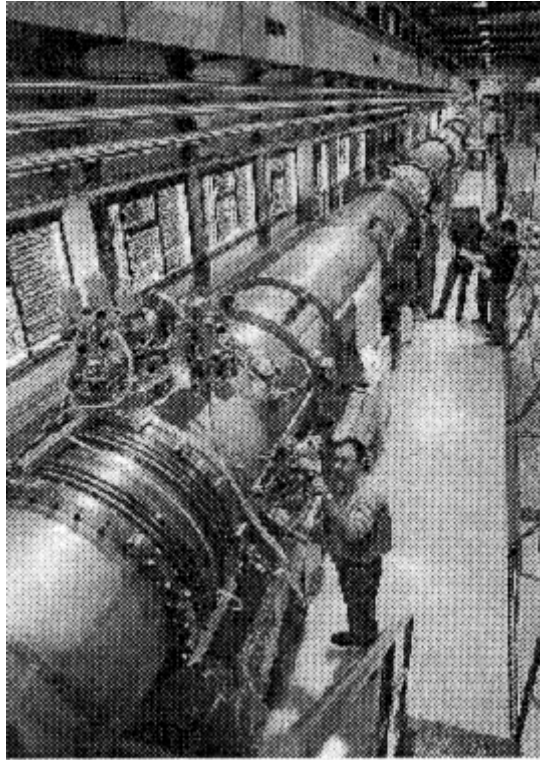
През 1984 г. е изказана идеята в тунела на LEP да бъде построен нов протон-протонен колайдър.

От физическа гледна точка взаимодействия между кварки и глюони или между електрони и позитрони с енергия 1 TeV би позволило да се изследва т.н. Higgs механизъм, който управлява разрушаването на електрослабата симетрия. Лептоните, които са точкови частици дават по-чисти взаимодействия. Но построяването на 1 TeV циклически e^-e^+ колайдър е практически невъзможно поради огромните загуби на енергия за СЛ. Алтернатива са линейните e^-e^+ колайдъри, но засега в тях не може да се ускоряват достатъчно интензивни снопове и тези снопове не могат да се фокусират до изключително малки размери в зоната на удара ($\sim$ nm), за да се постигне необходимата светимост. Практически осъществим е засега само p-p колайдър.

За да се осигури 1 TeV енергия на взаимодействие между кварките и глюоните протонният колайдър трябва да е с енергия около 10 TeV.

През 1984 г. Съветът на CERN създава Long Range Planning Committee оглавяван от C. Rubbia за изучаването на възможностите за бъдещо развитие на лабораторията. Комитетът препоръчва в CERN да се разгърнат изследователски работи за линейни електрон-позитронни колайдъри, но признава като технически осъществима само идеята за протон-протонен колайдър във вече съществуващият тунел на LEP.

Ускорителят е наречен Large Hadron Collider - LHC. Той има два пръстена, в които ще се ускоряват протони до енергия 7 TeV. Двата пръстена ще се запълват с протони идващи от съществуващият ускорителен комплекс PSB - CPS - SPS.



Фиг. 6. Изпитание на свръхпроводящите магнити на LHC

Очаква се да се натрупва 850 mA протонен ток и да се достигне светимост $L = 2,5 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Необходими са магнити с рекордна сила – 8,33 T. Това могат да бъдат само свръхпроводящи магнити. За свръхпроводящия кабел е избрана ниобий-титанова сплав. За достигане на висока магнитна индукция е необходимо да се работи със свръхфлуиден хелий при температура 1,9 K.

Ускорителят ще има 1232 диполни магнита и 392 квадруполни лещи.

След продължителни дискусии и предварителни разработки на 16.12.1994 г. Съветът на CERN взема историческото решение за започване на строителството на новия ускорител.

Един от важните уроци в историята на CERN е, че едновременно с проектирането и строителството на един голям ускорител трябва да се подготвя физическата му програма и да се създават детекторите.

В LHC ще има четири точки на пресичане на протонните снопове. В тях ще бъдат разположени експериментите: ATLAS и CMS за изучаване на Higgs бозоните, ALICE за йонно-йонни стълкновения и изучаване на кварк-глюонната плазма и LHC - B за физика на B-частиците.

Разработването на LHC стана фокус на усилията на цялата световна научна общност. След анулирането на проекта за 20 TeV p-p колайдър SSC в Тексас, САЩ, всички погледи се обърнаха към CERN. Учреден е статутът на страни наблюдателки - САЩ,

Япония, Канада, Русия, с право да присъстват на заседанията на Съвета на CERN. Тези страни ще дадат и значителен технически и финансов принос за построяването на ускорителя.

LHC ще струва 2600 милиона швейцарски франка. Планира се първият сноп да бъде ускорен през 2005 г.

3. БЪЛГАРСКОТО УЧАСТИЕ

Българи участват в изследователската програма на CERN от 60-те години.

Днес силни групи от ИЯИЯЕ на БАН и от Софийския университет участват активно в експериментите на LEP и LHC и в създаването на електронна апаратура.

Първият българин работил в CERN по ускорителна тематика е И. Енчевич. През 1970 г. той участва в модернизирането на високочестотната система на синхроциклотрона.

През 1990 - 1991 гг. група физици от групата по ускорители на ИЯИЯЕ вземат участие в работата по LHC. А. Ангелов работи върху ускоряващите резонатори, Ст. Ценов - върху динамиката на частиците, Вл. Ангелов - върху системата за транспортиране на протоните от SPS до LHC, Е. Иванов - върху модернизацията на CPS. В момента в екипа на LHC е Д. Калчев. Той е един от разработчиците на системата от колиматори, която ще позволи отстраняването на халото на сноповете в LHC.

4. ПОЛЗАТА ОТ ЧЛЕНСТВО В CERN

Едва ли колегите-физици трябва да се убеждават в ползата от членство в тази най-голяма в света научна организация. И все пак.

На първо място ползата е във възможността български учени и инженери да участват в мащабни проекти на самия фронт на съвременната наука. При това става дума не само за физика на високите енергии, но и за ядрена физика, теоретична физика, физика на твърдото тяло, електроника, криогенна техника, вакуумна техника, различни приложни изследвания и други.

Много важен е и достъпът до редица авангардни технологии, които се разработват и прилагат в ЦЕРН. Добре е известно, че World Wide Web е технология за компютърни мрежи, създадена в ЦЕРН. В ЦЕРН са създадени и редица перспективни методи за медицинска диагностика, уникално електронно оборудване, нови материали и т. н. Широко известен е приносът на CERN в създаването на уникални епоксидни смоли и на пластмаси (каптон, майлар и др.), в това число и на проводящи пластмаси. Разработената от G. Charpak (Нобелова награда за 1993 г.) multiwire пропорционална камера, намери разнообразни приложения и в рентгеновата диагностика и в рентгеновата дифракция. В CERN е разработена и позитронната томография.

Всъщност ЦЕРН е едно гигантско предприятие. Годишно ЦЕРН сключва стотици контракти с фирми от индустрията за доставка на материали и оборудване. Съвременните ускорители и детектори на частици се нуждаят от големи количества метали, кабели, електротехническо и електронно оборудване и от всевъзможна друга техника. Тези контракти, разбира се, са достъпни само за страните членки на

организацията. Членството в ЦЕРН отваря пред българската индустрия нови перспективни възможности. Тук бих искал да отбележа, че от страните членки на ЦЕРН Финландия съумява да постигне най-висока възвращаемост на средствата, за сметка на доставката на апаратура от фински фирми за ЦЕРН.

Не на последно място е и възможността, която многобройните образователни програми на ЦЕРН предлагат на българските студенти и аспиранти. Минали през голямата школа на ЦЕРН инженери, физици, математици и др. биха намерили отлична реализация не само в науката, но и в индустрията и частния бизнес.

СТРУНЕН СВЯТ

Ханс Кристиан фон Байер,

професор по физика в У-та на гр. Уилямсбърг, щат Вирджиния

Заменяйки точковите частици с невъобразимо малки нишки, физиците може би ще успеят да включат гравитацията в единната картина на света.

Струнната теория беше извадена на бял свят, след като блестящият Едуард Уитън от Института за перспективни изследвания в Принстън, Ню Джързи, в продължение на две десетилетия води героична борба с недоволното ръмжене на редица авторитетни физици, склонни да принизят тази теория до равнището на занимателната математика. Необикновено надареният със способността аргументирано да убеждава защитник на тази теория Брайън Грийн, професор едновременно по физика и математика в Колумбийския университет, публикува манифест под формата на великолепна популяризация, озаглавена: *Изящната Вселена - свръхструни, скрити измерения и търсенето на окончателна теория*. Многобройните му материали в различни списания и даже участието му в телевизионни предавания бележат раждането на нова звезда в научната популяризация от мащабите на Карл Сейгън и Стивън Хокинг. Казано накратко, струните излязоха на сцената.

Струнната теория е основана върху все още непотвърдената хипотеза, че елементарните съставни части на материята не са точкови, както вярваха до неотдавна почти всички учени, а извънредно малки и усукани едномерни образувания - “струни”. Струните могат да бъдат затворени примки, подобни на еластични пръстенчета, или отворени сегменти, подобни на влакънца. Но и в двата случая става дума за невъобразимо малки размери: струните, ако те изобщо съществуват, трябва да са трилион трилиона (10^{24}) пъти по-малки от атома и са безнадеждно отвъд възможностите както на кой да е микроскоп, така и на сондиращите снопове на кой да е ускорител.

Нещо повече, струните трептят - точно както ако някой с неизмеримо малки пръсти ги подръпва, а ако са прикрепени към цигулката, виолата, виолончелото и контрабаса на някакъв субатомен оркестър, те ще излъчват “звучите” на техните основни честоти и обертонове. Основните честоти и обертоновете съответстват на различните видове фундаментални частици. Предполага се, че комбинирането на струните би могли да възпроизведе многообразието на наблюдаваните частици и техните взаимодействия.

Най-привлекателната черта на струнната теория, благодарение на която тя издържа през десетилетията на съмнения и даже на отричане, е нейната уникална способност да включи гравитацията в описанието на фундаменталните природни сили. Свидетелство за трудностите, свързани с гравитацията, са останалите безплодни усилия на Айнщайн, който през целия си живот търси наричаната от него “обединена теория на полето” - теория, която би обхващала по единен начин гравитацията и останалите природни сили,

каквато например е електромагнитната сила. Много други теоретици също са се опитвали да включат гравитацията в единна теория и неуспехът ги е карал в крайна сметка да се откажат от самата идея за обединението.

От друга страна възможностите на струнната теория за постигане на обединена картина, включваща гравитацията, се заплащат с неимоверно висока цена на теоретични трудности. Измежду странните особености в привидно бездънната сложност на тази теория са настойчивото твърдение, че светът има най-малко десет измерения (вместо познатите четири измерения на пространство-времето) и че взаимодействията на самите струни се описват от красивата, но концептуално трудна математика на поничките и усуканите повърхнини. Многобройните особености на тези страховити идеи са изясно и прозрачно изложени в книгата на Грийн. И при все че струнната теория загръща внушителната си обяснителна мощ в почти непробиваема за неспециалистите опаковка от математическа сложност, тя от друга страна повдига наново някои прости и заедно с това дълбоки въпроси, които са вълнували теорията на веществото от времето на гръцката древност. Казано накратко, непрекъснатата или дискретна е Вселената, а заедно с нея веществото, силата, пространството и времето?

Общоприетата теория, описваща елементарните съставни части на материята и фундаменталните природни сили - с изключение на гравитацията, - доби особено развитие през последните няколко десетилетия. Физиците до такава степен са убедени в нейната вярност по същество, че я наричат "стандартен модел". Нейни фундаментални същности са от една страна частиците на веществото - кварките или лептоните, а от друга - преносителите на сили, каквито например са фотоните или частиците на светлината, които служат като посредници за взаимодействията между частиците на веществото. (Напр. фотоните са посредниците за електромагнитните взаимодействия.)

Макар че всяка частица е обвита в пашкул от преносители на силите, поради което в редица случаи истинската природа на частиците остава скрита, в стандартния модел всяка фундаментална частица се разглежда в крайна сметка като точкова. Да вземем за пример електрона - познатия носител на електричеството. Нито един експеримент досега не е показал, че тази частица има протяжност, т.е. краен радиус. Заедно с това не е успявал нито един опит в стандартния модел да се припише на електрона ненулев радиус. С други думи, макар че електронът притежава внимателно измерена и възприета от всички маса, точно определен електричен заряд и даже своеобразен магнетизъм (свързан със спина му), той все пак няма никакъв размер. Това просто твърдение, освен че изисква твърде много от въображението, лежи в основата на един от най-заплетените проблеми в теоретичната физика.

За математиците точката е възможно най-простото мислимо понятие. По-малка от острието и на най-острия молив, тя е така примитивна, че в съвременните формулировки на Евклидовата геометрия се разглежда като основен геометричен обект, който изобщо не се нуждае от словесна дефиниция. Но за физиците, които имат работа с реалния свят, а не само с неговото абстрактно математическо описание, идеята за точка, която в буквалния смисъл на думата няма никакъв размер, е истинска загадка.

Да си представим например твърд конус, подобен на шапката на клоун, и мислено да го разрежем с хоризонтален удар на много остър нож. В мястото на среза долният ръб на горната половина и горният ръб на долната половина очевидно са окръжности, но дали размерите им са еднакви? Моите студенти от началните курсове неизменно твърдят, че

долната окръжност трябва да е съвсем малко по-голяма от горната - иначе конусът не би могъл да се стеснява до точка при върха си. Когато ги накарам да пояснят колко е това “съвсем малко”, те се объркват, но въпреки това държат на първоначалния си отговор.

Ако въпросът се прехвърли от областта на математиката към реалния свят, интуитивният отговор на студентите е по същество правилен. Реалният конус е изграден от атоми и от долу до горе всеки слой атоми е по-малък от лежащия под него. Срезът разделя конуса в два атомни слоя и долният е съвсем малко по-голям от горния слой. Физиците избягват абстрактните логически гатанки с математическите точки, като вместо тях си представят малки обекти с краен размер, подобни на песъчинки.

За беда природата не е така сговорчива. Макар че атомът наистина притежава измерима големина - той е около 100 000 пъти по-малък от този на най-дребната песъчинка, - електронът като че ли няма никакъв размер. А това води до твърде неприятни последиствия за теорията на веществото.

Електрическото притегляне между частица с положителен и частица с отрицателен заряд се мени обратнопропорционално на квадрата от разстоянието между тях. Например, ако преместим двете частици така, че разстоянието между тях да стане наполовина от първоначалното, тяхното взаимно притегляне ще се увеличи четири пъти. Точно същата връзка е в сила и за гравитационното притегляне между две частици на веществото, макар че електромагнитното притегляне между две субатомни частици е близо 10^{40} пъти по-силно от тяхното гравитационно привличане.

Колкото повече разстоянието между двете частици клони към нула, толкова повече силата между частиците - електромагнитна или гравитационна - се приближава към безкрайност. Това е открито абсурдно предсказание и сигурен признак, че нещо не е в ред с теорията, въплътена във формулата. Подобен абсурд не би възникнал при твърди тела, защото диаметрите им са по-големи от нула. Така например гравитационната сила между две твърди топки - да речем, ябълка и Земята - се определя от разстоянието между техните центрове на масите. И тъй като двете тела се допират, преди центровете им да съвпадат, всичко е нормално. Ако обаче двете тела са точкови, каквито вероятно са електроните, разстоянието между тях може да се свие до нула и така теорията да се опорочи с фалшиви и неуправляеми безкрайности.

Прост мислен експеримент показва защо законите за обратно квадратичните зависимости на електромагнитните и гравитационните сили са приложими за точки, но не непременно за обекти с крайни размери. Да разгледаме гравитационната сила между топка за бейзбол и обръч за хулахуп. Когато топката се постави точно в средата на обръча, разстоянието между двата центъра на масите става равно на нула. Ако формулата за силата е валидна винаги за центровете на масите на протяжни обекти, гравитационното привличане между топката и обръча би станало безкрайно. Но действителната сила на притегляне между двете тела всъщност изобщо не расте.

Проблемът с това пресмятане е, че силовият закон е валиден за точки, а не за обръчи. В действителност отделните части на обръча притеглят топката по еднакъв начин навън, така че действията им взаимно се компенсират и силата върху топката е точно нула, а не безкрайност. Масата на обръча е разпределена по сравнително голямо разстояние и затова нейният ефект се размива. По подобен начин всички тела с ненулеви размери,

включително ябълките и планетите, разпределят ефектите на гравитацията до такава степен, че силите между тях остават крайни.

Близо две десетилетия, от 1930-те до 1950-те години, мъчителните проблеми с безкрайностите в квантовата теория на светлината и атомите, породени главно от необходимостта да разглеждаме електроните като точкови, бяха причина за неимоверни математически усилия. За да се отърват от безкрайностите - или поне за да ги скрият, - физиците измислиха сложна схема, наречена пренормировка (ренормализация). Първоначално уравненията се преработват така, че нежеланите безкрайности да се групират заедно с членовете за масата и заряда на електрона. След това на мястото на тези теоретически безкрайни величини весело и безгрижно се поставят измерените крайни стойности за електрона.

Схемата проработи великолепно: пренормировката предсказва експериментални измервания с десетзначна точност. Но въпреки забележителните успехи Ричард Файнман, един от архитектите на пренормировките, нарече тази процедура “шантав процес”, “игра на тука има, тука няма” и “фокус-мокус”.

Но фокусите не свършваха с електроните. Когато през 1960-те години бяха открити кварките, те също се описваха като точкови и пренормировката отново спаси нещата. Фактически тя вече се превърна в дотолкова необходим технически елемент на стандартния модел, че физиците-теоретици забравиха за опасенията на Файнман и вече са склонни да наричат процедурата на пренормировките по-скоро остроумна отколкото шантава.

Разходимостите, надничали изпод повърхността, избухнаха с удвоена ярост в много от теориите, в които се прави опит да се присъедини гравитацията към стандартния модел. Пренормировките се оказаха безполезни за теориите, в които като носители на гравитационното взаимодействие се въвеждат гравитоните, подобни на фотоните, които пренасят електромагнетизма. Причината за неуспеха на пренормировките се дължи на съществена разлика между гравитацията и другите фундаментални взаимодействия - електромагнитното, силното и слабото.

Гравитацията, за разлика от останалите три сили, е пропорционална по големина на масата на тялото - тежките тела упражняват по-голяма сила от леките. Но масата, в съответствие с прочутата Айнщайнова формула $E = mc^2$, е просто друга форма на енергията. Именно тук обратноквадратичният закон на гравитацията нахлува с пълна сила в един от основните квантово-механични принципи, управляващи субатомния свят. Принципът на неопределеността гласи, че колкото по-точно е определено положението на едно тяло, толкова по-неопределена е неговата скорост или, което по същество е едно и също нещо, толкова по-неопределена е неговата енергия на движението. Когато обаче два обекта се сближават до разстояние, да речем, равно на диаметъра на протона, техните положения стават определени с много голяма точност. Обратната страна на тази точност, в съответствие с принципа на неопределеността, е, че енергиите на двата обекта стават все по-неопределени и изпитват все по-силни флуктуации. По формулата на Айнщайн това означава, че масите на обектите стават все по-неопределени и в частност от време на време могат да стават огромни.

Така възниква порочен кръг. Колкото по-близки един до друг са два обекта, толкова по-голяма е силата, действаща между тях. Но колкото по-близки са те, толкова по-големи

са флуктуациите на техните маси, а това на свой ред води до нарастване на средната сила. Този любопитен цикъл на обратната връзка обезсилва процеса на пренормирането. Както обяснява Грийн, единственият изход е всяка точкова маса да бъде превърната в протяжен обект. Тогава гравитационният удар, нанесен от точката, ще се размаже в пространството. Точно това правят обръчите за хулахуп и струните.

Преминаването от точки към струни разкрива с необикновена яснота конфликта между математиката и физиката. Откакто Галилей преди четири столетия нарече математиката “език на физиката”, традицията е да се прославя хармонията между тях и заедно с това да се умаляват техните различия. Преди четиридесет години роденият в Унгария американски физик Юджийн Уигнър, един от пионерите на квантовата теория, произнесе в Университета на Ню Йорк прочутата си лекция “Необяснимата ефективност на математиката в природните науки”. Той изтъкна, че няма никаква априорна гаранция, че математиката трябва да е подходящото средство за описание на света. Наричайки “чудо” факта, че тя работи така добре, Уигнър произнесе възхвала за математиката като “удивителен дар, който ние нито разбираме, нито заслужаваме”. Спорът на тема “точки или струни” създава отрезвяващ контрапункт на тази емоционална оценка.

Докато от една страна точките са прости, ясни и еднозначно определени за математиците, те от друга страна вещаят бедствия за физиците. Със струните нещата са точно обратните: подобно на всички протяжни обекти те не поставят никакви загадки пред обичайната физическа интуиция, а заедно с това ни отърват от проклятието на безкрайностите. В математиката обаче струните се оказват същинско змийско гнездо на разходимости. Уигнъровият хвалебствен химн за щастливия брак на физиката и математиката не може да скрие факта, че подобно на всички бракове и този трябва да се справя с някои дълбоко вкоренени напрежения.

От математическа гледна точка струната, представена например от права отсечка с единична дължина, е същинско чудо на сложността. Ако всяка точка на тази отсечка се означава с число, то самата отсечка е континуум от числа и в това е заложена нейната мистерия. За да идентифицират точките в интервала от 0 до 1, математиците започват с отношения на цели числа, каквито са например $1/2$, $7/9$ и $97/100$. Всички такива числа се наричат рационални и очевидно няма граница за числата от този вид, лежащи някъде в единичния интервал.

Рационалните числа вършат много голяма работа за описанието на единичния интервал. Ако ни е зададена някаква точка от този интервал, винаги ще можем да намерим рационално число, което е толкова близко до зададената точка, колкото пожелаем. (Мислете си за това по следния начин: всяка крайна десетична дроб е рационално число; например 0,347 е $347/1000$. Така че ако искаме да се окажем на разстояние от зададената точка например една милиардна част от дължината на отсечката, трябва просто да вземем най-близката крайна десетична дроб с девет знака зад десетичната точка и това ще бъде рационалното число с търсеното свойство.)

За съжаление ясната логическа подредба на рационалните числа гъмжи от други числа, много уместно наречени ирационални, които надникват от всяка цепнатина - подобно на отровни змии. Те са открити преди повече от 2000 години, когато незнаен гръцки математик доказва, че квадратният корен от 2 (дължината на диагонала на квадрат със

страна единица) не може да се представи като отношение на две цели числа. Не след дълго към този първи поразителен пример се прибавят безкрайно много други.

Математиците приемат ирационалните числа като неочаквани, но неизбежни факти на живота, докато през 19 в. започват едно след друго да се проявяват техните вцепеняващи ума свойства. Дефинирани най-просто като неповтарящи се цифри в безкрайни десетични дроби (например квадратният корен от 2 е равен на 1,41421356 ..., т.е. безкрайна десетична дроб без никаква забележима закономерност), ирационалните числа са продукт на човешкия ум. Те служат да изпълнят числовата редица, вече гъсто напълнена с рационални числа, до континуума на така наречените реални числа, в който всяка точка представя някакво рационално или ирационално число.¹

На свой ред континуумът се оказва неподатлив и заедно с това чаровен обект, както това беше демонстрирано по драматичен начин през 19 в. от немския математик Георг Кантор. Той показва, че континуумът е значително по-голям по размери от множеството на всички рационални числа - до такава степен, че даже ако безкрайното множество на всички рационални числа между 0 и 1 се наредят едно след друго, дължината на тази редица от точки ще бъде точно нула. Следователно всички рационални числа лесно ще се поберат в кой да е подинтервал на отсечката, колкото и малък да е той, и ще остане още много незапълнено пространство. В същия дух Кантор доказва, че всяка отсечка, даже да е една милиардна от дължината на единичната, съдържа толкова точки, колкото и цялата изходна отсечка. Ако млякото беше континуум, а не маса от дискретни атоми, ние бихме могли да вземем чаша от течността и, следвайки една от рецептите на Кантор, с лъжичка да прелеем във втора чаша до напълването ѝ, без изобщо млякото в първата чаша да намалее.

Изводите на Кантор разтърсват математическия свят. Континуумът, на пръв поглед толкова прост и непосредствен, се оказва в плен на видимо парадоксални закони, противоречащи както на здравия разум, така и на интуицията. Вината, разбира се, е в ирационалните числа, изглеждащи така невинни, когато за пръв път са въведени. Сега те са осъзнати като изкуствени постройки, които са твърде многобройни, за да бъдат наименувани, а повечето от тях са дотолкова чудати, че не могат да се запишат в крайна тетрадка и дори не могат да се програмират като изчислителна процедура в краен компютър. По думите на немския математик от 19 в. Леополд Кронекер: “Господ е създал целите числа - останалото е човешко изобретение”.

Опитвайки се да спаси математиката от прекалено навлизане в един измислен свят, откъснат от здравия смисъл, уважаваната школа по философия на математиката, наречена интуиционизъм, която процъфтява в началото на века ни, изхвърли от употреба всички числа, чиято стойност не може да се построи в явен вид с краен брой стъпки. В частност интуиционистите обявиха континуума извън закона. Те и техните наследници, така наречените конструктивисти, все още не са надделели: повечето математици смятат, че налаганите от тях прекалени ограничения биха унищожили твърде много от нещата, които вече са възприети като валидна математика. Все пак тяхното безпокойство относно законността на континуума трябва да накара физиците да се замислят, когато се опитват да моделират природата с помощта на една толкова особена постройка.

Точки или континуум? Цели числа или реални числа? Прекъснатост или свързаност? Как е устроен светът? Как би трябвало да се описва? Борбата между тези

противоположни възгледи е почти толкова стара, колкото е физиката, и не дава никакви признаци за затихване. В действителност много от основните жалони в историята на физиката - и особено в историята на схващанията за материята - са съпроводени от наклоняване на везните ту към едната, ту към другата страна в този спор.

Древногръцките философи учат, че цялата материя е изградена от една или повече непрекъснати субстанции: земя, вода, въздух и огън. Атомната хипотеза, която заменя непрекъснатите субстанции с дискретни точкови частици, отчасти е мотивирана от неудовлетворението, което носят непрекъснатостите.

Прескачаме бързо напред до 1926 г. Електроните се разглеждат като точкови частици, кръжащи около ядро. От време на време те внезапно сменят орбитата си и излъчват или поглъщат фотон с дискретна честота. Австрийският физик Ервин Шрьодингер решава да опише този процес по начина, който той познава от класическата физика, в която се описват непрекъснати движения в пространствено-времевия континуум. Но електроните очевидно се движат прекъснато. За да излезе от тази дилема, той изобретява нещо, което нарича “авариен изход” - вълновата механика. Основен помощен елемент на теорията е непрекъснатата вълнова функция, която изобщо не е реален обект, а само кодира информацията относно възможните резултати от експеримента. Шрьодингер намеква, че онова, което го кара да се чувства недоволен от собствената си теория, би могло да е свързано с несъответствието между реалността и изкуствения числов континуум.

С течение на времето вълновата механика довежда до квантова теория на полето, която запълва света със завихрени и препокриващи се континууми - по един континуум за всяка елементарна частица. Когато завършвах следването си преди около 40 години, теоретиките се мъчеха да формализират тази картина в една обща схема, наречена аксиоматична теория на полето. След това бяха открити кварките и образът на света беше отново прерисуван в поантилистски маниер.² А сега точките се заменят с непрекъснати струни.

Последната дума обаче още не е изречена. От една страна предпазливите физици продължават да хранят недоверие към континуума. Така например Джон Арчибалд Уилър, един от достолепните старейшини на американската теоретична физика, смята, че най-важната задача на физиката е да разбере кванта. Макар да не знае как ще стане това, той предлага списък на четири елемента, които по негово мнение *няма* да влизат в бъдещата теория. Третият елемент в списъка на Уилър е континуумът, като неговото изключване той подкрепя с цитат от покойния математик и физик Херман Вайл: *“Доверието в трансценденталния свят подлага на изпитание силата на нашата вяра не по-малко от ученията на първите църковни отци или на философите-схоласти от Средновековието”*.

Дже вярата на Брайън Грийн е подложена на изпитание. Идеята за струните поражда въпроса: от какво се състоят те? Грийн отговаря загадъчно: “В днешно време има интригуващи намеци ... за някакъв вид субструктура на струните, но все още липсват преки доказателства за това”. Дали това не означава, че един ден точковите частици ще се върнат като съставни части на струните - по същия начин, както математическите точки изграждат реалната числова линия?

Ако историята може да ни служи като пътеводител, схващанията на физиците за материята ще продължат да се колебаят между точки и континуум и по такъв начин ще отразяват неотменимата истина, че в подобни неща математическата и физическата интуиция са, уви!, твърде различни.

(Hans Christian von Baeyer, *World on a String*, The Sciences, Sept./Oct. 1999)

Превод: М. Бушев

¹ В този пасаж авторът прави някои тънки каламбури: number - *число* и to numb - *вцепенявам*; ratio - *отношение* (и *разум* на латински) и (ir)rational - (*и*)*рационално* число (и [*не*]разумен). По повод ирационалните числа виж също статията "Квазикристали", СФ 3/99. - *Бел. прев.*

² **Поантилизъм** (от френски: point - *точка*) - похват в живописа, при който боите се нанасят върху платното във вид на отделни точки. - *Бел. прев.*

ГАМА-АСТРОФИЗИКАТА - ФИЗИКА НА ДАЛЕЧНОТО

Орелиен Баро и Сесил Рено,

(Лаборатория по ядрена физика и високи енергии, Париж)

Разбрал вълновия характер на светлината, човек трябва да се реши на ново оскърябление на своята самовлюбеност: очите му разкриват нищожно малка част от посланията, изпращани от Вселената. За да се опитаме да достигнем до по-обективно и по-пълно виждане на нашата околност, е абсолютно необходимо да си спомним, че видимата светлина е много малка част от електромагнитния спектър. И тази количествена възможност се дублира от качествен недостатък, тъй като при ограничения си брой фотоните нямат никаква привилегирована страна, за да отговорят на повечето въпроси на съвременната физика.

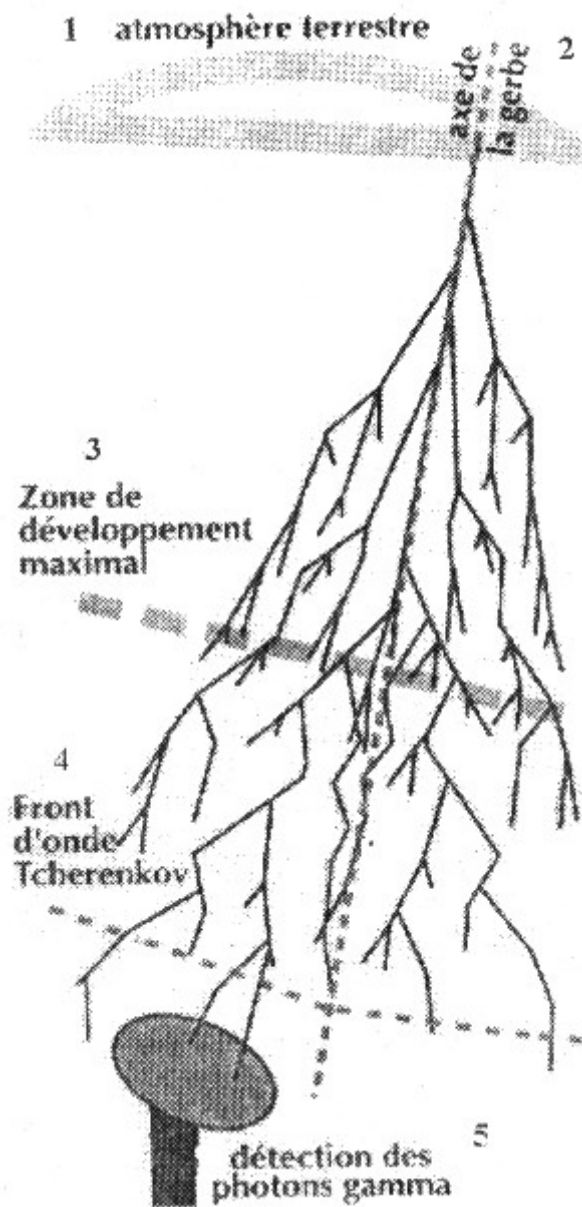
Физиците имат отдавна разработени инструменти, които им позволяват да достигнат дължини на вълната по-големи (инфрачервени, микровълни, радиовълни ...) или по-малки (ултравиолетови, рентгенови лъчи ...) от тези на видимата светлина. С тези дължини на вълната са свързани толкова по-големи енергии, колкото те са по-къси. Обхождайки спектъра, е възможно да се изследват различни енергии и според термодинамиката - различни температури. Дължината на вълната на фотоните може следователно да разкрие директно "топлината", свързана с космичните обекти при равновесни условия. Но Вселената е твърде екзотична лаборатория за физиците и термичната стабилност не се среща винаги. Лъченията тогава са по-деликатни за интерпретиране и изискват прибегване до подробно моделиране на излъчващите звезди. Нещо повече, тяхното улавяне е често твърде трудно и множество отворени прозорци остават неизследвани. Гама-лъчите с много висока енергия, арбитри на изключителни физични явления, се изследват от няколко години, предлагайки ново удивително виждане на Космоса.

Особени лъчения

Гама-фотоните, чиято енергия е около хиляда милиарда пъти по-голяма от тази на видимата светлина, са твърде богати на информация върху многобройните аспекти, скрити в дълбокото небе, но остават, в експериментален план, особено трудно достъпни. Взаимодействията, които се развиват в атмосферата, не ни оставят в действителност никаква надежда да бъдат детектирани директно на земната повърхност. Пред лицето на такава трудност изглежда разумно да се освободим от тази "естествена бариера", която обкръжава Земята, отивайки да търсим лъченията там, където са, т.е. в Космоса. Проведени са различни опити със спътници и се вижда вече денят, в който ще стигнем директно до космичните фотони. При все това сме изправени пред основна непълнота, която пречат достъпа до високи енергии: малките размери на детекторите. Обикновено от порядъка на десета от квадратния метър, космическите детектори не обхващат достатъчна площ, за да разкрият нищожните проценти на гама-лъчите с много висока енергия.

Впрочем, необходимо е да се изучат по-подробно физичните явления, които се пораждат, когато гама-фотон с космически произход прониква в земната атмосфера, така че да използваме цялата достъпна информация на земната повърхнина. Тъй като енергията на реакцията е твърде голяма, фотонът може да се овещества в атмосферната среда, раждайки двойка частици: електрон и позитрон (античастица свързана с електрона). Всяка от тези частици започва да излъчва енергия при твърде значителното спиране, наложено от присъствието на атоми и молекули по техните пробези. Тези лъчения на свой ред се превръщат в двойки електрони и позитрони. Последните въвеждат други лъчения и така може да се развие експоненциално грамадна каскада от частици. Броят на частиците (който не може да нараства безкрайно, понеже общата разполагаема енергия е ограничена от тази на началния фотон) се оказва максимален на около 7 километра височина. Благодарение на тези частици, окачествени като вторични, физичната информация, съдържаща се в първичния космически фотон, може да се пренесе чак до почвата. Трябва още да се уверим, че тази информация се съдържа в каскадата и че е възможно да се извлече експериментално!

Тези заредени частици (отрицателно за електроните и положително за позитроните) не са директно наблюдаеми на земната повърхнина при гама-кванти с енергии, към които се насочваме тук, т.е. в областта до 10^{12} eV, понеже те са "реабсорбирани" от атмосферните съставки. Но тяхната значителна енергия позволява свръхсветлинна скорост на разпространение и създава следователно една *ударна вълна*. Този ефект, наречен на името на руския физик Черенков, който го е открил, не нарушава с нищо принципа на относителността: надминатата скорост е тази на светлината в атмосферна среда, която е по-малка от тази във вакуум. Аналогично на звуковия удар, който съпровожда преминаването на свръхзвуков самолет, имаме излъчване на син светлинен импулс, който следва преминаването на ултарелативистките частици, както е показано на фиг. 1.



Фиг. 1. Каскада частици в земната атмосфера,
предизвикана от космичен гама-лъч:

1 - земна атмосфера, 2 - ос на снопа, 3 - зона на максимално развитие,

4 - фронт на вълната на Черенков, 5 - отчитане на гама-фотоните.

Отправната точка се намира във факта, че двете първични информации, а именно посоката и енергията на космическите гама-лъчи, се предават добре чрез това Черенково лъчение. Възможно е и да изходим от характеристиките на първичното космично лъчение, изучавайки синьото светене, предизвикано от него. За да направим това, трябва да имаме инструменти, предназначени специално за улавяне на този слаб сигнал, потопен във фона дифузни фотони (светлина от звездите, мъглявините, Млечния път, градовете ...). Усреднени върху голям интервал от време, фотоните от небесния фон доминират значително фотоните на Черенков. Обикновено може да се

счита, че шумът е 100 хиляди пъти по-силен от сигнала. Но сигналът има твърде важното свойство на почти точен изохронизъм. Методът прочее се състои в измерване на светлина за изключително кратко време (от порядъка на няколко милиардни от секундата - ns), центрирано върху пристигането на Черенковите фотони: те тогава доминират значително над шума от случайните замърсявания.

Телескопът САТ (съкратено от Черенков масив на Темиз), построен неотдавна до Фонт-Ромьо в Източните Пиринеи, е посветен на изучаването на гама-лъчи с много висока енергия. Той прави един вид фотография на каскадата частици, която се развива в атмосферата. След това към така получените образи се прилагат математични алгоритми, за да се получат физичните характеристики на първичните гама-кванти. Основана върху изключително индиректна техника, гама-астрономията днес е станала достоверна наука, чиито резултати не будят повече съмнение.

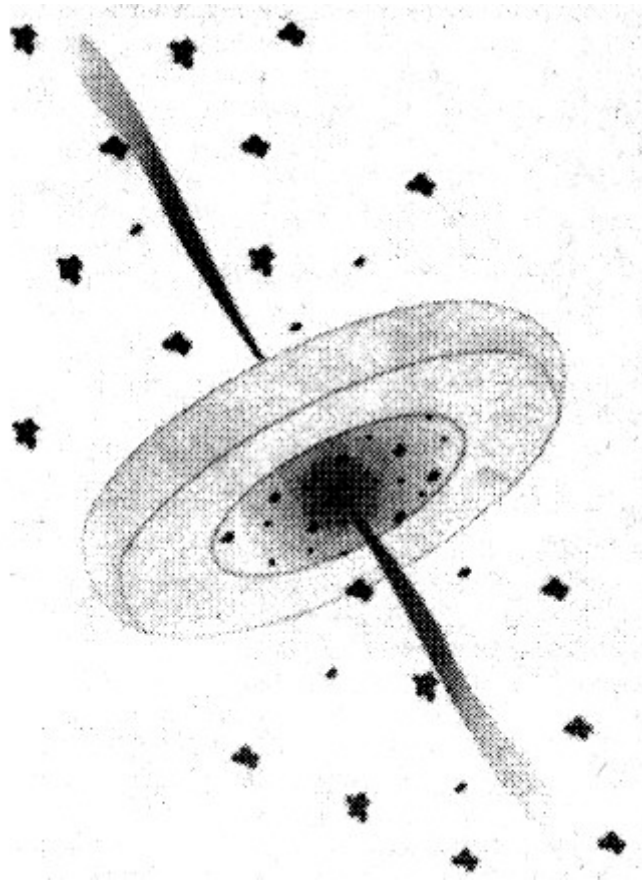
Странни звезди

Астрофизичните източници на гама-лъчи с много високи енергии не са многобройни. Първият, който беше установен експериментално, е Раковидната мъглявина. Този бързовъртящ се пулсар е останал от експлозията на една свръхнова през 1054 г. и неговата околност е ефективен генератор на гама-лъчи, разглеждан днес като "стандартна свещ". Истински еталон на високи енергии, Раковидната мъглявина отвори пътя на наблюдателната астрофизика към изключително високи енергии. Така се разкриват сложните физически механизми на взаимодействие между електромагнитното поле и заредените частици.

Днес гама-телескопите се насочват към най-отдалечените и най-странните звезди. Истински фарове на дълбокото небе, активните галактични ядра са станали привилегирован прицел на фотонните детектори за високи енергии. Тези обекти са наистина гнезда на най-енергетичните явления във Вселената. Те са изключителна лаборатория за разнообразни физически механизми, свързващи ядрената енергия, гравитационната енергия, частиците със субсветлинни скорости, магнитните полета, електромагнитните лъчения от всички дължини на вълната, хидродинамиката и физиката на плазмата, както и общата теория на относителността (ОТО).

Значителната светимост на активните ядра на Галактиката не може да се обясни с помощта на термоядрени реакции, аналогични на тези, които имат място в звездите. За сравнение, при някои квазари излъчваната мощност е еквивалентна на тази на 10 000 галактики като нашата или още на експлозията на 1000 свръхнови годишно! Дори да си представим, че твърде бляскавите звезди (от типа О например) угасват, е невъзможно да се надминат няколко процента от наблюдаваната светимост. Трябва да се прибегне до твърде ефикасен процес и днес е жизнен само един кандидат: превръщането на гравитационната енергия в лъчение благодарение на присъствието на достатъчно масивна и компактна звезда - по всяка вероятност черна дупка. Това е най-добрият познат двигател понастоящем, тъй като значителна част от енергията на масата (значителна според знаменитата връзка $E = mc^2$) може така да бъде излъчена под формата на фотони от телата, които присъстват в полето на действие на черната дупка. Околната материя тогава се залавя, разхвърля и подлага на значително триене в тънък диск прах. Голяма част от масата може да се "освободи" под формата на лъчение (буквално енергия - *б. пр.*) в близост до привличащия център. Тогава се пораждаат две

симетрични струи свръхбързи частици от двете страни на диска, както е показано на фиг. 2.



Фиг. 2. Основна схема на активното ядро на галактика.

Земните телескопи са открили интензивен гама-сигнал с източник две активни ядра на галактиката. Откриването на тези обекти (Mrk421 и Mrk501) с енергии до към 10^{13} eV, т.е. до това, което могат да произведат най-мощните действащи земни ускорители, донася обширна информация върху физичните явления, които протичат в тези струи. Докато те се насочват към Земята, сигналът се усилва от релативистичния ефект на Доплер, позволяващ значителна видима светимост в точката на наблюдението. За да се обясни така разкритата колосална енергия, трябва да се позовем на твърде бързи частици, образуващи струята, чието ускоряване става при взаимодействие с ударна вълна. Тези теоретични разсъждения, широко потвърдени от опита днес, се позовават на твърде добре разработени и развиващи се математични средства. Стандартният сценарий на генериране на гама-лъчите се състои в предположението, че тези ултрарелативистични частици се сблъскват с дифузните фотони и им съобщават голяма част от своята енергия: това е *обратният* ефект на Комптън.

Но наблюдението на активните ядра на галактиките в тази област на дължините на вълните предлага друга изненада: гама-сигналът може да бъде не само много интензивен, но и се изменя много бързо. Интервали от време, по-малки от един ден, се проявяват ефективно, което е твърде кратко за астрономични обекти от този вид. Това позволява да се даде горна граница на размера на активната зона по време на излъчването. Ако си представим изключително бърза вътрешна вариация,

наблюдателят не ще може в действителност да забележи друго, освен някакво проявление във времето, съответстващо на размера на излъчвателя, разделен на скоростта на светлината, която е крайна. В случая е подходящо да се нюансира тази най-проста схема с релативистичния характер на излъчващите звезди, но идеята остава валидна. Установените процеси по време на ускорението са също достъпни за наблюдение. По този начин точната структура на струите частици, скоростта и размерите на възлите, където се ражда лъчението, са добре очертани.

Ключът на загадката за излъчването на много високи енергии от активните ядра на галактиката се намира безспорно в тяхното наблюдение, тясно свързано с инструменти с възможност за различни измервания. Получаването на емисионния спектър, т.е. на излъчителната мощност във функция на честотата в твърде широка област, е абсолютно необходимо за глобално разбиране на явлението. Редът, в който се представят вариациите на това явление, винаги според тяхната честота, е също много важен за моделиране на геометрията на източника. Наблюденията, осъществени досега в различни дължини на вълната, насочват към аналогично във времето поведение, но с различна амплитуда. Това е по всяка вероятност почеркът на една и съща популация електрони, които пораждат голяма част от гама-лъчението на въпросните обекти.

Открити въпроси

Теоретичните обработки на експерименталните данни на гама-астрономията от активните ядра са твърде важни. Те позволяват да се обхване по-добре природата на тези обекти, които остават между най-загадъчните във Вселената. Но ако стандартният модел на черна дупка, натрупваща по асиметричен начин голямо количество материя, за да изхвърли елементарните съставки под формата на биполярни струи, стана твърде правдоподобен, голям брой въпроси още остават. Ясно е също, че новите данни на гама-астрономията поставят толкова въпроси, на колкото и отговарят.

Природата на частиците, които образуват струите, остава загадъчна. Деликатно е да се обяснят кратките вариации с протоните, както и най-високите енергии - с електроните. Произходът на дифузните фотони, които се превръщат в гама-кванти чрез взаимодействие с тези частици, не е известен. Те могат да бъдат излъчени от същите частици, да произлизат от диска на залавяне, от външните облаци газ, от околните звезди или още от други източници ...

В този лабиринт от въпроси неотдавнашните наблюдения (в частност на Mrk501) позволяват при все това да започне да се вижда утвърждаването на подходящ сценарий, основан в частност върху модела наречен "синхротронно авто-Комптъново" излъчване. В това описание се предполага, че струите на активните ядра на галактиката са съставени от активно излъчващи електрони вследствие на присъствието на интензивни магнитни полета, които изкривяват траекториите им. Тези лъчи взаимодействат след това отново с поколението частици, което ги е породило, и достигат до твърде високи енергии. Ако това описание изглежда съблазнително и се оказва благодетелствано от последните резултати, то не изключва други моделирания, основани върху протонни струи или взаимодействия с външни фотони.

Трябва да се вземат предвид и други деликатни пунктове: обектът е отдалечен (около 500 светлинни години) и е невъзможно да се разграничат случаите на вътрешни ефекти на излъчването с евентуални взаимодействия с галактични полета. Тази нова физика

трябва да срещне значителен брой неизвестни в сравнение с относително ограниченото количество разполагаеми данни! При все това е възможно да се опитаме да извлечем полза от такива трудности и да обърнем проблема в наше предимство, като използваме прецизно тези гама-лъчения за сондиране на междугалактичното пространство. Плътността на дифузните инфрачервени фотони е едно от главните неизвестни на наблюдателната космология и нейното възможно определяне чрез поглъщането на гама-фотоните би могло силно да подпомогне разбирането на еволюцията на галактиките. Липсата на гама-сигнал става тогава признак за присъствие на тези фотони с ниска енергия и, поради същото, мярка за излъчената енергия в началните фази на Вселената (тези лъчения днес са съществени за инфрачервените гама-фотони в резултат на двоен ефект на спектрални промени, дължащи се на разширението и преизлъчването от облаците прах). Този нов подход се развива и позволява вече да се поставят по-строги граници отколкото при опитите със спътници.

Гама-небето е също особено тайнствена страна, свързана с откриването на многобройни "скокове". Тези енергетични полъхвания със значителен интензитет са наблюдавани за моменти от спътници и тяхната причина е напълно неизвестна. Те се разпределят равномерно върху небосвода. Досега земните телескопи не са успели да установят тези скокове. Важни информации върху природата на тези източници и пълната им лъчева мощност са също на разположение. Наблюдаването на такива явления с ритъм няколко годишно се предвижда също при различните опити от земната повърхност.

Но основният залог на близките години ще бъде по всяка вероятност центриран върху разбирането на местоположението на ускорителите на космичното лъчение. Остатъците от свръхновите, които са предполагаемото място на тези процеси, са в по-голямата си част невидими в областта на много високите енергии. Загадката на космичните частици остава впрочем изцяло и намирането на звездите инициатори е абсолютно необходимо. Обикновеното виждане, основано върху ускоряването от ударна вълна в близост до останките от звездни експлозии, среща днес трудности поради липса на гама-информация. Подобряването на чувствителността на детекторите, което скоро ще имаме, ще даде нова светлина върху въпроса за произхода на космичното лъчение в нашата галактика.

Активните ядра на галактиката и Раковидната мъглявина не са следователно единствено възможни звезди за измерване на излъчването на гама-фотони с много високи енергии. Други източници, неми засега, се изследват също от телескопите. Теоретичните и експерименталните разработки, в пълен разгар в тази област, ще позволят в близките години да обхванем по-добре вселената на много високите енергии. Като нова и абсолютно необходима тухла в конструкцията на подходящ образ на нашето космично обкръжение, гама-астрономията ще разкрие безспорно неподозирани явления, на първо време непонятни, но без всякакво съмнение вълнуващи.

Превод от френски: Ал. Карастоянов

Aurelien Barrau & Cecile Renault *"L'astrophysique gamma, physique de l'extreme"*, Fusion, No. 70, mars-avril 1998, pp. 58-61.

ВОЛФГАНГ ЕРНСТ ПАУЛИ (1900 - 1958)

(По случай 100 години от рождението му)

Карл фон Мейен



Паули и Нилс Бор изучават явлението спин!

Волфганг Паули е роден на 25 април 1900 г. във Виена, където 9 години по-късно се ражда и сестра му Херта, станала по-късно известна боркиня за правата на жените, а по време на емиграцията си в САЩ и авторка на пацифистки и възпитателни романи. Бащата Волф Пашелес е син на успяващ книготърговец и уважаван член на еврейската община в Прага. Волф Пашелес следва медицина и се сближава с известния физик Ернст Мах, представлявал за него пример в много отношения. През 1898 г., вече като лекар, той се преселва във Виена и работи като частен доцент в Медицинския факултет на Виенския университет. Приемайки римо-католическо вероизповедание, той променя името си на Волфганг Йозеф Паули и през 1899 г. сключва брак с дъщерята на известен редактор на вестника "Свободна преса". Малко по-късно става извънреден професор, а през 1913 г. и директор на създадения от него Институт по експериментална биология. Практикуващ и като лекар, той създава различни медикаменти и през 1922 г. е избран

за редовен професор. След анексирането на Австрия от Третия Райх през 1938 г. той напуска Виена и се преселва в Цюрих, където остава близо до сина си до края на живота си.

Уважението и привързаността на бащата към Ернст Мах го кара да покани последния за кръстник на сина си, който така получава и второто име Ернст. Когато Волфганг Паули е вече в гимназията и очевидно проявява силно влечение към природните науки, Мах му подарява своите трудове и редовно се интересува за своя кръщелник. Запазените документи в гимназията, където е учил, свидетелстват за високите оценки, които е получавал, и за "феноменалната дарба в математиката и физиката" по мнението на учителите му. Мах, който се е оттеглил от активна дейност в малко селище край Мюнхен, полага усилия и за изостряне на критичното мислене у младия Паули посредством демонстриране на подходящи примери.

Когато през есента на 1918 г. Паули кандидатства в Мюнхенския университет, за да изучава теоретична физика при Арнолд Зомерфелд, той носи със себе си една завършена работа от областта на общата теория на относителността, привлякла впоследствие вниманието и на Айнщайн. Познанията на Паули по математика и физика са до такава степен впечатляващи, че Зомерфелд много скоро му възлага разработването на научни проблеми и обсъжда с него много въпроси и идеи. Още по това време Паули има смелостта да критикува особеностите на ближните си или недостатъчно обосновани идеи чрез кратки и съдържателни формулировки. На първия следвоенен конгрес на природоизпитателите в Бад Наухайм двадесетгодишният тогава Паули не се поколебава да критикува открито след един доклад дори Айнщайн.

В третия семестър Зомерфелд възлага на Паули изготвянето на обширен реферат по теория на относителността за издаваната от Феликс Клайн "Енциклопедия на математичните науки". Представяйки преди докторския си изпит през пролетта на 1921 г. готовия ръкопис на този реферат, Паули получава много похвали от всички колеги. Самият Айнщайн оценява работата на младия си колега като "зряла и широко замислена". Тази младежка публикация на Паули е преведена почти без промени на английски език към края на живота му, като и до днес тя се смята за едно от най-добрите въведения в мисловния свят на Айнщайн.

Под влияние на Зомерфелд Паули насочва вниманието си към намиращата се във фокуса на физичните изследвания теория на атома. Появата между учениците на Зомерфелд и на Вернер Хайзенберг през есента на 1919 г. очертава зараждането малко по-късно на една нова физика, която чрез неконвенционални формулировки доведе до разрешаване на трудностите, стоящи пред квантовата теория. След само тригодишно следване Паули защитава през юли 1921 г. дисертация, в която разглежда свързващите сили във водородните молекули. Резултатът на тази грижливо изпълнена по каноните на "на по-старата квантова теория" работа обаче противоречи на някои опитни данни и това се възприема почти болезнено от самонадеяния и свикнал на успехи млад физик, въпреки че е бил донякъде убеден в проблематичността на теоретичните основи, върху които гради изследването си. Подобно съмнение изпитва и състудентът му Хайзенберг.

След кратко посещение при Макс Борн в Гьотинген през зимния семестър на 1921-1922 г., когато Паули се занимава с проблема на хелиевите спектри, той все повече достига до убеждението, че напредък в квантовата теория може да се постигне само при детерминистично, установено в пространството и времето описание на атомните

процеси. Съвместната работа с Макс Борн води до съществен за формалното развитие на квантовата теория резултат. Въпреки стимулиращата атмосфера в обкръжението на Макс Борн, Джеймс Франк и Давид Хилберт, Паули не се чувства съвсем уютно в Гьотинген. Особеното положение на "вундеркинд" в Мюнхен не му е било определено при Макс Борн, въпреки че впоследствие Паули смята Борн заедно с Хайзенберг и Дирак за най-способния сред познатите му физици, и при първа възможност напуска Гьотинген.

Откриването на университет в Хамбург след Първата световна война съвпада с времето, когато се търсят места за останалите без работа преподаватели и сътрудници на Имперския университет в Страсбург, който по силата на Версайския мирен договор остава във Франция. Експерименталните и теоретичните изследвания в областта на квантовата теория са отлично представени в Хамбург след привличане на ученика на Зомерфелд Вилхелм Ленц за ръководител на катедрата по теоретична физика и на Паули - за негов асистент. Ото Щерн поема катедрата по физична химия. В Хамбург идва ученикът на Рьонген Паул Кох, който ръководи фотометричния отдел на държавната физична лаборатория, а обсерваторията се поема от Рихард Шор. Последните две институции работят в тясна връзка с университетските катедри и институти.

Близостта до Копенхаген както и добрата връзка с големите центрове по атомна физика в Германия - Гьотинген (Борн, Франк, Йордан, Хунд), Мюнхен (Зомерфелд), Берлин (Планк, Айнщайн), Лайпциг (Хайзенберг, Дебай, Венцел) и в Холандия - Лайден (Лоренц, Еренфест, Казимир), Утрехт (Казимир), Амстердам (Зеeman) са другата предпоставка, която за известно време прави Хамбург мост между тези центрове и Копенхаген.

През юни 1922 г. Нилс Бор организира в Гьотинген семинар на тема "Квантовата теория и периодичната система на елементите", на който запознава дошлите от всички части на Германия физици със цялостната си изследователска програма в областта на атомната физика. Току що постъпилият на работа в Хамбург Паули участва на този знаменит семинар като представител на новия си шеф. От Мюнхен идват Зомерфелд и Хайзенберг. Никой от участниците обаче не извлича толкова голяма полза от тези научни срещи, наричани шеговито "фестивали на Бор", както двамата ученици на Зомерфелд: Хайзенберг и Паули. Техните познания, усърдие и изяви карат Бор да ги покани за продължителен срок в Копенхаген.

Паули остава в Хамбург 6 години, включително и близо едногодишния му престой в Копенхаген. Приносите му във физиката през тези години, впоследствие, веднага след Втората световна война, му донасят присъждането на Нобеловата награда по физика (1945 г.). В младия тогава Хамбургски университет атмосферата е била по-различна, по-свободна, в сравнение с тази в по-старите и богати на традиции германски университети, където е бил поддържан съдържан и официален тон на общуване между разделените от научната йерархия сътрудници. С новия си ръководител Паули е бил близък още в Мюнхенския университет, а с Ото Щерн го е свързвало добро познанство още от времето на планирания прочут експеримент на Щерн и Герлах, резултатите от който - пространственото квантуване, той е предвидил. Заможният Щерн, подобно на Паули, е бил "нощна птица" и често е канил по-младите си колеги в луксозни ресторанти, където са били обменяни мисли и идеи по актуални научни и обществени проблеми. Връзките с математиците са били също много добри и ползотворни.

Престоят на Паули в Копенхаген - от септември 1922 г. до октомври 1923 г. се оказва незабравим за него. Тук той отблизо се запознава с изследователския стил и с програмата на Бор. По това време сътрудниците на Бор са скандинавците Оскар Клайн, Ханс Мариус Хансен, Свен Вернер и Свайн Роселанд, както и холандците Хеендрик Крамерс и Дирк Костер. Паули е първият физик от немскоговорящите страни работил по-продължително време при Бор. Точно по това време Бор получава Нобеловата награда (1922 г.) и Паули му помага при превода на доклада му по този повод за публикуване в германско списание. С часове Бор е можел да се занимава с формулирането на дългите си и понякога заплетени изречения и тази съвместна дейност се оказва чудесна възможност за Паули да вникне в начина на мислене на Бор. На колегите си в Германия Паули пише: "Тук съм добре и изучавам физиката на Бор. Тя е от съвсем друга величина в сравнение с тази на останалите физици".

След една съвместна работа с Крамерс върху теорията на ивичните спектри Паули се обръща към един от значимите проблеми на тогавашната квантова теория. При аномалния ефект на Зееман за някои елементи се наблюдава странно разцепване под влияние на магнитно поле. С помощта на съществуващата теория това явление няма обяснение: както теорията на пертурбациите, така и векторният модел на Алфред Ланде се оказват безсилни. Под влияние на Бор Паули постепенно се дистанцира от механистичните представи и се ограничава с "чисто феноменологичните".

Към края на престоя си в Копенхаген Паули завършва изследването си за приложимостта на мултиплетите при преход от слаби към по-интензивни магнитни полета (ефект на Пашен-Бак), което впоследствие е от значение за формулирането на принципа за изключване, наричан още принцип на Паули. Публикации на Хайзенберг от същия период също са свързани с възникването на този принцип.

През лятото на 1923 г. Зомерфелд предлага на Паули да бъде хабилитиран в Мюнхен, но той решава да остане в Хамбург, където също предстои хабилитирането му. Проблемът за термичното равновесие между лъчение и свободни електрони става тема на хабилитационния му труд. Паули извежда и нова формула за честотата на процесите на Комптън-Дебай, която изразява факта, че процесът на разсейване на свободни електрони е възможен само поради запазването на енергията и импулса при единични квантови процеси.

За Паули е било очевидно трудно да напусне Копенхаген, особено след завързалото се тясно приятелство с Крамерс. При завръщането си през октомври 1923 г. в Хамбург той донася със себе си една пълна работна програма, въпреки че не споделя всички схващания и идеи на Бор. Започва работа по разделите за теорията на лъчението и теорията на атома, които е трябвало да бъдат част от учебника по физика на Мюлер и Пуиле. Това му дава възможност да преосмисли различните опити за решаване на трудностите в атомната теория, включително и собствените си идеи. Тогава именно е направена първата крачка към формулирания по-късно принцип на изключването (известен и като "принцип на Паули"). Следващи крачки към окончателната формулировка на този принцип са ревизирането на предложените от Бор максимален брой електрони в подгрупите на електронните слоеве и въвеждането на две нови квантови числа за подразделенията на електроните в подгрупите. В началото на 1925 г. Пули подготвя публикацията, в която пише за "забрана на еквивалентни електрони" (т.е. за електрони, които по отношение на квантовите си числа и енергия на свързване са равностойни) или кратко "правило на изключване". Обаче, поради по-всеобхватното

си значение, тази "забрана" придобива статут на всеобщ физичен принцип. С този принцип става възможно обяснението на структурата на периодичната система на химичните елементи. Валидността му не се ограничава само с поведението на електроните в един атом, а служи и за решаване на редица проблеми в химията и твърдото тяло, като например възникването на химичните сили на свързване, пара- и феромагнетизма, както и на други свойства на металите и полупроводниците.

Фундаменталният характер на принципа на Паули се разкрива обаче през 1926 г. на фона на откритата от Шрьодингер вълнова механика. Хайзенберг веднага забелязва, че този принцип отговаря на неразличимост на частиците като електрони или протони. Тогава може да има само такива решения на вълновото уравнение на Шрьодингер, които при заместване на частиците са или симетрични, или антисиметрични по отношение на знака. Свързаният с това въпрос за симетрията при други елементарни частици довежда до класификацията им на бозони и фермиони. През 1927 г. Дейвид Денисън показва, че протоните, както и електроните, са фермиони. Светлинният квант, наричан фотон, или квантът на електромагнитното поле, принадлежи към бозоните. Откритите и през следващите десетилетия нови елементарни частици са били също класифицирани съобразно това свойство на симетрия. Към края на 30-те години Паули изяснява и връзката между спин и статистика в рамките на релативистичната вълнова механика и по този начин дава по-значителна обосновка на наречения на негово име принцип.

През 1925 г. Хайзенберг разработва теоретичната база на атомнофизичните процеси чрез ограничаване само до наблюдаеми величини с помощта на матричното смятане. Запознавайки се с основните идеи на тази нова теория, Паули с нейна помощ разглежда водородния атом и така допринася за утвърждаването ѝ.

През април 1928 г. Паули е избран за редовен професор по физика във Федералното висше техническо училище в Цюрих. Там той работи до края на живота си, с изключение на периода на Втората световна война, когато е в Института за Висши изследвания в Принстън, САЩ.

Паули рядко е изказвал хипотези, но в случая с "мистериозното" β -разпадане на ядрата, той по изключение през 1930 г. постулира съществуването на хипотетична неутрална частица, наречена по-късно неутрино. По този начин не се нарушава законът за запазване на енергията при процеси в атомните ядра - нещо, което са допускали Бор и някои други физици. Предложението за тази нова частица, прието отначало много скептично, е доразвито през 1934 г. от Енрико Ферми, който изгражда теорията на β -разпадането. Неутриното придобива голямо значение през следващите години в теорията на елементарните частици, а след опитното му потвърждение през 1956 г. всякакви съмнения за съществуването му отпадат.

Въпросите за симетрия и инвариантност на природните закони за запазване са придобивали все по-голямо значение в съвременната физика, като постепенно са измествали моделите и аналозите като средство за описание на природата. Това преориентиране е поощрявано от Паули чрез подчертаването на математичните методи при оценка на физичните теории.

Към края на живота си Паули се оказва още веднъж в центъра на събитията във връзка с вълнуващото откритие на нарушаване на закон за запазване при радиоактивните

превръщания. Проблемът е свързан с т.нар. СРТ-теорема, където С, Р и Т означават съответно електричен заряд, пространствена четност и времева инвариантност. Паули доказва общоприетата по-късно формулировка на теоремата, като нейното значение се вижда след наблюдаването на нарушението на четността при β -разпаданията, т.е. при слабите взаимодействия. Този експериментален факт предизвиква ново преразглеждане на всички закони за запазване и усилено изследване на свойствата на симетрии на елементарните частици. Убедеността на Паули във валидността на законите за запазване е разколебана: дори законът за запазване на енергията, за който Бор някога е изказвал съмнение, започва да му се струва не толкова непоклоним.

Като много живо интересуващ се от основите на научното познание Паули винаги се е занимавал с процеса на възникването на понятия и теории в естествознанието. При това, както Мах и Бор така и той е повлиян от идеите на цюрихския психолог Карл Густав Юнг, с когото се запознава по-отблизо през 1930 г. Както Юнг, така и Паули е убеден, че между света на външните психични явления и вътрешните душевни преживявания и процеси в подсъзнанието би трябвало да съществува дълбока връзка. При "откритието на нещо ново" би трябвало "подсъзнателни разпоредители на представите" - които, основавайки се на учението на Платон за идеите, могат да се нарекат първообрази - да довеждат до припокриване на "по-рано съществуващи вътрешни образи в човешката психика" с външните явления. Тук Паули се проявява вече не само като физик, а и като философски мислещ естествоизпитател.

През 20-те години на XX век Паули принадлежи към малката група физици-теоретици, които окончателно преобразуват изградената върху класически теории картина за света, замествайки я с нова, почиваща на микрофизични събития, квантовомеханична картина. Физиката от предишната епоха се опитваше да осмисли природните явления чрез непосредствена нагледна представа и реконструкция с помощта на модели. Междувременно обаче в микросвета излязоха на преден план все по-често неподдаващи се на онагледяване аспекти на природни явления, които можеха да бъдат възприемани само чрез изследване на формалните и структурни свойства на лежащите в основата им свойства.

Чрез непримиримата си критичност и носещ неговия отпечатък изследователски стил Паули повлия директно или индиректно на своите асистенти и на цели поколения физици. Още като твърде млад Паули е награден за научните си приноси с медала на Лоренц, като е приветстван при награждаването от Еренфест с думите: "Вероятно е, че още по-голямо значение от публикациите му имат неизброимите и трудни за детайлно проследяване критични бележки и изказвания при дискусии и в писма, с което той допринася за развитието на новата физика. Необикновената сила на неговата критика, яснотата и преди всичко изключителната честност, с които винаги акцентираше върху нерешените трудности, са неопценима движеща сила за нови теоретични изследвания".

Множество анекдоти и "мистериозни ефекти на Паули" поддържат също спомена за него жив сред физиците и днес. Способността му да анализира, да оценява му донесе славата на *съвестта на физиката*.

Превод (с малки съкращения) от немски език: **Роберт Попиц**

(Karl von Mewenn, Wolfgang Ernst Paulli)

Строго полусекретно !

П.А.У.Л.И. И НЕГОВИТЕ ПРИЛОЖЕНИЯ*

Виктор Вайскопф**

Неотдавна Швейцарският федерален технологичен институт се сдобил с уред, притежаващ уникални възможности. Този сложен механизъм е предназначен за проверка на физически теории, както и за произвеждане на нови теории и идеи. Поради необикновената чувствителност на конструкцията боравенето с тази машина и успешното ѝ използване се оказва доста затруднено. Авторът на настоящото донесение е имал рядката възможност да изучава и използва този механизъм в течение на дълго време и иска да сподели придобития си опит.

Съкратеното название на машината **П.А.У.Л.И.** е разшифровка на "**Производство на Антисиметрични Унитарни Лоренц-Инвариантни (теории)**". При умело, както беше посочено по-горе, боравене машината не само създава нови правилни теории, но и изключително бурно реагира на теории, създавани от други физици, ако техните теории не притежават характеристиките, изброени в названието на машината и/или други необходими свойства.

Машината има почти сферична форма. Много са важни нейните динамични характеристики. Апаратът притежава основна честота на осцилации ω_0 , която е възбудена постоянно, даже когато апаратът не се използва. Стойността на тази честота не е строго постоянна, но е ограничена в границите $0,8 < \omega_0 < 2,2 \text{ s}^{-1}$. На всички потребители горещо се препоръчва да следят за точните стойности на тези честоти и амплитуди на трептения на машината в помещението, защото те са свързани с работните му показатели.

За нещастие устройството е доста едричко и работата му зависи силно от редовното му снабдяване със специално гориво, което не винаги е лесно за доставяне в други страни. Поради тази причина ние не можем да пуснем в действие неин дубликат например в Англия. Все още не е изяснено защо никой не може да я пусне в действие преди обяд, а и в ранните следобедни часове често работи с прекъсвания и понякога опровергава даже безукорни антисиметрични лоренц-инвариантни теории.

Отначало ще обсъдим използването на тази машина за проверка на теории, създадени от потребители. Необходимо е да се спазват специални мерки за предпазливост във всичко, което се отнася до формата, в която се внася теорията в машината. Но даже да се използва и най-сполучливата форма, машината не винаги работи както трябва. Машината трябва да бъде управлявана от специалист. Обикновено при първия опит тя не отхвърля теорията, както и не я потвърждава, а остава в инертно състояние, напълно неочаквано за такава конструкция. Понякога, след като теорията е предоставена на механизма в продължение на половин час, се появява първата реакция, но толкова слаба, че неизкушеният човек едва ли може да заподозре нещо нередно. Обаче скоро се

забелязват първите признаци във вид на издавани от машината слаби звуци, напомнящи немските словосъчетания от рода: “Ganz dumm” или “Sind Sie noch immer da?”¹, които понякога са съпроводени от нерегулярни флуктуации на честотата и амплитудата на споменатите по-горе основни трептения.

След многократното въвеждане на теорията в машината (пнякога се налага до петдесет пъти), когато се постигне успех и протече положителна реакция, машината изсъсква нещо подобно на: “Ach so, warum haben Sie das nicht gleich gesagt!”². Това показва, че зъбчатите колелца най-накрая са се зацепили и процесът е започнал. Резултатите от работата машината съобщава във вид на следните периодично повтаряни кодирани звуци: “Ganz falsch”, “Sie sind schon wieder so dumm”, “Natürlich, wieder falsch”³, които означават, че теорията е невярна. Но ако се разнесе: “Hab ich nur auch schon überlegt?”, “Das kann besser machen”⁴, това е указание, че теорията е правилна.

Интересно е машината да се помести в аудитория по време на семинар. При планиране на такъв експеримент наложително е да се предвиди известно пространство за основните трептения, чиито амплитуди проявяват тенденция към нарастване по време на такива експерименти. Обикновено резултатите не са много окуражителни. Поради изключителната чувствителност на устройството в някои случаи се наблюдава положителна обратна връзка, която води до излизането на машината от строя. Такава повреда носи забележима опасност за докладчика, но на машината не се отразява сериозно. Даже понякога такива непродължителни разряди в машината подобряват показателите ѝ.

Сега ще преминем към разглеждане на второто предназначение на машината П.А.У.Л.И., а именно производството на нови теории. Въпреки че може да се очаква, че тази задача ще бъде по-сложна за обслужващия персонал, тя, напротив, се оказва значително по-проста. Фактически, необходимо е само машината да се изолира от външни въздействия. Докато апаратът е снабден с достатъчно количество бяла хартия и подходящо гориво (установено е, че за целта най-добре е да се използва смес от 5 фунта въглерод с растителни белтъци, предварително нагreti до 700 К, която след това се охлажда и се въвежда в машината на порции от по 20 - 30 грама) и се изолира от акустичния шум, създаван от студентите, машината непрекъснато изригва с потресаващо количество нови правилни антисиметрични унитарни лоренц-инвариантни теории, записани върху хартия.

Показателите на машината могат да бъдат съществено подобрени с добавяне към горивото на определени химически съединения ...

Бел. на агент N.A. Тук материалът прекъсва и до днес не е намерено продължението му.

* В течение на близо четвърт век този материал е бил засекретен от Швейцарската Комисия по Атомна Енергия (ШКАЕ). След като неотдавна и руснаците пуснаха подобна машина – с около два пъти по-голям радиус - в действие, ШКАЕ разреши нейната частична публикация. - *Бел. Автора*, юли 1951 г.

Материалът е докопан от нашия двоен агент - на ШКАЕ и КГБ - Н.А. в папка с надпис “Физици шутят”, Изд-во “Мир”, 1966 г.

**** Виктор Вайскопф** (р. 1908 г., Виена) - световно известен агент-теоретик със значителни приноси в областта на атомните ядра и квантовата теория на полето. През 1934 – 1937 гг. яде попарата на Паули в Цюрихската политехника. От 1943 г. до 1946 г. е зам.-ръководител на теоретичния отдел на Лос-Аламоската лаборатория, където му е дадено прозвището “Лос-Аламоския оракул”. Директор е на ЦЕРН от 1960 г. до 1965 г.

¹ Много глупаво! Вие сте още тук?

² Ах, така ли? Защо веднага не ми го казахте?

³ Напълно невярно. Вие дърдорите глупости. Разбира се, пак е невярно.

⁴ Нима не го казвах преди малко? Но това може да се направи по-добре.

ЦВЕТОУЧЕНИЯТА НА ГЪОТЕ И НА НЮТОН В СВЕТЛИНАТА НА СЪВРЕМЕННАТА ФИЗИКА *

(250 години от рождението на Йохан Волфганг Гьоте)

Вернер Хайзенберг



Който се стреми в сътрудничество или в съревнование с други учени да движи науката напред, би могъл да се задоволи с това да вложи всичката си сила в тесния кръг на едно конкретно изследване. Обаче онзи, който иска да има цялостен поглед върху научния напредък, ще постъпва добре, ако винаги прави сравнение с научните задачи на едно минало време и търси следите на своеобразните изменения, претърпени в течение на десетилетия или на векове от някой голям проблем. Един плодотворно поставен въпрос, макар и получил ясен отговор, винаги може по-късно да се прояви в нова светлина.

Постоянната промяна на съвременното естествознание по посока на една абстрактна и отдръпната от живия наглед власт над природата, естествено събужда спомена за големия поет, който преди повече от сто години се осмели да поведе борба за едно по-живо естествознание в учението за цветовете. Тази борба приключи, решенията "вярно" и "погрешно" отдавна са взети във всички отделни случаи. Гьотевото цветоучение донесе многократно плодове в изкуството, физиологията и естетиката. Обаче победата, влиянието върху науката в следващия век, отнесе Нютоновото цветоучение. Необичайният възход на тази нютонова физика от тогава до сега даде тъкмо през последните десетилетия възможност да се проявят по-ясно от когато и да било последствията на това изследователско направление. Отчуждаващата абстрактност на представите, която ни позволява, например в съвременната атомна физика, да властваме над природата, хвърля днес по-ясно от всякога светлина върху фона, на който се е водил този прочут спор за цветоучението. Нека първо се спрем на този фон.

Знаем, че външен подтик за интензивно природознание Гьоте е получил по време на пътуването си в Италия. Геологичната структура на страната, разнообразната растителни форми под южното небе, светещите цветове на италианския пейзаж поглъщат неговото внимание при пътуването и оживяват отново за нас в живописния

му пътеписен дневник. Тези записки също ни показват как неговите впечатления като че ли сами по себе си прерастват в научно виждане и как от непосредствено преживяната природа възникват представите, които после лягат в основата на Гьотевото виждане на природата. Върнал се във Ваймар, Гьоте започва да обработва донесения опит: пръв плод на тази дейност е появилата се през 1790 г. *Метаморфоза на растенията*. Отначало той оставя настрана теоретичните си занимания с цветовете, произлезли по негово признание от въпроси на колорита. Призмата, която след връщането си Гьоте взел на заем от дворцовия съветник Бютнер в Йена, за да изучава цветовите явления при пречупване на светлината, остава неразопакована върху работната му маса. Едва когато - някъде през пролетта на 1791 г. - собственикът на призмата си я поискал обратно, като пратил прислужник да я вземе, Гьоте използва случая да погледне веднъж през нея, за да види очакваните цветови явления. За голяма своя изненада открил, че големи бели полета не се оцветяват, както очаквал от това което бил научил за Нютоновото цветоучение, а си остават бели, и че същото важи и за големи тъмни площи и че само на ръба между светло и тъмно се появяват цветови ивици. Тук Гьоте вижда, "че е необходима граница, за да се появят цветовете". Това откритие, което според него трябвало да противоречи на Нютоновото учение, става подтик за интензивни занимания. Гьоте решава, че цветовете се пораждат от обединяването на светло и тъмно, а не от самата светлина, както учи Нютон. Това заключение прави за редица други явления. Слънцето, което през деня свети в бяло, ако бъде затъмнено от слой мъгла, изглежда жълто и червено. Огрян от Слънцето димът, излизащ от комина, изглежда синкав. Убеден от множество други наблюдения, Гьоте смята, че в произхода на цветовете от светлина и тъмнина, от примеса на мътно и прозрачно, е открил "протоявлението" (Urphänomen). Това първично явление - поверено като водеща идея не на разума, а на опита - обхваща в единна подредба различни цветови явления на сетивния свят. Тази подредба, която в Гьотевото цветоучение е хармонична и до последните си подробности, ни бива представена изпълнена с живо съдържание, покрива цялото царство на обективните и субективни цветови явления. Тъкмо ония цветове, обусловени само от процеси в човешкото око и дължащи се всъщност на "измама" на сетивата, Гьоте разглежда особено грижливо. И когато в един от най-хубавите си стихове на *"Западно-източен диван"* споменава цветовото протоявление, разбираме какво значение за него е имало това откритие.

Гьоте е смятал, че неговото цветоучение непреодолимо противоречи на Нютоновото. Затова трябва да кажем нещо и за Нютоновата теория. Съгласно нея, а тя и до днес лежи в основата на всяка физична оптика, бялата светлина е съставена от светлини с най-различни цветове, по същия начин както, да речем, звученето на морския прибой, макар и съставено от шумовете на отделните вълнови удари, бива възприемано сетивно като нещо особено, със свой собствен характер. Чрез външно въздействие от бялото можем да извлечем цветовете. Понеже за това винаги е необходимо вещество, което да отнеме светлина и така става сравнимо с онова, което Гьоте нарича "мътно" или "тъмно", то и по Нютоновата теория е разбираемо, че цветовете се получават от бялата светлина само при взаимодействието ѝ с "тъмното". И въпреки това, във всяка от двете теории явленията са подредени съвсем различно. Най-простото явление в Нютоновата теория е тясноограниченият едноцветен светлинен лъч, очистен чрез сложни уреди от лъчи с други цветове или с друга посока. Основното понятие на Гьотевото учение е сияйната обливаща ни дневна светлина. В Нютоновото учение, тъй отдалеченото от нагледа основно явление прави оптичните феномени достижими за измерване и математически разсъждения. Разпространението и проникването на светлината се определят чрез измерване, формулират се математически и така на даден цвят може да

бъде съпоставено число - по днешната терминология: дължина на вълната. Така оптиката става онова, което обикновено наричаме точна наука, която учи как да построим най-прецизните оптични инструменти, с които можем да надникнем в недостъпни пряко за човешкото око части на света. Наред с това е разбираемо, че това учение, което дава някаква власт над светлинните явления и ги прави практически използваеми, с нищо не помага на сетивата ни да възприемат по-живо заобикалящия ни пъстър свят.

Това сравнение показва в каква посока са били принудени да се критикуват едно друго двете учения. За Гьоте изходната точка на Нютоновото учение е неестествена и странна: бялата светлина в най-чистата си форма бива понижена до нещо съставно и за физиците протоявлението е една минала през процепи, лещи и призми измъчена светлина. Разбираемо е разочарованието на Гьоте, изразено с думите: "така физикът става господар на явлениято, като събира данни, сглобява ги и ги затяга с помощта на изкуствени опити, ... само с тихо поклащане на глава и лека усмивка посрещаме смелото твърдение, че това все още е природа. На архитекта не му идва на ум да обяви дворците си за планински образования или за гори". Гьоте изобщо отхвърля желанието на физиците зад света на явленията да откриват техните причини. "Дори да бъде намерено такова протоявление, остава още друга злина, че не го признават за такова, че зад него и над него търсят нещо повече. Когато тъкмо тук би трябвало да спре съзерцанието. Нека естествоизпитателят остави протоявленията в техния вечен покой и божественост".

Обратно, физикът може да упрекне Гьотевото учение, че то не може да бъде доизградено в една точна наука, която да доведе до действително овладяване на оптичните явления. По Гьотевото учение не могат да бъдат предсказвани и наблюдавани явления, нещо което Нютоновата теория претендира да може. Освен това в Гьотевото учение съзнателно са слети неща, които физикът винаги най-грижливо се старае да отдели едно от друго: да не смесва субективно с обективно, а за него това е първата предпоставка при всяко изследване. Така с Гьотевото цветоучение той може да обогати познанията си в отделни области; може да научи нещо за реакциите на окото при цветови въздействия или нещо за цветовете на химичните съединения, за пречупването на светлината, но в Гьотевото учение няма единство. Реакциите на окото трябва да намерят своето обяснение в по-тънкия строеж на ретината на окото и на очния нерв (които предават цветоусещането в мозъка), цветовете на химичните съединения трябва да могат да бъдат пресметнати от атомния строеж на съединенията, накрая явленията на пречупване следват математически от свойствата на разпространяващата се вълна ... При Гьотевия възглед непосредствената връзка на тия явления изглежда неразбираема. Тук се откроява нещо общо за цялата природа: процеси, представящи се на сетивата ни като сродни и тясно свързани, често губят тая връзка, когато решим да изследваме причините им.

Всички ония, които в по-ново време са се занимавали с Гьотевото и Нютоновото учение смятат, че е безполезно да се питаме кое от двете е вярно и кое погрешно. Такова решение наистина може да бъде взето във всяка отделна ситуация и в малкото на брой случаи на действително противоречие естественонаучният метод на Нютон побеждава интуитивната сила на Гьоте. Но в основата си двете теории се занимават с различни неща и ни остава въпросът, как е възможно с понятието цвят да бъдат свързани толкова различни неща.

Вече е обръщано внимание на това, че по тоя въпрос Гьоте и Нютон са тръгнали по два в методично отношение съвсем различни пътя. Докато Нютон очевидно се стреми да направи цветовете достъпни за точно измерване и така се опитва да подреди математически цветовия свят, тъй както бе сполучил да направи това в механиката, у Гьоте не срещаме математически разсъждения. В своето цветоучение той дори изрично се отказва от математиката, но при това споменава, че на отделни места е желателна помощта на изкусни измервания. При по-внимателно вникване обаче това различие се оказва не толкова важно, колкото изглежда на пръв поглед. Това, от което Гьоте се лишава, не е собствено математиката, а само математическият занаят. Ако става дума за математиката в нейната най-чиста форма, като например теорията на симетриите и на целите числа, то и Гьотевото цветоучение съдържа не малко математика. Например в частта за "сетивно-нравственото действие на цветовете" става дума за симетричното им подреждане по полярни връзки. Шестте основни цвята Гьоте подрежда в един правилен шестоъгълник или в разделен на шест части кръг в следния ред: червено, синьо-червено, синьо, зелено, жълто, жълто-червено. Всеки цвят лежи срещу допълнителния му: зелено срещу червено, синьо срещу жълто-червено. Това симетрично подреждане ни подтиква да изучим различни взаимоотношения между цветовете. Противоположно разположените цветове, според Гьоте, сочат "чисто хармонични, от само себе си породени съчетания, които винаги водят до цялостност". Съчетаването на цветове от кръга, разделени от само един цвят между тях, Гьоте нарича характерни, защото, "всички имат нещо особено, което се налага със собствен израз, но не ни задоволява, понеже характерното възниква само като част от цялото, с което е в определено отношение, без да се разтваря в него". Накрая той нарича съпоставянето на съседни цветове "безхарактерно". Тази трактовка на връзките в цветовия кръг напомня математическите спектри, които виждаме в изкусни орнаменти и в най-простата им форма в калейдоскопа. Подобни симетрични подредби срещаме в цялото Гьотево съчинение.

Но ясна картина за разликата между Гьотевото и Нютоновото учение ще получим, ако се вгледаме в целите, които преследва всяка от тези теории. Това не означава, че всяко научно учение трябва да има определена цел, която единствено да преследва. Но всяка научна теория възниква на един духовен фон, който по един или друг начин съдържа някаква представа за това как би се прилагала тази теория. При това този фон често е обусловен от историческото развитие на съответната наука и не винаги бива ясно осъзнаван от създателя на самата теория. Ако в някакъв смисъл говорим за намеренията на една теория, то Гьотевото цветоучение несъмнено трябва да служи на първо място на художника. Гьоте изрично казва, колко му е липсвало едно цветоучение в изкуството, как му е направило впечатление, че "живите художници работят по стари предания или по някой отделен подтик, че светлосиянката, колоритът, цветовата хармония винаги се въртят в един чуден кръг". Гьотевото учение е тръгнало от желанието да създаде цветоучение в изкуството. Зад това намерение като по-общ фон стои и едно друго желание, за което Гьоте, там където за пръв път в италианския си пътепис споменава за плановите си по цветоучението, казва: "Виждам, че с малко упражнения и постоянна размисъл ще мога да стана съпричастен към тая красива наслада от видяното".

Основата, върху която възниква Нютоновото цветоучение, е съвсем друга. След Галилей и Кеплер естествознанието показва как механиката може да бъде формулирана и разбрана с помощта на математически закони. Нютон бе първият изследовател схванал до каква огромна степен е възможно подобно проникване в природата. И в

оптиката е имало цяла редица изследвания, показващи, че нейни големи дялове могат да бъдат овладени математически. Това прави непосредствено разбираем Нютоновия стремеж да проникне математически в света на цветовете. Трудно е да отсъдим дали още от самото начало този стремеж към точни физически закони е бил свързан с някакво техническо овладяване на природата. Понеже Нютон сам дълго и подробно се е занимавал с подобрения на далекогледните тръби, изглежда тази област на точното естествознание не му е била чужда.

По-късното развитие показва доколко и двете цветоучения са постигнали първоначално поставените цели. Днешните телескопи и микроскопи никога не биха се появили без математическата теория на светлината. Мнозина художници пък са се обогатили и поучили от Гьотевото цветоучение.

Често пъти също е било споменавано, че зад различните намерения на Гьоте и Нютон се крие по-дълбока мирогледна разлика и че принципното различие в настройката на поета и на математика спрямо действителността е довел до две различни цветоучения. И все пак ще бъде несправедливо, ако от тук направим извода, че на естествоизпитателя задължително е чужда поетичната страна на света. Достатъчно е да си спомним за Кеплер, участвал в полагането на това математическо естествознание. При своите многостранни и сложни числени спекулации Кеплер винаги е под влиянието на хармонията на сферите; и който усети въодушевлението, с което той празнува откритието на хармонично съзвучие в траекториите на планетите, ще може да усети изрично поетичния му дух. Голяма част от живота си Нютон е посветил на философски и религиозни изследвания и изглежда е по-правилно да смятаме, че всички истински големи естествоизпитатели са се чувствали у дома си в поетичната сфера. Пък и физиците винаги са се стремили да напипат хармониите в природните явления. Също така би било погрешно да смятаме, че поетът Гьоте повече е държал на това да събуди живото възприятие, отколкото да събира действителни познания. Всяка истински голяма поетична творба ни дава възможност да вникнем в иначе мъчно достъпни области на действителността и тъкмо съчинение като *Farbenlehre* на Гьоте ни дава нови знания и е написано с пълна претенция за научна точност.

Изглежда най-правилно ще определим разликата между цветоученията на Гьоте и Нютон ако кажем, че те се отнасят до два съвсем различни пласта на действителността. Трябва да имаме предвид, че всяка дума от нашия език може да се отнася до различни области на действителността и че чак чрез контекста, чрез традицията и навика решаваме коя област всъщност имаме предвид. Естествознанието на новото време от рано е разделило действителността на обективна и субективна. Докато субективната не бива задължително споделяна от всички хора, обективната действителност им е наложена отвън по един и същ начин и затова се е превърнала в обект на изследване на начеващото естествознание. Така естествознанието се опитва да опише света, като се абстрахира от нас самите, от нашите мисли и постъпки. Сетивата ни са ония повече или по-малко свършени средства, с които познаваме обективния свят, и затова естествено и смислено е физикът да се стреми да усили сетивата чрез изкуствени средства за наблюдение, за да прониква и в последните най-отдалечени, но вече недостижими за непосредствено наблюдение, области на обективната действителност. Тук се поражда лъжливата надежда, че с все по-изтънчени методи за наблюдение можем в крайна сметка да изучим цялата действителност.

На тази обективна действителност, движена от строги закони дори когато ни се струва сякаш случайна, противостои една друга действителност, която е важна и означава нещо за нас. Това което става в нея не бива броено и претегляно, не бива обяснявано, а тълкувано. Когато в нея говорим за смислени връзки, всъщност става дума за взаимоотношения вътре в човешката душа. Гьотевото цветоучение е насочено към тая действителност, която макар и субективна не е по-малко силна от първата; всяко изкуство има предвид тая действителност и всяко значително произведение на изкуството ни обогатява с нови знания за нея.

Първоначалното впечатление е, че като че ли между тези две действителности лежи непреодолима пропаст. Борбата на Гьоте срещу Нютоновото учение тогава би била само израз на това непоправимо противоречие. Развитието на естествознанието през последните десетилетия обаче показва, че това деление на света на две сфери силно огрубява нашата представа за действителността. Затова сега ще стане дума за по-новото развитие на физиката.

Схващането, че нашите сетива не са съвършени средства за опознаване на обективната действителност, накара естествознанието да се отдели все повече и повече от непосредствено сетивния свят. Все по-изтънчени наблюдателни техники осветиха нови аспекти на природата, които бяха останали скрити. В същата степен понятията в естествознанието станаха по-абстрактни и по-малко нагледни. Дори едноцветният светлинен лъч, едно от основните понятия в Нютоновата оптика, е необикновено за нашия наглед понятие. Най-ясно обаче естествознанието се отделя от света на сетивата в учението за електричните явления. През първата половина на 19-ия век бе направен опит чрез понятието за сила учението за електричеството да бъде обвързано с механиката. Откритията на Фарадей и Максвел обаче показаха, че електричните и магнитни явления се подреждат най-лесно, ако се тръгне от понятието за електрично поле. Това понятие може да бъде онагледено чрез аналогия с трептенията на еластични тела, но е ясно, че това е само нагледна помощна представа, способна да изясни математически взаимоотношения. Тя няма нищо общо непосредствено със сетивните ни възприятия за електричеството. Макар и да е ставало дума за някакъв етер, чиито еластични трептения имат електрично действие, този етер не е бил сетивно наблюдаем. Заедно с това обаче излиза наяве една особена мощ на абстрактното естествознание, позволяваща му да открива връзка между различни явления и да намира общия им корен. Така най-дълбокото оправдание за изследването на обективната действителност е, че то доведе до немислимо далечни взаимодействия и че въпреки сложността на отделното, така възниквалата картина на света в цялост доведе до все по-опростени взаимовръзки. Откритието на Максвел превърна светлината в електромагнитно явление и тъй различни области на сетивния свят - електричните и магнитни явления, светлината, невидимите ултравиолетови и инфрачервени лъчи, топлинното излъчване - всички те се оказаха различни аспекти на една и съща физическа област.

Закономерния си завършек това развитие намери в съвременната атомна физика. Тя си поставя за задача да обясни всички достъпни на сетивата и на експеримента свойства на материята, т.е. да ги сведе до изразени в прости математически закони свойства на атомите. Така безкрайното разнообразие на явленията намира в известна степен своето отражение в безбройно много следствия на една проста математическа система от аксиоми. Наистина съвременната атомна физика може, изхождайки от свойствата на атомите, да обясни свойствата на твърдите тела, на химическите закономерности, на действията на топлината и какво ли не друго от това, което възприемаме с материята.

Все пак засега това обяснение само в малък брой случаи е могло да бъде извършено с необходимата математическа точност, но във всички случаи теорията издържа чудесно и най-точните проверки. Но обяснявайки сетивните свойства на материята с поведението на атомите, виждаме също, че на последните градивни частици на материята изобщо не могат по прост начин да бъдат приписани сетивни свойства. Извънредната изтънченост на съвременните експериментални техники наистина позволява да наблюдаваме действието на атома, но той не е обект на непосредствен сетивен наглед. Тук естествоизпитателят трябва да се откаже да свързва непосредствено със сетивния свят основните понятия, върху които да гради науката си. Основни понятия те са по-скоро заради единния, закономерен ред, с който правят разбираеми безкрайно разнообразните прояви в света на сетивата. И че тук става дума за истински ред ни доказва технологията, произлязла от този ред и позволяваща на човека да накара силите на природата да служат на целите му.

Това развитие обаче преобрази по един странен начин обективния свят на естествознанието. Мечтата, светът да бъде описан без да вземаме предвид собствените си мисли и действия, бе породена от намерението да бъдат изключени заблудите, които биха могли да бъдат причинени от сетивни илюзии или от неточността на нашите възприятия. Трябваше да бъде намерена по възможност точна картина на света. Излезе обаче, че тази все по-точна картина все повече се отдалечава от живата природа. Естествознанието вече третира не света на непосредствения наглед, а един тъмен хинтерланд на тоя свят, изваждан наяве от нашите експерименти. Така, до известна степен, обективният свят възниква едва след нашата действена намеса с изтънчена наблюдателна техника, при което и тук се натъкваме на непреодолимите граници на човешкото познание.

Това развитие подсказва, че борбата на Гьоте срещу физическото цветоучение трябва да бъде водена и днес, и то на по-широк фронт. Ако Хелмхолц казва за Гьоте, че "неговото цветоучение трябва да разглеждаме като опит да бъде спасена от нападките на науката непосредствената истинност на сетивното възприятие", днес тази задача е по-неотложна от когато и да било. Огромното развитие на естественонаучните знания преобразява целия свят, преобразява и богатството на технологичните възможности, които като всяко богатство са и дар и проклятие. Затова в последните десетилетия се чува все по-често тревожни гласове, призоваващи към обрат. Според тях отказът от непосредствено сетивно дадения свят и свързаното с това разделение на света на различни сфери вече води до голямо раздробяване на духовния живот и като се отдалечаваме от живата природа, попадаме в един вакуум, дето не е възможен никакъв живот. В областите, за които алармиращите не предлагат съвсем да се откажем от досегашното естествознание и го подканят поне да остане в тясната връзка с нагледния опит. Не било достатъчно да познаваме законите, по които протичат явленията в обективния свят, а било необходимо постоянно да помним всички следствия от тия закони за сетивния свят. Естествоизпитателят трябва да бъде в постоянен досег с природата и чрез опитите си така да свикне с наблюдаваните явления, че законите да се превърнат само в целесъобразни резюмета на опитните резултати. Когато светът на нашите опити стане тъй нагледен и жив, като окръжаващата ни природа, щяла да бъде преодоляна пропастта между двете действителности. По начало обаче е ясно, че само оня, който пълно познава поведението на явленията в дадената физическа област, може да разчита да разкрие взаимозависимостите им в природата. Без точното познаване на многобройни опитни резултати досега не е постигнат напредък в естествознанието. С това обаче не са преодоляни опасностите в днешните природни науки, защото нашите

сложни експерименти не са самата природа, а една природа, променена и преиначена от нашата изследователска дейност. Който не е съгласен с това, трябва да се откаже от цялата съвременна техника и свързаното с нея естествознание. Дали за човечеството едно такова връщане от пътя, по който върви модерната наука, би било за добро или за зло, днес никой не може да каже. Но тъй или иначе, такъв обрат вече не е възможен и ще трябва да се примирим с това, че вече не можем да се отклоним от пътя, по който сме тръгнали.

Когато в зората на новото време разцъфнало мореплаване и смелите походи на първите океански навигатори откриха пътя към завладяването на далечни земи и пренасянето в родината на несметни богатства, също ще да са звучали предупреждаващи гласове, че в новите богатства в еднаква мяра се крие както щастие, така и гибел; може би и тогава са призовавали за връщане към спокойния и непретенциозен живот на отминалите времена. Но тревожните гласове обикновено заглъхват като в пустиня. Стремешът към чужди земи и богатства намира своя естествен край едва когато всички територии са проучени и техните богатства разпределени. Чак тогава погледът се освобождава за може би по-важни задачи, поставени от по-близкото обкръжение. По подобен начин науката и техниката се развиват и в наше време. Както никакви погранични стълбове не са могли да спрат похода към далечните страни, така и движението на техниката не ще може да бъде възпряно от външни пречки. Само природата може да спре това проникване в най-отдалечените ѝ области, като ни покаже, че и там превземаемите територии не са безкрайни. Може би най-характерната черта на съвременната физика се състои тъкмо в това, че ни показва къде са границите на активното ни поведение спрямо природата.

Изходна точка на атомната физика е изглеждащото на пръв поглед естествено допускане, че и познанието ни за атома може да расте неограничено с подобряване на наблюдателните уреди. Макар последни и неделими градивни частици на всяко вещество, атомите изглеждаха като намалени образи на парчетата обикновено вещество, и така атомът, поне в нашите представи, бе дарен с всички макросвойства на веществото. Постепенно стана ясно, че най-малките градивни частици, например електроните, за да обяснят сетивните свойства на веществото, не могат самите те да имат тези свойства, тъй като въпросът за същността на тези свойства би бил само изместен, а не решен. Ако например едно топло тяло се отличава от студеното с по-интензивното движение на атомите в вътрешността му, то един единствен атом не би могъл да бъде топъл или студен. Така постепенно атомът загуби всичките си осезаеми качества. Единствените свойства, които запази, бяха геометричните: протяжност, местоположение и определено движение. В известен смисъл развитието на съвременната атомна физика обаче отне на неделимите градивни частици на всички вещества и тия свойства, като показа, че при най-малките частици вещество степента на приложимост на такива геометрични понятия зависи от експериментите, които правим с тях. Наистина при сравнително слаби изисквания за точност може да се говори за местоположение и скорост на електрона, при това тази точност, сравнена с ежедневиения ни опит, е извънредно голяма. Измерена с мащабите на атомния свят, тя обаче е малка, и един характерен за тоя микросвят закон ни възпрепятства да узнаем с произволна точност едновременно местоположението и скоростта на частицата. Има експериментална възможност да узнаем с голяма точност местоположението на частицата, но тогава трябва да я подложим на толкова силни въздействия, които правят скоростта твърде неопределена. И тъй чрез неизбежното смущение, свързано с всяко наблюдение, природата отбягва точното използване на нагледните понятия. Докато

първоначалната цел на естествознанието бе да опише природата по възможност такава, каквато е сама по себе си, без човешка наблюдателна намеса, днес разбираме, че тази цел е непостижима. В атомната физика не можем да отстраним смущенията, които води със себе си всяко наблюдение. Видът наблюдение решава кои черти на природата ще определяме и кои нашето наблюдение ще размие. Това свойство отделя най-малките градивни частици на веществото от сферата на нагледните понятия. Тъкмо това обстоятелство оправдава схващането, че електроните, протоните и неутроните, от които са съставени веществата, наистина са последните неделими градивни частици на материята и че няма смисъл да се мисли за една тяхна пространствена структура.

От всичко това двойко следва, че обхватът на досегашното естествознание и техника е краен. От една страна фактът, че в атомната физика сме стигнали до неделимите градивни частици на веществото, в недалечно бъдеще би трябвало да доведе до изчерпателен поглед върху използваемите природни сили и възможностите на технологиите. От друга страна начинът, по който атомните явления се отличават от всекидневния ни опит, е важен пример за това, че в естествознанието самата постановка на въпроса и методът на изследване ограничават един краен и затворен обхват от богатството на явленията. По-рано задачата на точното естествознание бе да опише закономерното движение на телата в пространството. Сега обаче виждаме, че тази формулировка не обхваща атомните явления. Въпросът за това какво става вътре в атомната система разрушава чрез самия експеримент съществени и характерни черти на микросвета.

Близо до ума е да разширим тая мисъл и да си припомним упрека на Гьоте спрямо Нютоновата физика. Когато Гьоте казва, че това, което физикът вижда със своите апарати, не е самата природа, той счита че има и други по-живи области на природата, които са недостижими с тази методика. И наистина ние сме склонни да повтаряме, че когато се обърнем не към мъртвото, а към живото вещество, трябва да бъдем все по-внимателни в намесата по пътя към познанието на природата. Отправяйки нашия стремеж за познание към по-висшите и духовните слоеве на живота, все повече трябва да се задоволяваме с едно само възприемащо и наблюдаващо изследване. От такава гледна точка делението на света на обективен и субективен би изглеждало прекалено опростено. По-скоро бихме си представяли една редица от включени един в друг обхвати, отграничени от въпросите, които задаваме на природата и намесите, които допускаме, когато я наблюдаваме. При опита си да концептуализираме такова деление, си спомняме подобното подреждане на области, дадено от Гьоте в допълнение към цветоучението. Той отбелязва, че всички действия, които виждаме в опита, са свързани по непрекъснат начин, но че е неизбежно да ги отделим едно от друго. Подредбата му е следната: случайно, механично, физично, химично, органично, психично, етично, религиозно, гениално. От гледна точка на съвременното естествознание първите обхвати бихме разграничили малко по-иначе: вместо механично бихме поставили всички явления, обхванати от класическата физика, сиреч ония явления, които могат да бъдат описани причинно в пространството и времето. Областта на химията би обхванала атомните явления и нейната закономерна структура би била осветена от съвременната атомна физика. Отделна област на физиката, която да включва и двете, не бихме въвеждали. И на случайното не бихме отделили отделен обхват, тъй като и във висшите области случаят играе една добре определяна от природните закони роля. Така четирите най-ниски обхвати на Гьотевия ред са ясно обозрими в тяхната закономерна структура, връзките и границите помежду им. Съвременната биология вече очертава,

макар и не съвсем ясно, границите и вътрешния строеж на следващия обхват - на органичното. Днес едва ли някой би посмял да определи твърдо всички обхвати.

Когато действителността е разделена на различни обхвати, противоречието между Гьотевото и Нютоново цветоучение се решава от само себе си. Двете теории се намират на различни етажи в голямата сграда на науката. Признаването на съвременната физика не пречи на естествоизпитателя да поеме по Гьотевия път на възприемане на природата. Но надеждата скоро да стигнем до единно и по-живо отношение към природата би била прибързана, защото задачата на нашето време е с експерименти да схванем ниските етажи на природата и да ги овладеем с помощта на техниката. Затова при това проникване в обхватите на точното естествознание първоначално трябва на много места да се откажем от живия допир с природата - едно от Гьотевите предусловия за едно по-дълбоко природознание. Плащайки тая цена, ние вникваме с математическа яснота в далечни взаимодействия, които от своя страна са предусловие за разбиране на високите обхвати. Оня, за когото изоставянето на непосредствено живата област е голяма жертва, не би могъл да тръгне по пътя на точното естествознание. Той би разбрал смисъла на естествознанието само там, където на крайните граници на досегашната си изследователска методика то само открива връзки със самия живот.

Естествоизпитателят, който напуска обсега на живата представа, за да схване големите взаимовръзки, изглежда можем да сравним с алпиниста, който иска да изкачи най-високия връх на огромна планина, за да може от там да огледа ландшафта под себе си в неговите дълбоки взаимовръзки. И алпинистът трябва да напусне населените с хора плодородни долини. Колкото по-високо стига, толкова по-голям става обзорът му, толкова по-оскъден е обкръжаващият го живот. Накрая той достига в една ослепителна област от лед и сняг, в която вече няма живот и в която и той самият се задъхва. Само през тези места минава пътят към върха. Но от този връх с необикновена яснота се вижда простряна цялата страна, не чак толкова отдалечена. Сега разбираме как в предни времена са се страхували от необитаемите върхове, пристъпването към тях е изглеждало като хула спрямо висши сили, които биха отмъстили всекиму, осмелил се да ги доближи. И Гьоте е усещал уязвяващото в методите на естествознанието. Можем да бъдем уверени обаче, че поетът Гьоте е разбрал достатъчно дълбоко чистата и окончателна яснота, към която се стреми науката.

Превод от немски език: **Боян Пенков**

* Die Goethesche und Newtonsche Farbenlehre im Lichte der modernen Physik, *Geist der Zeit* 19 (1941) No 5, p. 261-265. (Реч, произнесена на 5 май 1941 г. в дружеството за културно сътрудничество в Будапеща.)

ДЕЙНОСТ НА ПРОФ. САЗДО ИВАНОВ В БАН

(Посвещава се на 100 години от рождението му)*

Проф. В. Ковачев, ИФТТ при БАН

След като напуска ректорското място в Политехниката (МЕИ), в периода 1962-73 гг. проф. Саздо Иванов (1899 - 1996) е на основна работа в Българската академия на науките и по съвместителство до 1965 г. остава ръководител на катедрата по физика в МЕИ, София. Ето как той самият си спомня постъпването си на работа във ФИ с АНЕБ (Физически институт с Атомна научно-експериментална база) при БАН:

"През лятото на 1962 г. акад. Наджаков ми предложи да заема овакантеното място на заместник - директор на ФИ с АНЕБ като ми каза: *Заедно сме работили в катедрата по опитна физика във Физико-математическия факултет от 1927 до 1945 г. и постигнахме сериозни успехи в развитието на катедрата, ела сега да заемеш вакантното място за зам.-директор, за да работим отново заедно, може би до пенсионирането ни.*"

Всъщност проф. Саздо Иванов работи като заместник на акад. Наджаков до 1971 г., когато акад. Наджаков се оттегля от поста си директор, и след това до началото на 1973 г. е заместник на новия директор на ФИ с АНЕБ - акад. Христо Янков Христов. През 1973 г., на 74 годишна възраст, проф. Саздо Иванов се пенсионира, но не скъсва с физиката, а, както ще стане дума по-късно, продължава всеотдайно да работи като главен редактор на *Годишник на ВТУЗ - физика* и поддържа активна връзка със сътрудниците от направленията по физика и техника на ниските температури в БАН практически до края на живота си.

В качество си на заместник - директор на Физическия институт проф. Саздо Иванов полага много грижи за организационното укрепване и безпроблемното функциониране на този тогава вероятно най-голям институт на БАН. В съзнанието ми са останали спомени от моето постъпване на работа във ФИ с АНЕБ в началото на 1966 г. Тогава имах чувството, че проф. Саздо Иванов осъществява ежедневното и непосредствено ръководство на Физическия институт, тъй като единствено той беше през цялото време в института и единствено той беше достъпен за целия персонал. Тези впечатления, както разбрах впоследствие, не бяха далеч от истината, поради голямата и многостранна заетост на акад. Наджаков по онова време.

В този период във ФИ с АНЕБ започва да се развива научна дейност в областта на физиката и техниката на ниските температури под ръководството на Евгений Леяровски. Проф. Саздо Иванов бе назначен за формален ръководител на лабораторията по ниски температури поради липсата на хабилитиран учен в тази научна област. Проф. Саздо Иванов с голямо желание и любов съдействаше за развитието на лабораторията, за кадровото ѝ попълване и укрепване, за разширяване на материалната ѝ база. Той оказа неопределима помощ за хабилитирането на Евгений Леяровски, след което му предаде официалното ръководство на лаборатория „*Ниски температури*”. Впоследствие от тази лаборатория възникнаха три нови лаборатории -

по магнетизъм и ниски температури, по свръхпроводимост и свръхпроводими материали и по криогенна техника. В тези лаборатории израснаха десетки доктори, доктори на науките, старши научни сътрудници и професори, проведоха се изследвания и се публикуваха стотици оригинални научни статии, обзори и монографии, известни и признати в целия свят.

С името на проф. Саздо Иванов се свързва и създаването на *Международната лаборатория за силни магнитни полета и ниски температури* в гр. Вроцлав, Полша и участието на БАН в нея като член-основател. На 11 май 1968 г. се подписва четиристранно споразумение между Полската академия на науките, Академия на науките на СССР, Българската академия на науките и Академия на науките на ГДР за създаване на горепосочената Международна лаборатория. От българска страна споразумението подписва проф. Саздо Иванов. Тази лаборатория съществува и днес, като към нея има редица нови *асоциирани* членове от Украйна, Германия, Англия и др. и представлява една от най-реномираните международни магнитни лаборатории в света, както по материалната си база и възможностите, които предоставя за прецизни научни експерименти при екстремални условия, така и по получаваните в нея научни резултати. Понастоящем българските учени отново активно работят в Международната лаборатория във Вроцлав и техните резултати са високо ценени. Като илюстрация на много добрата оценка и отношение към БАН и България от страна на колегите в лабораторията може да бъде посочено 63-то заседание на нейния Съвет, проведено преди около седмица (2 - 3 декември 1999). Това заседание беше ръководено от научния секретар на БАН доц. Ал. Ваврек, а докладите в научната сесия към заседанието бяха изнесени от членовете на Съвета от страна на БАН - доц. Ваврек и моя милост. Високото признание за БАН не би било възможно без първоначалните всеотдайни усилия на проф. Саздо Иванов в далечните 1968-73 г. в качеството му на основател и член на Съвета на Международната лаборатория във Вроцлав.

Бидейки зам.-директор на Физическия институт при БАН проф. Саздо Иванов е зает със значителна административно-организационна и научно- организационна дейност и въпреки това той не забравя своите научни интереси в областта на диелектричната проникваемост и диелектричните загуби в полупроводници и диелектрици при въздействие на светлина и други лъчения. Ето какво си спомня д-р Надежда Копаранова, аспирант на проф. Саздо Иванов, която успешно защитава своята дисертация през 1960 г. и след това работи във ФИ с АНЕБ при БАН:

“Под ръководството на проф. Саздо Иванов изработих дисертацията си на тема *Изследвания върху фотодиелектричния ефект при кристалофосфорите от типа ZnS.CdS.Cu,Ag*. Основната цел на работата беше изясняване на въпроса на какво се дължат промените на диелектричните свойства (диелектрична проникваемост и диелектрични загуби) на кристалофосфорите при осветяване. В резултат на изследванията беше установено, че фотодиелектричните загуби в праховидните кристалофосфори се дължат както на увеличение на фотопроводимостта, като се отчита нехомогенността на средата, така и на възникване на поляризуеми комплекси, увеличаващи диелектричната проникваемост на кристалите. По този начин и свободните и локализираните електрони допринасят за фотодиелектричните промени, като относителното им влияние може да се мени с температурата и измерителната честота.”

През 1964 г. проф. Саздо Иванов инициира издаването на ново научно списание в България. В продължение на 30 год. той е главен редактор и полага особени грижи за

редовното и качествено издаване на *Годишника на ВТУЗ - физика*, който от 1974 г. се преименува на *Годишник на ВУЗ - техническа физика*. По данни на дългогодишния сътрудник на проф. Саздо Иванов ст.н.с. д-р Крум Коленцов за тези години Годишникът публикува общо 937 статии в областта на експерименталната и приложна физика, теоретичната физика, ядрената физика, магнетизма и свръхпроводимостта, химическите науки, изчислителната техника, машиностроенето, строителството, минното дело, лесотехниката, и други физически и технически науки. Всеотдайността на проф. Саздо Иванов и в тази му дейност личи от факта, че в последните години той използваше собственото си жилище като редакция за Годишника, на което аз лично съм свидетел.

Ще завърша с думите на Крум Коленцов които аз напълно споделям и вярвам, че изразяват чувствата на всеки човек, работил с проф. Саздо Иванов:

"Проф. Саздо Иванов бе една възрожденска личност, в която бяха намерили място най-добрите черти на българина - човечност, скромност, почтеност, инициативност, отговорност, изключително трудолюбие и всеотдайност. Тези негов качества му позволиха да осмисли своето жизнено и творческо дълголетие, което му бе отредено, без да загуби младежкия си жар за възхвала и любов към науката ФИЗИКА, на която бе посветил целия си живот."

** Слово, произнесено на събранието, проведено на 13.12.1999 г. в Големия салон на БАН, с незначителни съкращения.*

ПРОФ. ПАРАСКЕВА СИМОВА НА 80 ГОДИНИ

Проф. Параскева Димитрова Симова е родена на 6 януари 1920 г. в гр. Кърджали. През 1939 г. завършва Девическата гимназия в гр. Стара Загора, а през 1945 г. физика в СУ, с отличен успех. Още като студентка активно участва в дейността (и в ръководството) на Физико-математическото дружество при Природо-математическия факултет на СУ, а през летните месеци работи в лабораторията на проф. Г. Наджаков. Заедно с Милко Борисов, също студент по онова време, там те създават първата в България апаратура за получаване на Раманови спектри на течности. След дипломирането си П. Симова е назначена като асистентка в катедрата по опитна физика с ръководител проф. Г. Наджаков.

През 1950 г. защитава кандидатска дисертация в Ленинградския университет, посветена на изучаването на междумолекулната водородна връзка в карбоксилни киселини. От 1951 г. е научен сътрудник във Физическия институт на БАН, където се заема с организирането на Лаборатория по спектроскопия. Там д-р Симова, съвместно със своите сътрудници, продължава и задълбочава изследванията върху вътрешно молекулни и междумолекулни водородни връзки и междумолекулни взаимодействия в кондензирани среди – една твърде модерна научна област за онова време. В лабораторията са разработени редица методи за емисионен спектрален анализ на метали и руди. Една от основните дейности на лабораторията, която успешно се изпълнява, е подпомагането с консултации на индустриалните спектрални лаборатории в страната, подготовката на специалисти и развиването на спектрални методи за тях.

През 1953 г. П. Симова е избрана за ст. н. сътр. През 1961 г. специализира във ФИАН, Москва, а през 1966 г. – в Харвардския университет при проф. Н. Бломберген (по-късно Нобелов лауреат). На тези две места П. Симова има възможност да се запознае с бурно развиващите се съвсем нови източници на лъчение – лазерите, както и да навлезе в породената от тях огромна научна област на нелинейните оптични явления (стимулирана луминесценция, стимулирано Раманово разсейване, самофокусиране и т.н.). В България тя е един от основните инициатори за започването на разработка и изследвания на лазери и нелинейни ефекти в твърди и течни среди във ФИ на БАН.

През 1970 г. П. Симова е избрана за професор по физика. През цялото време до пенсионирането си през 1989 г., тя ръководи сектор Оптика и спектроскопия към ИФТТ - БАН.

Проф. Симова е постигнала значителни научни резултати в разнообразни области от спектроскопията и оптиката с голямо фундаментално и приложно значение: вибрационна и Раманова спектроскопия на водородни връзки в молекулите, нелинейни оптични явления в течности, разработване на нови методи и измерване на ИЧ и ротационни спектри на широк клас течностно-кристални съединения, електрооптична памет и фазови преходи в смектични "С" и нематични течни кристали, основополагащи изследвания върху интегрално-оптични и влакнести вълноводи. Голяма част от тези приноси имат пионерско значение, признато и високо оценено от научната общност.

Проф. Симова е автор и съавтор на 107 научни статии, повече от 50 доклада на конференции. Съавтор е на учебник за студенти “Молекулен спектрален анализ”, (София, 1973), монография на английски език “Вибрационна спектроскопия на течни кристали”, (Изд. на БАН, София, 1984), “Атлас на вибрационните спектри на течни кристали”, (WSPC, New York, 1988). Тя е публикувала 12 научно-популярни статии, съставител е на книгата “Бележити български физици”, излязла през 1981 г. Дългогодишен лектор по молекулна спектроскопия във ФФ на СУ. Активен участник и главен организатор на голям брой конференции по спектроскопия с широко международно участие.

Проф. П. Симова е била зам.-директор по научната част на ЕЦ по физика, дългогодишен председател на Националната комисия по спектроскопия, зам.-председател на Съюза на научните работници в България, активен (а сега почетен) член на Съюза на физиците, получила е много държавни награди, ордени, медали и отличия.

Със своята изследователска, преподавателска и мениджърска дейност, проф. Симова се очертава като основоположник и организатор на почти всички направления на спектроскопията и физическата оптика у нас – област, в която българската наука бележи съществени постижения. За тези нейни безспорни заслуги, предлагам Научният съвет на ИФТТ БАН да вземе решение за предложение до Управителния съвет на БАН, за удостояване на проф. Параскева Симова с орден "Марин Дринов".

На 17 февруари 2000 г. ѝ беше връчен почетният знак на БАН "Марин Дринов" за цялостната ѝ дейност и принос в развитието на науката в областта на спектроскопията.

ПРОФ. ВЛАДИМИР ШКОДРОВ НА 70 ГОДИНИ

Професор Владимир Шкодров навърши 70 години. Със своята многостранна творческа и преподавателска дейност той зае достойно място в Академичната общност и заслужи всеобщо уважение.

В астрономическите среди проф. Шкодров има силно присъствие и се наложи като учен с разностранни научни интереси, с оригинални идеи и богата творческа фантазия. С тънкия си усет към наблюденията, с аналитичната си мисъл, с енергията си проф. Шкодров допринесе и допринася много за развитието на астрономията у нас. Не случайно той стана първия директор на новосъздадения през 1994 г. Институт, приемник на Самостоятелната Секция по астрономия при БАН.

Понякога на проф. Шкодров се налагаше да поема и други отговорности и да се отдалечи от астрономията, но дори и в такива моменти, той беше реалния научен ръководител на своята група и солидна опора за целия Институт.

Научната си дейност проф. Шкодров започва преди 35 години в Секция Астрономия с изследвания чрез наблюдения на ИСЗ, като от 1967 г. до 1978 г. е ръководител на Централната станция, създадена веднага след пускането на първия спътник. Изследванията чрез ИСЗ бяха основното направление в научната тематика на Секцията тогава и даваха възможност за прецизиране на нашето познание за Земята и околното пространство. През 1968 г. проф. Шкодров получава количествена оценка на гравитационното влияние на атмосферните маси върху движението на ИС. По тази тематика в Института по теоретична астрономия проф. Шкодров защитава през 1969 г. кандидатска, а през 1975 г. - докторска дисертация. Тези изследвания се отличават с един оригинален елемент - прилагане на математическия апарат на квантовата механика за детайлно описание на планетния потенциал.

Под ръководството на проф. Шкодров, с построяването на Националната астрономическа обсерватория - Рожен, започнаха редовни наблюдения за изучаване на телата от Слънчевата система.

От групата която той ръководи и с негово участие са открити над 100 малки планети, повечето от които по предложение на откривателите носят български имена. Трябва да се отбележи и участието в редица международни програми и най-вече в INAS - първата международна програма за търсене на астероиди, застрашаващи Земята, която се провеждаше от 3 обсерватории в света: Паломарската - САЩ, Рожен и Кот д'Азур - Франция.

Особено успешно бе участието на научната група, ръководена от проф. Шкодров в наблюденията на Халеевата комета в рамките на най-голямата международна астрономическа кампания IHW. Той взе участие при получаването в НАО-Рожен на първата фотография на Халеевата комета, която бе и първа от територията на Европа.

Голяма част от научните си изследвания проф. Шкодров посвещава на динамиката на телата от Слънчевата система. За изясняване на някои фундаментални правила на

динамиката на тези тела проф. Шкодров разработва значително по-детайлно идеите от докторската си дисертация за използване на механизма на квантовата механика в теорията на планетния потенциал, като за целта са използвани D-функциите на Вигнер и коефициентите на Клебш-Гордан, а също така и представянето, което Роуз прилага в квантовата електродинамика. Анализирани са също някои нютонови гравитационни ефекти в системата Земя-атмосфера, които по амплитуда и период са почти равни на ефектите от общата теория на относителността в същата система.

Обект на научните изследвания на проф. Шкодров е и динамиката на тесни двойни звезди, както и анализ на кривите на блясъка на някои специални тесни двойни системи. По-важните резултати се изразяват в следното:

1. Създадена е обща теория в нулево и първо приближение за динамичното поведение на външната обвивка на тясна двойна система, което в общия случай се описва от диференциално уравнение, идентично с това на Хил за движението на Луната около Земята. В нулево приближение теорията съвпада с традиционната теория на звездните пулсации.
2. Получени са общи аналитични връзки между кривата на блясъка на двойни звезди с петна при различно моделиране. Резултатите са особено полезни при решаване на обратни задачи.
3. Моделирани са криви на блясъка на тясна двойна система с вещество в либрационните точки на системата. Анализирани са областите на устойчивост около Лагранжовите точки, като се използва числено интегриране на ограничената задача за три тела.

Друга област, към която проф. Шкодров проявява отдавна задълбочен интерес, е История на астрономията и физиката.

Неговите основни идеи, за които търси потвърждение са:

1. Пренасяне на космогонията и идеите на Аристотел от древна Гърция във Византия и България през ранното средновековие, тогава, когато те са непознати в Западна Европа.
2. Пренасяне на космогонията на Аристотел от Византия и България в Западна Европа и най-вече в Южна Франция и Парижкия университет чрез еретичните движения, възникнали на Балканския полуостров.
3. Влиянието на научните концепции на Аристотел за природата върху основните дефиниции, които лежат в основите на съвременната наука и развитието на тези идеи в нютоновата и лагранжовата механика, както и приносът на А. Поанкаре за съвременното обобщение на механиката.

Общият брой на научните му трудове е над 160, които са цитирани над 300 пъти.

Проф. Шкодров има активна преподавателска дейност. Ръководил е 10 докторанти, 7 от които са защитили успешно и един е в процедура на защита. Бил е ръководител на 17 дипломни работи на студенти от СУ и Шуменския университет "Епископ Константин Преславски", където в продължение на 20 години чете лекции по различни предмети.

Междувременно проф. Шкодров е заемал следните длъжности: Национален ръководител на наблюденията на ИСЗ у нас; Ръководител на структурна единица в Института по астрономия; Председател на Научния съвет на ИА; Ректор на Университета “Епископ Константин Преславски” - Шумен; Заместник председател на Комисията по физика при ВАК; Директор на Института по астрономия; Член на Президиума на ВАК при Министерския съвет; Председател на Националния комитет по астрономия; Народен представител в 37-то Народно събрание; член на Парламентарната комисия за образование и наука; Директор на Центъра за обучение при БАН; Член на Управителния съвет на БАН; Член на Ръководството на БАН.

Първото признание за своята дейност проф. Шкодров получава от американските си колеги, които нарекоха астероида 4364 Shkodrov. По случай 70-годишнината си той стана носител на най-високото отличие на БАН - орден (медал) “Марин Дринов” с лента и званието “Доктор Хонорис кауза” на Шуменския Университет. Да му е честит юбилеят и новите отличия. Пожелаваме му здраве и безкраен творчески хъс.

Ст.н.с. д-р Виолета Иванова, ИА при БАН

ПРОФ. НИКОЛА НИКОЛОВ НА 70 ГОДИНИ

Никола Стефанов Николов е роден на 14 февруари 1930 г. в София. През 1952 г. завършва висше образование по физика във Физико-математическия факултет на Софийския университет, а през следващата година е избран за редовен асистент в Катедрата по астрономия при същия факултет. От 1961 г. е редовен аспирант в Държавния астрономически институт “Щернберг” при Московския университет, където успешно защитава кандидатска дисертация. През 1966 г. Н. Николов е избран за доцент по астрономия, а от 1967 г. в продължение на 22 години е ръководител на Катедрата по астрономия. Едновременно с това в периода 1974 – 1978 гг. той ръководи и Самостоятелната секция по астрономия (сега Институт по астрономия) при БАН – в момент, когато тя решава важни проблеми във връзка с изграждането на Националната астрономическа обсерватория на Рожен.

През 1975 г. Н. Николов защитава докторска дисертация по астрономия в Московския университет, а през 1978 г. е избран за професор във Физическия факултет на СУ.

Преподавателската работа на проф. Никола Николов започва с воденето на упражнения към курса по обща астрономия, в който се изучават класически раздели, свързани с непривлекателна изчислителна работа. Заслуга на проф. Николов е, че след завръщането си от аспирантура започва да чете във Физическия факултет за първи път у нас съвременни астрономически курсове като “Звездна астрономия” и “Обща и практическа астрономия”. Като титуляр на тези курсове той е издал записки и учебници по тях. Учебникът по астрономия (1989 г.) за Софийския университет запълва една десетилетна необходимост.

Проф. Николов става инициатор и основен двигател на създаването на специализация по астрономия при Физическия факултет на СУ “Св. Климент Охридски”, което има решителни и дълговременни последици за българската астрономия. Възпитаници на специализацията на практика са всички астрономи, работещи в Института по астрономия на БАН, в Националната астрономическа обсерватория, в Катедрата по астрономия, в Народните астрономически обсерватории и планетариуми. Той винаги е отдавал голямо значение на преподаването по астрономия в средното училище. Автор и съавтор е на учебниците по астрономия за средния курс.

Научно-изследователската работа на проф. Николов също е значима. Тя е съсредоточена в две основни направления – изследване на променливи звезди от типа цефеиди и изследване на звездни агрегати в близки галактики. Астрономическите изследвания на проф. Николов са отразени в повече от 150 научни публикации в международни и наши издания, 2 монографии и множество доклади.

Проф. Николов е дългогодишен член на Международния астрономически съюз (МАС). Международната му известност се изрази в избирането му за член на две Комисии на МАС – по променливи звезди и по проблемите на обучението по астрономия.

Проф. Николов е известен и ценен популяризатор на астрономическата наука у нас. Написал е самостоятелно и в съавторство повече от 15 научно-популярни книги,

множество брошури и статии, някои от които са преведени в чужбина. В качеството си на дългогодишен председател на Съюза на Народните обсерватории и планетариуми той има сериозни заслуги за възникването, развитието и обществения престиж на тези специфически астрономически институции у нас.

За цялостната си дейност като учен, преподавател и педагог проф. Никола Николов е награждаван с правителствени награди и се ползва с името на един от най-уважаваните и авторитетни членове на физическата колегия в България.

Съюз на физиците в България

Становище за важността на физиката за обществото

(Извадка от решенията на 23-та Генерална Асамблея на Международния съюз по чиста и приложна физика - IUPAP - Атланта, август, 1999 г.)

Физиката - изучаването на материята, енергията и техните взаимодействия - е международно начинание, което играе ключова роля за бъдещия прогрес на човечеството. Подпомагането на образованието и научната дейност по физика във всички страни е важно, защото:

1. Физиката е вълнуващо интелектуално приключение, което вдъхновява младите хора и разширява границите на нашето познание за природата.
2. Физиката създава фундаментално познание, необходимо за бъдещия технологичен напредък, който ще продължи да движи световния икономически прогрес.
3. Физиката допринася за развитието на новите технологии и осигурява квалифицирани кадри за нуждите на научния прогрес и за откриване на нови явления.
4. Физиката е важен елемент в обучението на химици, инженери, компютърни специалисти, както и за работещите в други области на естествените и биомедицинските науки.
5. Физиката разширява и обогатява разбирането ни за други науки като науката за земята, селското стопанство, екологията, химията, биологията, както и за астрономията и космологията - области, които са от голямо значение за цялото човечество.
6. Физиката повишава качеството на живота ни, осигурявайки основните познания, необходими за разработване на нови методи и апаратура за медицински приложения, като компютърна томография, позитронно емисионна томография, скенери на базата на магнитен резонанс и ултразвук, лазерна хирургия.

Поради всичките тези причини, физиката е съществена част от образователната система и важен елемент на едно напреднало общество. Затова ние настояваме пред всички правителства да се съветват с физици и други учени по въпросите на научната политика, както и да подкрепят науката физика. Тази подкрепа може да има различни форми, като:

- Национални програми за подобрене на обучението по физика на всички равнища в образователната система.
- Изграждане и поддържане на силни катедри в университетите (и другите академични институции) и осигуряване на възможности за тяхното финансиране.
- Стипендии за студенти и докторанти по физика.

- Адекватно финансиране на националните лаборатории и създаването на нови, ако е необходимо.
- Финансиране и улесняване на международните дейности и сътрудничества.

IUPAP финансира международни конференции при доста строги критерии.

Интересуващите се да се обръщат към: <http://www.physics.umanitoba.ca/IUPAP>, ст.н.с.

Боян Джаков, тел: 7144 574, e-mail: boyan@ie.bas.bg

Превод: **Дора Бенева**

ЧЕТВЪРТА ГЕНЕРАЛНА КОНФЕРЕНЦИЯ НА БАЛКАНСКИЯ ФИЗИЧЕСКИ СЪЮЗ

От 22 до 27 август 2000 г. във град Велико Търново ще се състои Четвъртата генерална конференция на Балканския физически съюз (BPU-4). Организатори на този голям международен форум са Физическият факултет на Софийския университет “Св. Климент Охридски”, Съюзът на физиците в България и Балканският физически съюз със съдействието на Великотърновския университет “Св. Кирил и св. Методий” и общината в град Велико Търново.

Председател на конференцията BPU-4 е проф. дфн Иван Лалов - председател на Съюза на физиците в България, а председател на Локалния организационен комитет е проф. дфн Матей Матеев – вице-президент на Балканския физически съюз. Съорганизатори са проф. Х. Зерефос (Гърция) - президент на BPU и проф. Е. Ризаоглу (Турция) - главен редактор на списанието “Балкански физически писма”.

Конференциите на Балканския физически съюз (BPU), който е основан през 1985 г., се провеждат през 3 години. Предишните конференции се състояха в Солун, Гърция, през 1991 г., в Измир, Турция, през 1994 г. и в Клуж-Напока, Румъния, през 1997 г. Досега са получени много заявки за участие в Четвъртата генерална конференция от балканските и от други европейски страни, като във Велико Търново очакваме около 800 - 1000 участници и гости. Научната програма включва 18 основни направления от физиката, инженерната физика и новите технологии: атомна физика и атомна енергетика, астрономия и астрофизика, гравитация и космология, атомна и молекулярна физика, физика на високите енергии, физика на кондензираната материя, оптика и лазери, физика на плазмата, теоретична и математична физика, компютърни науки, метеорология и геофизика, физика на околната среда, алтернативни източници на енергия, екофизика, приложна физика, обучението във физиката, история и философия на физиката, биофизика. Организира се и научно-приложна изложба с лекции, експонати, демонстрации и др.

През последната година на II-то хилядолетие Четвъртата генерална конференция на Балканския физически съюз (BPU-4) ще обобщи най-важните резултати и тенденции в съвременната физика.

Иван Николов

План за работа на Софийския клон на Съюза на Физиците в България

(декември 1999 г. - декември 2000 г.)

На вниманието на своите членове, Съюзът на Физиците в България – клон София представя план за своята работа по следните раздели:

Раздел "ОБУЧЕНИЕ И КВАЛИФИКАЦИЯ"

- Коледна лектория за учители по физика
– Медицински Университет, кат. "Физика" - януари 2000 г.
- Мартенска лектория за учители и ученици
– Физически факултет на СУ -

Аудитория А207; 17⁰⁰ ч.; всеки вторник на март 2000 г.

- Организиране и подпомагане на 3-ия зимен семинар на докторантите и младите учени от институтите на БАН (8-ми километър) -

декември 2000 г.

- Лектория "Модерни направления във физиката" -

първата седмица на юли 2000 г.

- Съдействие за провеждане на "Ден на отворените врати" във Физическия факултет на СУ и физическите институти на БАН -

април 2000 г.

- Организиране на периодични срещи на координаторите по общини:

декември 1999 г., общ. "Триадница", 22 СОУ (Цв. Къовлева);

февруари 2000 г., общ. "Младост", 81 ОУ (С. Иванова);

април 2000 г., общ. "Люлин", 56 СОУ (Р. Георгиева);

юни 2000 г., общ. "Оборище", СМГ (А. Шишкова).

- Участие в септемврийските съвещания на учителите и провеждане на анкета

15 септември 2000 г.

- Съдействие при провеждането на XXIX Национална конференция по въпросите на обучението по физика на тема "Физиката и обучението по физика на границата на две столетия" -

11 – 14 май 2000 г., гр. Свищов.

- Среща в Клуба на физиците на учителите по физика със заместник-министъра на МОН, отговарящ за средното образование -

февруари 2000 г.

- Изготвяне на актуализиран списък на координаторите по общини и актуализиране на картотеката на учителите по физика.
- Среща на ръководството на СФБ

– клон София с членовете на студентската секция - *март 2000 г.*

Раздел: "ПРИЛОЖНА ФИЗИКА"

- Провеждане на XXII колоквиум "Физиката в опазване на човека и околната му среда" на тема "Въздействие върху човека на физически фактори с малък интензитет"

- Гьолечица, 23-25 юни 2000 г.

- Организиране на семинар "Пазар на научния продукт" в аулата на СУ на тема: "Готовността на СУ и БАН за участие във високо-технологични паркове"

-

април 2000 г.

- Продължаване на дейността по поддържане на демонстрационната техника в училищата.
- Подобряване на връзката с обществеността и медиите за по-достъпно информирание за физическите изследвания у нас.
- Популяризиране на научната и научно-приложната тематика на новооткритата екологична станция на връх "Мусала".

Раздел: "СОЦИАЛНА И КУЛТУРНА ДЕЙНОСТ"

- Провеждане на XXIV-тия Бал на физиците -

май 2000 г.

- Избор на ново ръководство на Клуба на физиците към Софийския клон на СФБ и продължаване на активната му дейност.
- Поддържане на постоянна връзка и помощ на децата сираци от ДПУ No. 1 в град Роман.
- Поддържане на банка с данни за търсене и предлагане на работа на физици.

Раздел: "ОРГАНИЗАЦИОННА ДЕЙНОСТ"

- Провеждане на редовни заседания на ръководството на Софийския клон на СФБ -

всеки трети четвъртък от месеца.

- Организиране на годишна отчетна сесия за дейността на клона -

Гьолечица; ноември 2000 г.

- Основна проверка на картотеката на физиците в София.
- Организиране на чествания и участие в тях:

100 години от рождението на проф. Саздо Иванов - *декември 1999 г.*

110-годишнина на Физическия факултет на СУ - *май 2000 г.*

- Участие в подготовката на IV Балканска конференция по физика в гр. В Търново -

22 – 27 август 2000 г.

- Продължаване на договора за съвместна работа с Националния Политехнически музей.
- Издаване и разпространение на ежегодния информационен бюлетин за 1999 година.

Раздел: "ФИНАНСОВА ДЕЙНОСТ"

- Отчитане на членския внос -

септември 2000 г.

- Периодично одобряване на разходите съобразно проекта –бюджета.

- Подпомагане на млади членове на Съюза с определена сума за участието им на конференции с доклад.

За повече информация може да се обръщате към г-жа Диана Арнаудова, секретарка на СФБ - клон София, ☎ 62-56-440 (всеки работен ден от 12 до 17 ч.)

Ръководството на СФБ - клон София

МИЛА АТАНАСОВА

12 май 1911 г. - 17 февруари 2000 г.

Почина Мила Атанасова, един от основателите на Съюза на физиците в България и негов почетен член, завеждащ катедра "Физика" в Лесотехническия университет и наша обичана колежка.

С нейната смърт загубихме един ревностно предан на физиката обществен деятел, интересуващ се и подпомагащ дейността на Съюза до последните си дни въпреки тежкото си заболяване.

Поклон пред светлата ѝ памет!

СТРЕЛАТА НА ВРЕМЕТО - КОРНУКОПИЯ НА ПРОБЛЕМИ И ИДЕИ

(За новата книга на Иля Пригожин "КРАЯТ НА ДЕТЕРМИНИРАНОСТТА - време, хаос и природни закони", *Херон прес*, София, 2000 г.

Оригинал: Иля Prigogine, LA FIN DES CERTITUDES, *Sciences*, Paris, 1996)

"Времето е или съзидание, или нищо."

Анри Бергсон



Откакто Сър Артър Едингтън произнася (в лекциите си *Природата на физическия свят*, 1927 г.) фразата "стрела на времето", тя се превръща в корнукопия (от лат. *cornu copiae* - рог на изобилието) на проблеми и идеи във физиката (и метафизиката). Трудно е да се измисли природен феномен, който да не е част от тази корнукопия. Тук са необратимите процеси, неравновесната термодинамика, дисипативните структури и процесите на самоорганизация, тук е еволюцията на вселената (и на живота), колапсът на вълновата функция (и, разбира се, котката на Шрьодингер), тук са странните свойства на каоните (вж. *СФ* 2/99), хаотичната динамика, проблемите на детерминизма, на гносеологията, на творчеството в науката ... Не е случайно, че заглавието на книгата си "Стрелата на времето" (P. Coveney, R. Highfield, *The Arrow of Time*. W. Allen, London, 1990) авторите Ковини и Хайфийлд допълват с многозначителното пояснение: "Пътуване през науката в търсене на решението на най-голямата загадка". Подобни

разбирания споделят също Р. Пенроуз, П. Дейвис, Ст. Хокинг и много други изявиени учени (вж. СФ 1/2000, статията на В. Л. Гинзбург, разд. 6 и 7).

Но едва ли има друг съвременен учен, който да е така пристрастен към загадката на времето, както е Иля Пригожин. И, мисля, едва ли има друг съвременен учен, който да е толкова вещ познавач на проблема в цялата му широта. И най-после, едва ли има друг такъв съвременен майстор на перото в жанра “високонаучна популяризация”, какъвто е Иля Пригожин. Използвам непривичен израз, защото не виждам как другояче да окача едно толкова панорамно, толкова дълбоко и заедно с това толкова изящно като литературен стил научно съчинение. Можем само да се удивляваме на виртуозната лекота, с която Пригожин е успял да каже толкова много неща в такъв малък обем (всичко 130 с. заедно с 30-те фигури). Но нека не забравяме, че зад гърба си този автор има много съчинения на сходна тематика, в които той непрестанно шлифова едни идеи и генерира други.

Следващите кратки бележки за научното творчество на Пригожин ще помогнат по-лесно да се ориентираме в идеите на разглежданата книга.

Иля Романович Пригожин е роден през 1917 г. в Москва. Десетгодишен се преселва заедно с родителите си в Белгия. Завършва химия в Брюкселския Свободен университет. През 1947 г. излиза на френски книгата му *Термодинамика на необратимите явления*, а преработеният ѝ вариант излиза на английски под заглавието *Увод в термодинамиката на необратимите процеси* (Спрингфийлд, 1955 г.). По това време Пригожин вече оглавява мощната Брюкселска школа по термодинамика на необратимите процеси.

От 1947 г. Пригожин ръководи катедрата по химическа физика в Брюкселския Свободен университет, а от 1962 г. е директор на Международния институт по физика и химия “Солве” в Брюксел. През същата година излиза на английски книгата му *Неравновесна статистическа механика* (Ню Йорк, 1962), която бележи значителен напредък в създадената от Ларс Онзагер теория на необратимите процеси. С помощта на понятието ентропийно производство Пригожин дефинира стационарното термодинамично състояние на системите като обобщение на равновесното състояние. Ентропийното производство е увеличението на ентропията в резултат на протичащите в системата неравновесни процеси. За необратимите процеси производството на ентропия е положително, а за стационарните процеси то е минимално (теорема на Пригожин).

Нова значителна крачка в областта на неравновесната термодинамика е изследването на силно неравновесните структури, при които се излиза от линейния (Онзагеров) режим и се навлиза в нелинейната термодинамика. С помощта на въведеното от школата на Пригожин понятие за допълнително ентропийно производство (флукуационно отклонение на ентропията от стационарното състояние) става възможно да се дефинира устойчивостта на стационарните състояния (теорема на Гленсдорф - Пригожин). При определен термодинамичен праг на устойчивостта (в точката на бифуркация) системите могат със скок да преминават от устойчиво стационарно състояние в устойчива структура, наречена “дисипативна структура”, която се поддържа за сметка на дисипацията на постъпващата отвън енергия. Механизмът на преминаването към дисипативна структура е флукуационен и затова Пригожин често говори за “ред чрез флукуации”. Тези идеи намират отражение в

книгата на Гленсдорф и Пригожин *Термодинамична теория на структурата, устойчивостта и флуктуациите* (Ню Йорк, 1971).

През 1977 г. на Иля Пригожин е присъдена Нобеловата награда по химия “за приноси в неравновесната термодинамика и по-специално за теорията на дисипативните структури”.

Школата на Пригожин излиза извън границите на Белгия. През 1967 г. той основава и става директор на Центъра за статистическа механика и термодинамика в Тексаския университет (Остин, САЩ).

Теорията на дисипативните структури довежда Пригожин и неговата школа до идеята за самоорганизация в сложни системи. Изследва се не само еволюцията “от Болцманов тип”, т.е. спонтанната деградация на енергията и структурите при растяща ентропия, но преди всичко еволюцията “от Дарвинов тип” - повишаване на сложността и диференциране на пространствените и времеви структури в системите. Изучават се не само равновесните, но също и преди всичко устойчивите неравновесни структури (“структури от потоков тип” по Л. Берталанфи). Плод на тези изследвания е монографията на И. Пригожин и Г. Николис *Самоорганизация в неравновесни системи* (Ню Йорк, 1977).

Възникването на организирано поведение на системите може да е принудително, това е организация, или да е спонтанен резултат от развитието на вътрешни неустойчивости - самоорганизация. През последните няколко десетилетия теорията на самоорганизацията се очерта като бурно развиващо се интердисциплинно направление, в което се очертаха три основни подхода: макроскопски (термодинамичен) - Брюкселската школа на Пригожин, мезоскопски (кинетичен) - Щутгартската школа на Херман Хакен, който нарече теорията на самоорганизацията “синергетика”, и микроскопски (нелинейни динамични системи) - руската школа по автовъзбуждащи процеси. Трите подхода съответстват на три различни равнища на описание, но не са категорично разграничени, а взаимно се допълват.

Нова насока в изследванията на Пригожин и школата му съставят проблемите на еволюцията, на “стрелата на времето”. Тази проблематика намира отражение в извънредно богатата на физически идеи и резултати книга на Пригожин *От съществуване към ставане* (Сан Франсиско, 1980), излязла и на руски през 1985 г. В нея се описват интересните резултати на Пригожин, Мизра и Курбаж за свързване на ентропията с оператор на времевата еволюция на микроравнище. Почти едновременно излиза френското издание на книгата на Пригожин и Стенжер *Новата връзка - метаморфоза на науката*, която беше преведена и на български (“Наука и изкуство”, София, 1989). В тази книга проблемът за времето като проблем на естествените и хуманитарните науки е обсъден в широкопанорамния контекст на темата за метаморфозата на съвременната наука и “новия съюз” на природните и хуманитарните науки като надежден път за подновяване на диалога между човека и природата. Това е дълбоко преосмислена апология на съюза “човек - природа”.

Когато се запознаем по-отблизо с литературното творчество на Иля Пригожин, можем да забележим известна закономерност. Написва се монография, в която са резюмирани изследователските резултати (не само на школата на Пригожин) в определена насока и в единен план. Следва монография, която ни издига на по-високото равнище на

физическите и философски обобщения, откъдето по-ясно се вижда цялостната картина, макар че някои детайли се губят. Така например в монографията на Г. Николис и И. Пригожин *Изследване на сложността* (Ню Йорк, 1989; превод на руски 1990 г.) вече е направена решителна крачка към проблемите на детерминистичния хаос и заедно с това се търси връзката с проблемите на сложността и на еволюционните процеси.



И, както бихме могли да очакваме, Пригожин отново ни издига във високите атмосферни слоеве, за да ни покаже обобщена физико-философска панорама. В *Краят на детерминираността* височините са така големи, че атмосферата вече е твърде разрежена и на места дишането е силно затруднено. Налага се неколнократен и задълбочен прочит, за да успеем (донякъде) да проследим автора в сложния му път между рифовете на различни конкуриращи се теории, идеи и философски схващания.

Началото на този път е означено като “дилема на Епикур”. Тя гласи: как в света на движещи се успоредно и равномерно атоми могат да възникват нови неща, светът да се изменя, човекът да е свободен от веригите на неумолимия фатум?

Изходът, предложен от Епикур (4-3 в.), е типичен пример за хипотеза *ad hoc*: спасението е в случайните отклонения на атомите (в книгата тези отклонения са назовани с латинския термин *клинамен* на Лукреций Кар, последовател на Епикур). В по-нов контекст дилемата на Епикур гласи: как да обясним видимата разлика между минало и бъдеще въз основа на обратимата във времето динамика на телата? Лудвиг Болцман предприема героичен опит да се справи с проблема, формулира своето кинетично уравнение и своята *H*-теорема, но се натъква на враждебната реакция на водещи учени, стига до отчаяние и се самоубива (1906 г.).

Вече цял век проблемът за разкриване корените на стрелата на времето в микросвета е прицел на най-сложни математически етюди, известни под общото название ергодна теория. Пригожин и неговите сътрудници избират твърде своеобразен път: изучават се неустойчиви динамични системи, като тяхната динамика се формулира статистически. Фундаменталните обекти на тази обобщена динамика вече са не траекториите (или вълновите функции), а вероятностите (ансамбли, снопове от траектории). Оперирайки виртуозно с целия арсенал на възникналата през 60-те години на века ни теория на

детерминистичния хаос (неустойчивост, неинтегрируеми системи, резонанси на Поанкаре, хаотични изображения и т.н.), Пригожин успява да покаже, че на статистическо ниво хаотичността на динамичните системи води до необратимо поведение.

Читателят няма много време да си поеме дъх от този главоломен преход и се оказва във водовъртежа на квантовомеханичните проблеми: обратимост на уравнението на Шрьодингер, необратимост на квантовомеханичното измерване - редукция (колапс) на вълновата функция, ограничена предсказуемост – индетерминизъм ... И неочаквано се оказва пред многозначителния извод, че в известен смисъл е постигнато примиряване между конфликтните схващания на Бор и Айнщайн, защото от една страна се запазва - и дори засилва - вероятностният характер на квантовата механика (Бор), а от друга страна се елиминира субективният ѝ аспект (Айнщайн). Така квантовият парадокс, свързан с процеса на измерването, е формулиран - и решен - в контекста на цялостния парадокс на времето.

Съвсем естествено тук излиза на повърхността и гносеологичният проблем: светът е познаваем само със стрела на времето, тъй като всяко измерване, което е източник на знания, създава разлика между минало и бъдеще. А статистическата същност на фундаменталните закони прави тази познаваемост ограничена. Именно тази ограниченост бележи “края на детерминираността”. Така Пригожин отново намира верен път между Сцила на Лапласовия детерминизъм и Харибда на един абсурден свят на случайности, свят без причинно-следствени връзки.

И веднага следва космологичният проблем. Системата гравитация-материя е неравновесна, основното ѝ състояние е неустойчиво. Взаимодействието гравитация-материя съответства на резонанси на Поанкаре, а това води до нарушена времева симетрия, т.е. времето има “стрела”, която не е свързана с Големия взрив. Следователно стрелата на времето е вечна, тя предхожда Големия взрив, “времето предхожда съществуването” (този израз Пригожин е написал на стената на аудитория в Московския университет, редом със сентенции на Бор, Дирак и др.). На фона на стандартния модел на вселената, на фона на схващането за произхода на вселената и времето от сингуларно състояние този извод прозвучава най-малко странно. Но Пригожин и тук намира проход между Сцила на стандартния модел и Харибда на теорията на стационарната вселена: стандартният модел е валиден за вселената, а теорията на стационарната вселена - за протовселената. Раждането на вселената се свързва не със сингуларност, а с неустойчивост (на физическия вакуум), която е аналогична на тази при фазовите преходи. Стрела на времето е имало и преди възникването на нашата вселена, която е само един епизод в безкрайния процес на еволюцията на мегавселената. Тук Пригожин изразява надеждата, че еволюционният подход, според който всички полета имат равноправна роля, вероятно би ни доближил до осъществяването на мечтата на Айнщайн за обединена теория на всички взаимодействия.

В търсенето на трудния път между “слепи закони” и случайни събития Пригожин вижда особено ярък пример за научно творчество. Стрелата на времето е емпиричен факт, а в симетричните по времето закони (на механиката, електродинамиката, квантовата механика, *CPT* - инвариантност при елементарните частици) са съчетани емпирични наблюдения и теоретични абстракции. Междинният път е още по-висока степен на абстракция, в която физическите закони са свързани с неустойчивости на

микро- и макроравнище и описват състоянията като възможни - вероятно, - а не като строго детерминирани.

Ако читателят изпита известно замайване от корнукопията на всичките тези изненадващи идеи и изводи, нека не се смущава от това. Той няма да е единствен.

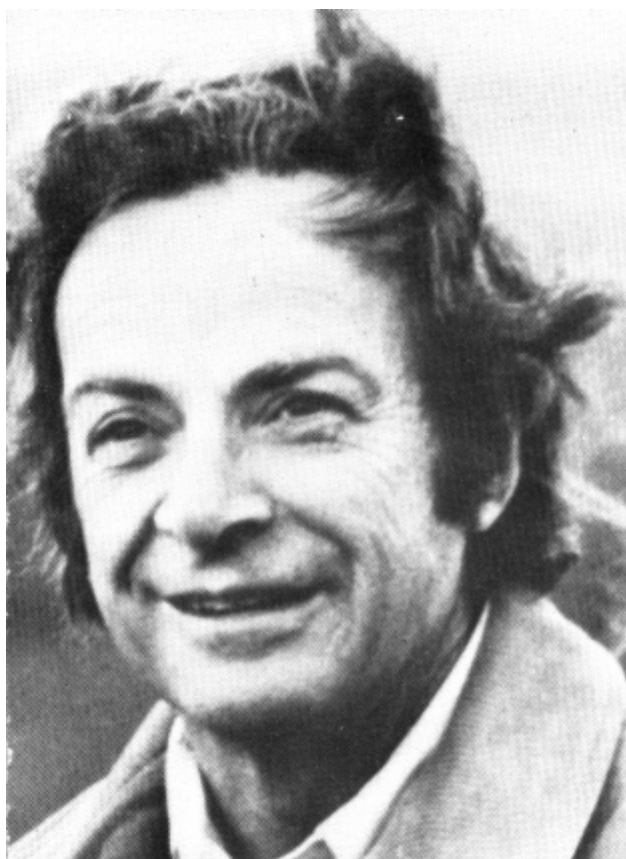
Освен това самият Пригожин съвсем не оценява идеите си като твърде радикални. Защото твърдо се придържа към правилото на Хайзенберг: “добрият физик трябва да бъде колкото може по-консервативен”. Читателят може сам да се убеди, че Пригожин наистина съумява да остане консервативен. Но тъкмо в рамките на парадигмата той успява да открие изненадващо нови пътища. Защото, както казва Гьоте, “творец е онзи, който умее да се ограничава” (и Ричард Файнман казва почти същото: “Научното творчество е фантазия в усмирителна риза”).

Накрая трябва да отдадем заслуженото на издателство “Херон прес” за инициативата да издаде на български тази забележителна книга. Доброто качество на превода (с някои незначителни дефекти) и доброто качество на печатното тяло правят българското издание на книгата почти изоморфно съответствие на френския оригинал.

Михаил Бушев

РИЧАРД ФАЙНМАН - ПОЗНАТИЯТ И НЕПОЗНАТИЯТ

Част 2



За създаването на първата атомна бомба в САЩ е писано много. В превод на руски излязоха: книгата на Р. Юнг, “По-ярко от хиляди слънца” (оригиналът е от 1961 г.), книгата на М. Рузе “Робърт Опънхаймър и атомната бомба” (оригиналът е от 1962 г.), а през 60-те години е написана и книгата на българския писател Стефан Груев “Проектът Манхатън”, която излезе на български през 1998 г. (вж. СФ 3,4/1998).

По традицията на историческия жанр всичките тези книги са писани “с поглед отгоре”, в едър мащаб (за колорит Юнг споменава на едно-две места за Файнман като enfant terrible, създал не малко главоболия на службите за сигурност). Разказът на Файнман за епопеята в Лос Аламос предлага нещо различно и, разбира се, твърде лично.

Поместеният тук материал е с някои малки съкращения, които са означени като редове с многоточия; другите интервали между редовете в текста са авторски.

* * *

Лос Аламос - поглед отдолу (А, с. 107)¹

Казвам “поглед отдолу” по следната причина. Макар че в моята област в днешно време аз съм донякъде известен човек, по онова време бях далеч от подобна известност. Когато започнах да работя в *Проекта Манхатън*, няхах дори научна степен. Повечето от другите лектори, които ви разказват за Лос Аламос, бяха от високите ешелони и носеха отговорност за някои важни решения. Аз няхах грижа за важните решения. През цялото това време пърхах някъде из низините.

Един ден, както работех в стаята си в Принстън, влезе Боб Уилсън² и каза, че са му отпуснати средства да свърши една работа, която е секретна и затова той не би трябвало да казва на никого, но на мен ще каже, защото щом разбере с какво ще се занимава, щях да се убедя, че ще трябва да се включа. После ми каза за проблема по разделянето на различните уранови изотопи, за да се построи бомба. Той познавал процес за разделяне на изотопите на урана (различен от онзи, който по-късно беше използван) и искал да го доразвие. Разказа ми това и завърши: “Ще се събирате в 3 ч. ...”

Казах, че не искам да се занимавам с това: “Добре е, дето ми каза, че е тайна, защото аз няма да кажа на никого, но няма да участвам.”

Върнах се към работата си върху дисертацията и поработих ... около три минути. Станах, започнах да крача и да размислям. Немците с Хитлер имаха очевидна възможност да направят атомна бомба, а възможността да я направят преди нас беше доста страшна. Накратко, реших да отида на събранието в 3 ч.

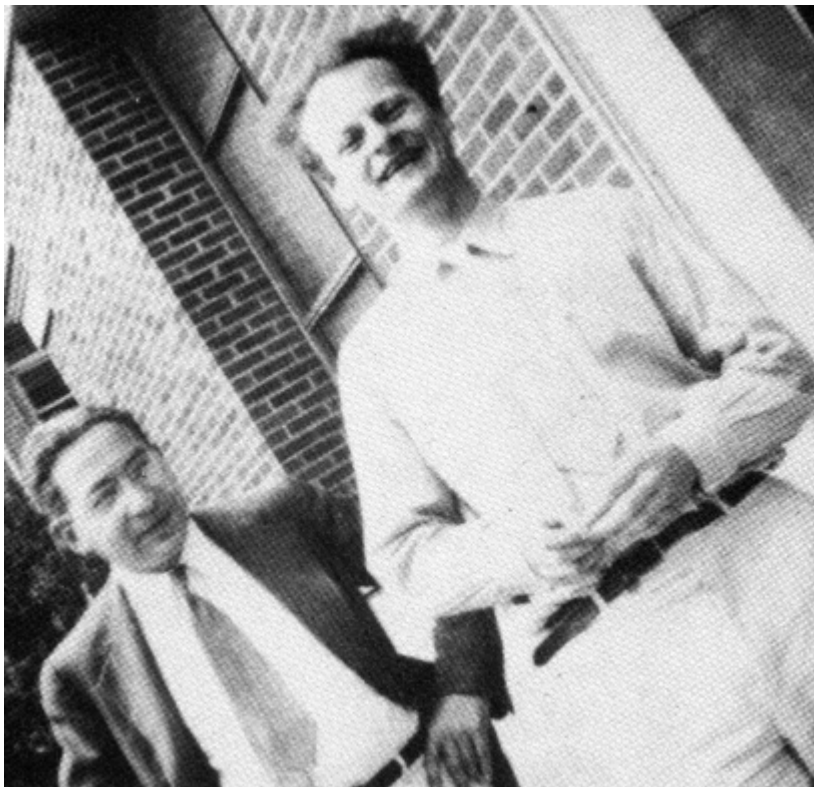
Към 4 ч. вече имах бюро в специална стая и се опитвах да изчисля дали този метод е ограничен от пълното количество на тока в йонния сноп и т.н. Няма да навлизам в подробности. Но имах бюро, имах хартия и работех с все сила, за да могат момчетата, които строеха апарата, да направят на място експеримента.

Беше като на онези подвижни картинки, на които виждаш как една инсталация расте *бруууун, бруууун, бруууун*. Всеки път, когато погледнех нагоре, тя ставаше все по-голяма. Хората бяха решили да работят по това и да спрат всички свои научни изследвания. През войната спря цялата наука с изключение на онова малко нещо, което се правеше в Лос Аламос. А и то не беше кой знае каква наука; повечето беше инженерство.

Всички съоръжения от различните изследвания бяха използвани, за да се сглоби новата инсталация и да се осъществи експериментът за разделяне изотопите на урана. По същата причина и аз спрях работата си, макар че по-късно взех шестседмичен отпуск и донаписах дисертацията си³. Дори успях да я защита, преди да замина за Лос Аламос, така че не бях най-долу в йерархичната стълба, както ви накарах да мислите отначало.

Едно от първите интересни преживявания, които ми достави участието в този проект в Принстън, бяха срещите с много забележителни хора, които по-рано не бях виждал. В експертния комитет, който трябваше да прецени по кой метод да става разделянето на урана, влизаха хора като Комптън и Толман, Смит, Юри, Раби и Опънхаймър. Аз

участвах в него, защото разбирах теорията на процеса за разделяне на изотопите и отговарях на въпроси за него. При дискусията някой изказа мнение, след него Комптън разви друга гледна точка; каза, че трябва да е *така* и беше напълно прав. Друг изрази съмнение, предложи друг вариант.



Изидор Раби и Ханс Бете

Спорът се разгоря. Бях учуден и смутен, че Комптън не направи опит да повтори и защити позицията си. Накрая Толман, който беше председател, каза: “Чухме всички мнения; мисля, че най-добро е предложението на Комптън. Сега да продължим.”

Бях поразен от начина, по който всички предложиха толкова много идеи, всяка от тях засягаше някакъв важен аспект, но заедно с това помнеха какво са казали другите и накрая се спряха на най-добрата идея - без да става нужда тя да се развива три пъти. Наистина големи хора.

Накрая беше решено, че уранът *няма* да се разделя по този метод. Казаха ни да спрем, защото в Лос Аламос, Ню Мексико, се започва проектът за създаването на бомбата. Трябваше всички да идем там и да работим по нея. Трябваше да се правят опити и теоретични разработки. Аз бях в теоретичната част. Всички останали бяха в експерименталната.

Въпросът беше: какво да правим сега? Лос Аламос още не беше готов. Боб Уилсън реши да използва това време и да ме прати в Чикаго, да разбере всичко за бомбата и

проблемите с нея. После щяхме да правим инсталациите, броячи от всякакъв вид и т.н., така че да сме от полза, когато отидем в Лос Аламос. Така че времето не беше загубено.

Изпратиха ме в Чикаго с указания да се срещна с всяка от групите, да им кажа, че ще работя с тях и те да ми поставят техен проблем, който да почна да решавам. Като напредна с първата задача, да отида в друга група и да питам за нова задача. По този начин щях да разбера всичко в подробности.

Идеята беше много добра, но малко ме терзаше мисълта, че те ще се мъчат да ми обясняват нещата с подробности, а аз можех и да не съм им от помощ. Но имах голям късмет. Когато едно от момчетата ми обясняваше проблема, аз казах: “Защо не опитате чрез диференциране под знака на интеграла?” След половин час задачата беше решена, а те бяха се мъчили с нея три месеца. Така направих нещо полезно с инструментариума от “специалната кутия”⁴. Върнах се от Чикаго и описах положението: колко енергия се отделя, как ще изглежда бомбата и т.н.

Спомням си, че след това при мен дойде един мой приятел, с когото работехме заедно - Пол Олъм, математик, - и ми каза: “когато направят филм за това, ще покажат как от Чикаго се връща пратеникът и докладва на хората в Принстън за бомбата. Той ще е с костюм, ще носи куфарче и т.н. - а я се виж ти: смачкана риза и говориш така, сякаш това не е нещо много сериозно и драматично.”

Нещата все още се бавеха и Уилсън отиде до Лос Аламос да изясни каква е причината. Там той разбрал, че строителната компания работи много упорито и е завършила изпитателния полигон и още някои сгради, но не са имали ясни указания как да построят лабораторията - колко газопровода, колко водопровода. Така че Уилсън на място решавал къде, как и колко газ или вода ще се подава и те започнали строежа на лабораториите.

Когато се завърна, ние вече губехме търпение. Събрахме се и решихме да отидем там даже ако не всичко е готово.



Събрание в Лос Аламос. Файнман седи до Робърт Опънхаймър на втория ред

Ние бяхме подбрани от Опънхаймър, а той беше много търпелив. С внимание се отнасяше към проблемите на всеки един от нас. Беше загрижен за моята жена, която беше болна от туберкулоза, дали там ще има болница и всичко друго. За пръв път го видях откъм човешката страна - беше удивителен човек.

Казаха ни да внимаваме много и да не купуваме билети за влака от Принстън до Албъърки, Ню Мексико, защото Принстън е малко градче и ще се разбере, че нещо става. Така че всички взеха билети от други места, с изключение на мен, защото реших, че щом всички други ...

Когато на гарата поисках билет до Албъърки, касиерът каза: "А, значи за *теб* са били всичките онези пратки!" Така стана ясно, че многото сандъци се прашат в Албъърки, защото *аз* заминавам за там.

Когато пристигнахме, жилищните сгради и други такива не бяха готови. В действителност и лабораториите не бяха готови. Бяхме дошли преди срока и строителите много се изнервиха с нас. Наеха ни селски къщи в околността и сутрин ни взимаха с коли. При първото ми пътуване бях поразен от красотата на пейзажа, толкова непривичен за човек от Източното крайбрежие, който малко е пътувал. Огромни скални масиви и високи плата, каквито сме виждали по филмите. Попитах дали там не живеят индианци. Шофьорът след малко спря и показа пещери, които някога са били обитавани от индианци. Беше много вълнуващо.

Когато пристигнахме на обекта, видях голямо строителство. Предполагаше се, че ще изникне град и около него ще има *голяма* ограда. Но засега всичко се строеше и моят

приятел Пол Олъм, който ми беше помощник, стоеше на портала с бележник в ръка, отмяташе влизащите и излизащите камиони и казваше на шофьорите къде да карат товара си.

Влязох в лабораторията и видях хора, за които знаех по техните статии във *Physical Review* и др. Преди не бях ги срещал. Пред огромна маса, покрита с чертежи, стоеше човек със засукани ръкави и през прозореца нареждаше къде да се разтоварват камионите със строителни материали. С други думи експериментаторите нямаха какво да правят, докато не бяха готови сградите и апаратурите, така че засега участваха само в строителството.

От друга страна теоретиците можеха веднага да започнат работа и затова беше решено те да не живеят в селски къщи, а на обекта. Липсваха черни дъски, имахме само една на колела, която разхождахме насам-натам. Робърт Сърбър ни обясни всичко, което в Бъркли знаят за атомната бомба и въобще за ядрената физика. Не познавах много тези неща, бях се занимавал с други въпроси. Наложих се да работя страшно много.

Всеки ден учех и четях, четях и учех. Но имах известен късмет. Всички големи клечки, с изключение на Ханс Бете, по онова време не бяха там, а самият Бете се нуждаеше от някой, на когото да обяснява и да прокарва идеите си през неговите възражения. И така той влиза в тесния кабинет и започва да обяснява идеята и аргументите си. Аз казвам: “Не, не, ти си откачен. Аз бих разсъждавал така.” А той казва: “Един момент” и ми обяснява защо *не той е откачен*, а откаченият съм аз. И все така. Виждате ли, когато чуя за физика, аз мисля просто за физиката и не ме интересува с кого говоря, произнасям тъпотии като “не, не, грешиш” и “ти си откачен”⁵. Но се оказа, че той иска точно това. В резултат Бете⁶ ме назначи да ръководя група от четири души.

Ще ви разкажа нещо за цензурата, която имахме там. Те решиха да правят нещо изцяло незаконно и да цензурират пощата на хората вътре в САЩ - нещо, за което нямат право. Опитаха се да го направят деликатно като нещо доброволно. Трябваше ние да се съгласим да не залепваме пликите на писмата, които изпращахме, а писмата, които се получаваха за нас, те да ги отворят; това ние приехме доброволно. Оставяхме писмата си отворени, а те ги залепваха, когато всичко е наред. Ако според тях нещо не беше наред, връщаха писмото с бележка, че е нарушен еди-кой-си параграф от нашето “споразумение”.

Така всичките тези либерално настроени учени трябваше да свикват с наложената цензура. Още през първия ден звъни телефонът. Казват ми: “Слезте долу, ако обичате.” Слизам.

“Това какво е?”

“Писмо от баща ми.”

“Добре, а тези неща?”

Листът е с хоризонтални линии и над и под тях има точки: четири точки отдолу, една точка отгоре, две точки отдолу, една отгоре, точка под точка ...

“Това какво е?”

Казвам: “Шифър.”

“Добре, шифър, но какво е написано?”

Отговарям: “Не знам какво пише.”

Казват ми: “Но какъв е ключът за шифъра? Как го дешифрираш?”

“Не знам.”

После пак питат: “А това какво е?”

“Писмо от жена ми. На него пише TJXYWZ TW₁X₃.”

“Какво е това?”

Отговарям: “Друг шифър.”

“Какъв е ключът?”

“Не знам.”

Казват ми: “Получаваш шифрограми, а не знаеш ключовете?”

Отговарям им: “Точно така. Това е игра. Предизвиквам ги да ми пишат с шифър, който аз дешифрирам, без да знам ключа.”

Но според едно от правилата на цензурирането те не могат да се намесват в нещо, което обикновено правим по пощата. Затова ми казват: “Би ли им писал да прашат ключ заедно с шифрограмата.”

“Но аз *не искам* да виждам ключа.”

Казват ми: “Няма проблем, ние ще извадим ключа от писмото.”

Така се споразумяхме. На следващия ден получавам писмо от жена ми, в което пише: “Много е трудно да пиша, защото онзи ... гледа през рамото ми.” На мястото на думата - бяло петно.



Ричард и Арлин в деня на сватбата им



Ричард и Арлин в Презвитерианския санаториум

Слизам в бюрото и казвам: “Нямате право да пипате получената поща, ако в нея нещо не ви харесва. Можете да я преглеждате, но не можете да забелвате думи.”

Отговарят ми: “Не ставай смешен. Да не мислиш, че цензорите ще работят с бяло мастило? Те отрязват недопустимия текст с ножица.”

Добре. Пиша на жена си и я питам: “Използвала ли си бяло мастило в писмото си?” Тя ми отговаря: “Не, не съм, това трябва да е онзи _____”. А в писмото на това място имаше отрязана дупка.

Отидох при майора, който ръководеше всичко това, и се оплаках. Отне ми известно време, но се чувствах като упълномощен да оправя нещата. Майорът ми обясни, че цензорите са били обучавани какво да правят, но не още разбирали новите правила и ние трябва да бъдем по-внимателни с тях.

И ме пита: “Какво, не мислиш ли, че съм доброжелателен?”

Казвам му: “Напълно вярвам в доброто ти желание, но не смятам, че имаш нужната *власт*.” Той изпълняваше длъжността си от 3-4 дена.

Казва ми: “Ще видим *тая* работа!” Грабва телефона и всичко е оправено. Писмата повече не бяха изрязвани.

Но имаше много други проблеми. Например един ден получавам писмо от жена ми и вътре бележка от цензора: “Имаше шифър без ключ към него и затова го извадихме.”

Когато същия ден отидох в Албъркърки да видя жена ми, тя ме пита: “Къде са нещата?”

“Какви неща?”

“Глеч, глицерин, сандвичи, пране.”

Казвам: “Чакай малко, това да не е бил списък?”

“Да.”

“Но на мен ми казаха, че бил шифър,” рекох аз. “За тях глеч, глицерин и т.н. е било като шифър.” (Тя искаше глеч и глицерин, за да направи лепило и да поправи една счупена кутия от оникс.)

Това трая няколко седмици и уж се оправи. Но един ден, както си играех с компютъра, забелязах нещо много забавно. Ако разделим 1 на 243, ще получим 0,004115226337 ... Много любопитно: след 559 малко се разбърква, но после отново започва да се повтаря. Намирах, че е забавно.

Слагам това в писмо и то ми се връща. Вътре бележка: “Погледнете параграф 17 В.” Поглеждам. Той гласи: “Писма могат да се пишат само на английски, руски, испански, португалски, немски и т.н. За използване на друг език трябва да се издаде писмено разрешение. Шифри не се разрешават.”

Написах на цензора кратка бележка, в която му обяснявах, че това не е шифър, числото се получава от деленето на 1 с 243 и следователно в него има толкова информация, колкото има в 243, т.е. почти никаква. Затова поисках разрешение да използвам в писмата си арабски цифри. Оправих се и с това.

Тези перипетии с цензурата ме научиха точно кога едно писмо ще мине и кога няма. Никой не знаеше това така добре. Дори спечелих малко пари от всичко това, като се обзалагах.

Един ден открих, че работниците, които живееха по-далеч навън, ги е мързяло всеки път да отиват до портала, а са пробили дупка в оградата, за да минават напъряко. Тогава аз излязох през портала, а влязох през дупката, отново излязох през портала и влязох през дупката и т.н., докато сержантът на портала се усъмни, обади се на лейтенанта и дори предложи да ме арестуват. Обясних им, че в оградата има дупка.

После се обзаложих с някого, че ще напиша за дупката в писмо и ще го изпратя. Точно така стана. Посочвах точно къде е дупката, колко голяма е тя и че може да се влиза през нея.

Какво можеха да направят? Не могат да ми кажат, че няма дупка. Можеха само да я поправят.

Имаше и други неща. Подобно на дупката в оградата аз винаги се опитвах да ги посоча косвено. И едно от нещата, които исках да посоча, беше, че още от самото начало ние разполагахме с ужасно важни тайни; бяхме разработили много неща за бомбите и за урана и всичко това беше описано в документи, които се пазеха в дървени шкафове с най-обикновени катинари. Понякога имаше и допълнителен прът, който блокираше чекмеджетата, но и той се заключваше пак само с катинар. Освен това нещата можеха да се извадят от шкафа даже без да се отварят катинарите. Достатъчно беше шкафът да се наклони назад. В най-долното чекмедже има малка пръчка, която трябва да притиска листовите, а под нея има широка дупка. През нея можеш да вадиш лист по лист.



В Лос Аламос

“Отварях сейфовете, в които се съдържаха всички тайни на атомната бомба”

Започнах да отварям шкафове и през цялото време обръщах внимание, че са нужни по-надеждни шкафове. Един ден, на едно съвещание Телър стана и ми каза: “Аз не пазя най-важните си тайни в шкафа за документи - пазя ги в бюрото си. Това не е ли по-добре?”

Отвърнах му: “Не знам, не съм виждал бюрото Ви.”

Той седеше на един от предните редове, а аз бях далеч назад. Докато събранието продължава, аз се изнизвам и отивам да видя бюрото му.

Не се наложи даже да отварям ключалката. Достатъчно беше да провра ръката си отзад долу и да вадя листовете, както се вади тоалетна хартия: дърпаш едната, тя повлича втора, тя повлича трета ... Опразних цялото чекмедже, наредих всичко встрани и се върнах обратно горе.

Събранието тъкмо свършваше, хората излизаха, аз се смесих в тълпата, настигнах Телър и му казах: “Нека да видя Вашето бюро.”

“Разбира се” и ми показва бюрото.

Погледнах бюрото и му казвам: “Изглежда добро. Мога ли да видя какво има в него?”

“Нямам нищо против да ти покажа” казва той и отключва чекмеджето. “Ако”, казва той, “вече сам не си свършил това”.

Когато погаждаш номер на един толкова интелигентен човек като Телър, бедата е, че *времето* от момента, в който той разбира, че нещо не е в ред, до момента, в който разбира точно какво се е случило, е така дяволски кратко, че цялото ти удоволствие пропада!

Някои от специалните ми проблеми за решаване бяха доста интересни. Една от тях беше свързана със сигурността на завода в Оук Ридж, Тенеси. Лос Аламос щеше да прави бомбата, но в Оук Ридж трябваше да се разделят изотопите на урана - уран 238 от уран 235, който се взривява. Те тъкмо бяха започнали да получават съвсем малки количества от 235 и в същото време практикуваха химията. Заводът щеше да бъде голям, суровината щеше да се държи в много цистерни, после пречистената компонента щеше да се събира, да се пречиства отново и да се подготвя за следващия етап. (Пречистването става на няколко етапа.) Така че те се учеха как да анализират материала, да определят колко уран 235 има в него и т.н. Бяхме им пратили упътвания, но те все не се справяха.

Накрая Емил Сегре⁷ каза, че единственият изход е той да отиде на място и да види какво правят там. Военните обаче възразиха: “Не, цялата информация на Лос Аламос трябва да се пази на едно място.”

Хората от Оук Ридж нямаха представа за какво ще се използва това; знаеха само какво се иска от тях. Ръководството знаеше, че се разделя уран, но никой не знаеше колко мощна ще бъде бомбата, как точно стават нещата в нея и т.н. Останалите пък изобщо не знаеха какво правят. А военните искаха нещата да си останат такива. Никаква информация не се обменяше. Сегре обаче настояваше, че те няма да имат правилен анализ и всичко ще се обърка. Накрая той замина да види какво правят там. Минавайки, той видял как карат пълен със зеленикава течност голям стъклен съд - разтвор на ураниев нитрат.

Попитал ги: “Така ли ще работите с разтвора, когато е пречистен?”

Отговорили му: “Разбира се, защо не?”

“Няма ли да експлодира?”

Какво! Да експлодира ли?

Тогава военните казаха: “Виждале ли! Не трябваше изобщо нищо да им се казва! Сега те всички са разтревожени.”

Оказа се, че военните вече знаят какво количество е нужно за бомбата - около 20 килограма или нещо такова, - и че такова количество чист материал никога няма да се намира в завода, така че няма опасност. Те обаче *не знаеха*, че неутроните стават много по-ефективни, когато бъдат забавени във водата. Във водата е нужна една десета - не, една стотна - материал, за да започне реакция, която поражда радиоактивност. Тя убива хората наоколо и т.н. Беше много опасно, а те не бяха обърнали никакво внимание на това.

Тогава Опънхаймър праща телеграма на Сегре: “Огледай целия завод. Обърни внимание на концентрациите - къде и как са разположени. През това време ние ще пресметнем колко материал може да се натрупа, преди да стане взрив.”

Две групи започнаха да работят по това. Групата на Кристи се зае с водните разтвори, а моята група изучаваше сух прах в сандъци. Пресметнахме колко материал може да се натрупа на едно място, без да създава опасност. Кристи трябваше да отиде в Оук Ридж да разкаже какво е положението. Дадох нашите резултати на Кристи, да върви да разказва. Той обаче се разболя от пневмония; наложи се аз да отида.

Никога преди това не бях пътувал със самолет. Залепиха секретните материали в малко пакетче на гърба ми! По онова време самолетът беше като автобус, само дето спирките бяха по-раздалечени. Спираше много често и трябваше да се чака.

.....

Все пак пристигнах в Оук Ридж. Поисках веднага да ме закарат в завода и не казах нищо, а само разглеждах. Установих, че положението е даже по-лошо от онова, което съобщи Сегре, защото той беше видял многото сандъци в една зала, но не беше видял, че в съседното помещение до същата стена бяха струпани още толкова сандъци. А когато този материал се натрупа в прекалено голямо количество, той избухва, нали разбирате.

Минах през целия завод. Моята памет е много слаба, но когато работя напрегнато, краткотрайната ми памет е много добра, така че аз можах да запомня най-различни шантави неща като сграда 90-207, цистерна номер еди-кой-си и т.н.

През нощта написах за всички възможни опасности и как да се предотвратят. Не е много трудно. В разтворите трябва да се постави кадмий, който да погълне неутроните от водата, а сандъците трябва да са раздалечени достатъчно в съответствие с правилата.

На следващия ден трябваше да има голямо съвещание. Забравих да кажа, че преди да замина от Лос Аламос, Опънхаймър ми каза: “Там в Оук Ридж следните хора са технически подготвени: г-н Джулиан Уеб, г-н еди-кой-си и т.н. Искам да осигуриш

присъствието им на събранието и да им обясниш правилата за безопасност така, че те наистина да ги разберат.”

Казвам: “А какво, ако те не бъдат на съвещанието? Какво да правя тогава?”

Той отвърна: “Тогава трябва да им кажеш: *Лос Аламос не може да отговаря за безопасността на завода, ако ...!*”

Казвам: “Искате да кажете, че аз, малкият Ричард, ще отида там и ще кажа ...?”

“Да, малък Ричард, отиваш там и действаш така.”

Наистина бързо пораснах!

Когато пристигнах, всички големи клечки от компанията, генералите и всички, които имаха отношение към този важен проблем, бяха на линия. Така трябваше, защото заводът можеше да хвъркне във въздуха, ако никой не обърнеше внимание. Там беше един лейтенант, който отговаряше за мен. Той ми предаде думите на полковника, че аз не трябва да казвам как работят неутроните и всички подробности, защото нещата трябва да се държат разделени, така че аз само да им разкажа какво да правят, за да бъде работата безопасна.

Отговорих: “Според мен не е възможно да спазват куп правила, без да разбират за какво става дума. Мисля, че би имало полза само ако им разкажа тези неща - *Лос Аламос не може да отговаря за безопасността на завода в Оук Ридж, ако те не са изцяло осведомени как стават нещата!*”

Беше чудесно. Лейтенантът ме завежда при полковника и повтаря думите ми. Полковникът казва: “Изчакайте пет минути,” след което отива до прозореца, застава там и започва да размисля. Много ги бива за тези работи - да взимат решения. Беше забележително как един проблем, като този дали в завода на Оук Ридж да се разкаже или не как действа бомбата, трябваше и *можеше* да бъде решен за пет минути. Затова уважавам извънредно много професионалните военни, защото аз самият никога не мога да взема важно решение, с колкото и време да разполагам.

След пет минути той каза: “Добре, г-н Файнман, започвайте.”

Седнах и им разказах всичко за неутроните, как действат, ла-ла-ла, защо не трябва да има много неутрони на едно място, защо материалът трябва да е разделен, кадмият поглъща, бавните неутрони са по-ефикасни от бързите и т.н. - всичко това беше елементарно за хората от Лос Аламос, но тези тук никога не бяха чували за подобни неща и затова в очите им аз бях направо гений.

В резултат на това те решиха да формират малки групи, които да преценят как да работят. Започнаха да прекрояват конструктивните проекти на завода и в това взеха участие инженерите, конструкторите, дизайнерите и химиците, така че заводът вече щеше да борави и със сепарирания материал.

Казаха ми да ида при тях след няколко месеца и, когато отидох пак, инженерите бяха готови с проектите. Беше мой ред да разгледам завода.

Как се разглежда завод, който още не е построен? Не знам. Лейтенантът, който трябваше навсякъде да ме ескортира, ме завежда в една стая, където двама инженери стоят пред *дъъъълга* маса, покрита с чертежи, изобразяващи различни части от завода.

В училището бяха ни преподавали чертане, но не мога добре да разчитам чертежи. А те разгръщат копията и започват да ми обясняват така, като че ли ме смятат за гений. Едно от нещата, които трябваше да не допускат, беше натрупването на материал. Те имаха проблеми като например при работещ изпарител, който натрупва материала, да не се запуши клапа и да се натрупа прекалено много материал, който да се взриви. Проектите им предвиждаха навсякъде да има поне още една клапа, така че да няма подобна опасност.

После ми обясняват как функционира инсталацията. Въглеродният тетрахлорид постъпва тук, урановият нитрат идва от там до тук, минава през тези тръби, хайде още една пачка чертежи, тук-там-горе-долу, говорят бързо и ми обясняват много, много сложното устройство на химическия завод.

Пред очите ми се замрежда. Та аз не знам даже какво означават тези символи по чертежите! Имаше нещо, което отначало сметнах за прозорец: квадрат с малко кръстче по средата; имаше такива из всички чертежи. Не може да е прозорец, защото не винаги е на външна стена. Искане ми се да ги питам какво е то.

Вероятно ви се е случвало да изпадате в подобно положение, когато не сте запитали в нужния момент. А сега вече те бяха наговорили твърде много неща. Ще ги попитам, а те ще отвърнат: “Защо ни губи досега времето?”

Какво да *права*? Мина ми през ума, че това може да е клапа. Поставям пръст върху един от тези загадъчни малки кръстове в средата на един чертеж и казвам: “Какво ще стане, ако тази клапа блокира?” - и очаквам да ми отговорят: “Това не е клапа, а прозорец.”

Но единият поглежда към другия и казва: “Ами, ако *тази* клапа блокира ...” и почва да води пръст по чертежа, нагоре и надолу, напред и назад, а другият прави същото. Обръщат се към мен със зяпнали уста като изумени риби и казват: “Вие сте абсолютно прав, г-не.”

Навиха чертежите си на руло и излязоха, а ние след тях. А лейтенантът казва: “Гений си! Разбрах, че си гений, още когато мина само веднъж през строежа и следващата сутрин им каза за изпарител С-21 в сграда 90-207. Но това, което направи току-що, е така *фантастично*, че искам да знам как, *как* правиш това?”

Казах му да изясни дали това е клапа или не.

Друг тип проблеми, върху които работех, бяха следните. Трябваше да правим много изчисления, за които използвахме калкулаторите Маршан. Това бяха ръчни калкулатори с числа: натискаш и те умножават, делят, събират и т.н., но не така лесно, както сега. Това бяха механични устройства, които често се повреждаха и трябваше да се пращат за поправка на производителя. Често оставахме без машини. Тогава някои от нас започнаха да махат капациите им (фабриката предупреждаваше, че в такъв случай не носи отговорност ...). Та снемехме капациите и започнахме все повече неща да

поправяме, а за производителя оставяхме само най-сложните поправки. Накрая аз започнах да се занимавам с всички поправки на компютрите, а друг от нашите поправяше пишещите машини.

Все пак скоро разбрахме, че за решаването на големия проблем - а именно, точно какво става при имплозията на бомбата, т.е. колко точно енергия се отделя и т.н., - ще трябва да правим много повече изчисления, отколкото ни беше възможно. Един много умен млад сътрудник, Стенли Франкел, предложи да опитаме с машините на IBM. Тази компания правеше машини за целите на бизнеса: събиращи машини, наречени табулатори; умножаващи, при които в машината се вкарват карти с двете числа, които трябва да се умножават; сортиращи машини и т.н.

Франкел направи хубава програма. Ако в едно помещение имахме достатъчно много от тези машини, ние можехме да работим с картите в цикъл. Всеки, който прави числени пресмятания, знае за какво става дума, но тогава това беше нещо ново - масово производство на машините. Франкел разработи тази система и поръча машините на IBM, защото разбрахме, че това ще свърши работа.

.....

Франкел обаче заболя от компютърната болест, която сега е добре позната на всеки, който работи с компютри. Това е много сериозна болест и страшно пречи на работата. Бедата с компютрите е, че човек си *играе* с тях. Те са така забавни. Натискаш копчета, играеш си с четни и нечетни числа, много скоро започваш да измисляш най-различни трикове на машината.

След кратко време цялата система се разпадна. Франкел не обръщаше никакво внимание, никой не контролираше. Системата работеше все по-бавно, а той си седи и се мъчи да накара табулатора да пресмята автоматично *arctgX* и да нанася резултатите в таблица - всичкото в една операция.

Напълно безполезна работа. Такива таблици *има*. Но всеки, който е работил на компютър, разбира заболяването - *удоволствието* да видиш колко неща можеш да свършиш. Бедният заболя за пръв път и нямаше спасение. Трябваше аз да оставя моите работи и да поема групата му. Опитях се да избягна болестта. Групата все пак беше добра, макар че за девет месеца беше решила само три задачи.

Истинската беда беше в това, че никой не беше казвал нищо на тези момчета. Армията ги беше подбрала от цялата страна за нещо, наречено *Специален Инженерен Отряд*, умни момчета от висшите училища с инженерни способности. Пратили ги в Лос Аламос, настанили ги в казармите и *нищичко* не им казали.

Когато започнаха работа, те не знаеха защо са тези изчисления на машините IBM. Никой не им каза. Нещата вървяха твърде бавно. Заявих, че първото нещо, което трябва да се каже на тези технически грамотни момчета, е какво правим. Опънхаймър говори със службата по сигурността и получи специално разрешение за това. Тогава аз им изнесох много хубава лекция за това, което правим, а те се завълнуваха: "Значи ние участваме във войната! Ето каква била работата!" Разбраха какво означаваха числата. Ако налягането стане по-голямо, значи повече енергия се е освободила и т.н., и т.н. Те разбраха какво правят.

Пълна промяна! Те започнаха да изобретяват начини за подобряване на схемата. Работеха и нощем, без никой да ги ръководи. Разбираха всичко; изобретиха няколко програми, които свършиха добра работа.

Така че моите момчета заработиха здравата. Трябваше само да им се обясни какво вършат. В резултат на това, докато по-рано ни трябваша девет месеца за три задачи, сега решихме девет задачи за *три* месеца - почти десет пъти по-бързо.

.....

Моята жена, Арлин, беше болна от туберкулоза - много болна. Всеки момент можеше да се случи нещо с нея, така че аз предварително бях уговорил с един приятел от общежитието в спешен случай да взема колата му, за да стигна възможно най-бързо до Албъкърки. Казваше се Клаус Фукс. Той бил шпионин и с колата си отнасял атомни секрети от Лос Аламос до Санта Фе. Но никой не знаеше това.

Спешният случай дойде. Взех колата на Фукс и по пътя взех двама автостопаджии - в случай, че с колата се случи нещо, да помагат. И ето, че на влизане в Санта Фе спухахме гума. Двете момчета помогнаха да сменим гумата, но на излизане от Санта Фе спухахме втора гума. Избутахме колата до близката бензиностанция. Там измолихме една нова гума (резервна не получихме - през войната гуми трудно се намираха).

На около 30 мили преди Албъкърки трета гума се спуска. Оставих колата на пътя и продължих на автостоп. Обадох се на един сервиз да изтеглят колата, докато аз отивах до болницата при жена си.

Арлин почина няколко часа, след като пристигнах в болницата. Влезе една сестра, попълни смъртния акт и излезе. Останах още малко при жена си. След това погледнах часовника, който бях ѝ подарил преди седем години, когато се разбра, че е болна от туберкулоза. По онова време това беше нещо много приятно: дигитален часовник, чиито цифри се сменят посредством механично въртене. Часовникът беше много деликатен и по една или друга причина често спираше - така че от време на време аз трябваше да го поправам, - но през всичките тези години продължаваше да върви. Сега отново беше спрял - на 9:22 ч. - времето, означено на смъртния акт!

Спомних си, че когато бях в МТИ, веднъж ми се случи изневиделица да ме споходи мисълта, че баба ми е умряла. Веднага след това иззвъня телефонът, ей така. Беше за Пит - баба ми не беше умряла. Запомних това в случай, че някой вземе да ми разказва история с друг край. Беше ми ясно, че такива неща понякога стават, но случайно - в края на краищата баба ми беше много стара, - макар че някои хора приписват подобни неща на свръхприродни явления.

Арлин държеше този часовник до леглото си през цялото време на боледуването си, а ето че той спря в момента, в който тя умря. Мога да си представя как човек, който наполовина вярва в подобни неща и не е склонен към критично мислене, в подобна ситуация вместо да опита да си изясни какво е станало, започва да твърди, че никой не е пипал часовника и че това не би могло да се обясни с нормални явления. Часовникът просто спря. Това би бил драматичен пример за подобни фантастични явления.

А аз забелязах, че светлината в стаята беше слаба и тогава си спомних, че сестрата взе часовника и го обърна към светлината, за да види по-добре стрелките. Това напълно би могло да доведе до спирането му.

Излязох навън да се поразтъпча. Може би се заблуждавах, но за мое удивление не изпитвах чувствата, които мислех, че хората изпитват при подобни обстоятелства. Не бях очарован, но и не бях особено опечален, защото в продължение на седем години знаех, че нещо подобно ще се случи.

Не знаех как ще се покажа пред всичките си приятели в Лос Аламос. Не исках хората да ми поднасят съболезнования. Когато се завърнах (по пътя се спуска още една гума), хората ме запитаха какво е станало.

“Тя е мъртва. Как върви програмата?”

Те веднага разбраха, че не исках да изпадам в меланхолия.

(Очевидно бях си направил нещо от психологическа гледна точка: Действителността беше така важна - аз трябваше да осъзная какво *в действителност* се случи с Арлин - и заплаках едва след няколко месеца, когато бях в Оук Ридж. Минавах край магазин с изложени на витрината рокли и си помислих, че една от тях ще се хареса на Арлин. Това беше прекалено много за мен.)

.....

В началото бях най-младши в състава. По-късно станах ръководител на група. Срещнах много забележителни хора. За мен това е едно от големите събития на живота ми, защото срещнах всичките тези велики физици.

Там беше, разбира се, Енрико Ферми. Веднъж дойде от Чикаго да ни консултира и да помогне, ако имаме проблеми. Срещнахме се с него. Аз бях направил някои пресмятания и бях получил някои резултати. Сметките бяха много сложни и трудни. Обикновено бях експерт по тези въпроси; можех винаги да кажа какъв отговор трябва да се очаква, а когато го получавах, можех да обясня защо е такъв. Но това нещо беше така сложно, че аз не можех да обясня *защо* резултатът е такъв.

И така, разказах на Ферми каква задача решавам и стигнах до резултатите. Той обаче каза: “Почакай, нека да помисля, преди да си ми казал резултата. Трябва да се получи нещо такова (беше прав) и нещо такова, защото така и така. И обяснението за това е свършено очевидно ...”

Аз се смятах за много добър в тия изчисления, а той ги правеше десет пъти по-добре от мен. За мен това беше голям урок.

После там беше Джон фон Нойман, големият математик. Често излизахме с него на разходка в неделните дни. Отивахме при каньоните. Понякога идваха още Бете и Боб Бейчър. Беше страшно приятно. Фон Нойман ми даде интересна идея: човек не трябва да се чувства отговорен за света, в който живее. Така в резултат на неговия съвет аз развих много силно чувство за социална безотговорност. Това ме направи щастлив

човек. Но Фон Нойман беше този, който пося семето и то се разви в моята *активна* безотговорност!

Срещнах също Нилс Бор. По онова време неговото име беше Никълъс Бейкър и той пристигна в Лос Аламос заедно с Джим Бейкър, неговия син, чието истинско име беше Оге Бор. Те пристигнаха от Дания и бяха *много* известни физици, както знаете. Даже за другите знаменитости Бор беше като божество.

Първият път, когато се появи Бор, имахме събиране и всеки искаше да *види* великия Бор. Имаше страшно много хора. Обсъждахме проблемите на бомбата. Аз бях назад в някакъв ъгъл. Той дойде и си тръгна и всичко, което видях от него, беше между главите на хората отпред.

Когато трябваше да дойде втори път, същия ден сутринта телефонът ми позвънява.

“Ало, Файнман ли е?”

“Да.”

“Обажда се Джим Бейкър.” Това е неговият син. “Моят баща и аз бихме искали да поговорим с Вас.”

“С мен? Аз съм Файнман. Аз съм само ...”

“Точно така. Осем часа тази сутрин добре ли е?”

И така в осем часа сутринта, преди другите да са се събудили, аз отивам на уреченото място. Влизаме в един кабинет в техническия отдел и той казва: “Разсъждавахме как бомбата да се направи по-ефикасна и обмисляме следната идея.”

А аз отговарям: “Не, така няма да стане. Не е ефикасно ... Бла, бла, бла.”

Тогава той казва: “А какво, ако така и така?”

Казвам: “Това звучи малко по-добре, но в него се съдържа тази ужасно глупава идея ...”

Това продължи около два часа - една идея, втора идея, връщане към първата, трета идея, много идеи и много спорене. Великият Бор през цялото време палеше лулата си, тя все гаснеше. А и той говореше по твърде неразбираем начин - хъм-хъм, трудно се разбираше. Синът му го разбирах по-добре.

“Добре,” казва той накрая и запалва лулата си, “струва ми се, че *вече* можем да извикаме големите клечки.” Те събраха хората и обсъждаха с тях.

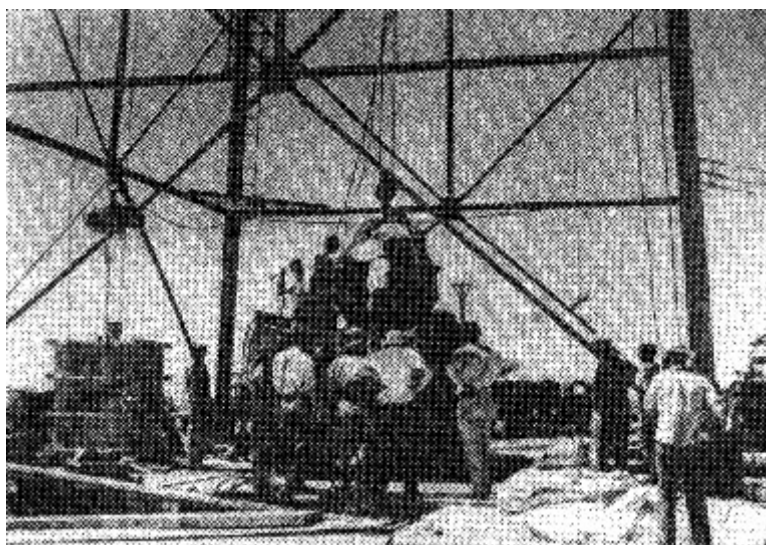
После синът на Бор ми обясни какво се е случило. Предния път, когато беше при нас, Бор казал на сина си: “Запомни ли името на онзи младеж там в дъното? Той единствен не се страхува от мен и ще ми каже открито, ако идеята ми е несполучлива. Така че *на следващия път*, когато искаме да обсъждаме идеите, няма да го правим с тези хора, които на всичко отговарят: да, да, проф. Бор. Намери това момче и ние първо с него ще разговаряме.”

Винаги съм бил *загубен* в това отношение. Никога не си давах сметка с кого разговарям. Интересуваше ме само физиката. Ако идеята ми се вижда калпава, аз казвам, че за мен тя е калпава. Ако я намирам добра, казвам, че е добра. Просто и ясно.

Винаги съм живял по този начин. Това е приятно, това е хубаво - ако човек може да го прави. На мен ми е провървяло, че мога да правя това.

След като бяхме направили изчисленията, следващото нещо беше да се направят изпитания. По това време, след като съпругата ми беше починала, аз бях в кратка ваканция. И ето че получавам телеграма, в която пише: “Бебето се очаква на еди-кой-си ден.”

Взимам обратния самолет и пристигам *точно* когато автобусите се готвят да тръгват; така че заминах направо за полигона и останах там на разстояние 20 мили. Имахме радио и трябваше да ни съобщят кога ще гръмне това нещо и т.н., обаче радиото ни отказа, така че ние не знаехме какво става. Все пак само няколко минути преди предполагаемия взрив радиото заработи и ни съобщи, че остават още 20 секунди или нещо такова. Това беше за хората, които се намираха по-далеч, защото другите бяха по-близо - на разстояние 6 мили.



В очакване на изпитанието *Тринити*

Раздадоха ни тъмни очила, за да наблюдаваме през тях. Тъмни очила ли? На 20 мили разстояние няма нищо да видиш през тъмните очила. Знаех, че единственото нещо, което може да навреди на очите, е ултравиолетовата светлина (ярката светлина не може да нанесе вреда на очите). Застанах зад стъклото на един камион, защото ултравиолетовата светлина не може да преминава през стъкло, така че можех безопасно да *виждам* проклетото нещо.

Настъпва моментът и *ужасното* сияние там е така ярко, че неволно се навеждам и виждам на пода на камиона виолетово петно. Казвам си: “Това не е то, това е само

отражение.” Затова поглеждам отново и виждам как бялото сияние преминава в жълто, а после в оранжево. Появяват се облаци и изчезват - от скока на налягането и последващото разширяване на ударната вълна.

Най-после голямата оранжева топка с ярък център започва да се издига, да се раздува и заедно с това да потъмнява в краищата си. А след това виждаш огромно кълбо от дим с просветвания вътре в него от излизащия навън огън и заедно с него топлина.

Всичко това трая около една минута. Беше поредица от ярка светлина до тъмно и аз я *видях*. Вероятно аз бях единственият, който действително е гледал тази проклетия - първото изпитание.⁸ Всички други носеха тъмни очила, а хората в пункта на 6 мили от взрива не са могли да го видят, защото на всички е било казано да легнат на пода. Предполагам, че единствен аз съм го видял с просто око.

Накрая, след около минута и половина, се раздаде страхотен трясък - БАНГ и след това буботене като при гръмотевична буря; това вече ме убеди. Никой не промълви нито дума през цялото време. Само безмълвно наблюдавахме. Но този звук извади всички ни от вцепенението; на мен специално ми подежда така, защото мощта на звука при такова разстояние означаваше, че това нещо наистина е проработило.

Стоящият до мен човек попита: “Какво е това?”

Казвам му: “Това беше Бомбата.”

Този човек беше Уилям Лорънс. Беше там, за да напише статия, описваща цялото положение. Аз бях този, който трябваше да го разведе наоколо. После се оказа, че за него това са прекалено специални неща, така че по-късно дойде Х. Д. Смит и аз го разведох наоколо. Заведох го в една зала, където на тесен пиедестал беше поставено малко, посребрено кълбо. Човек можеше да постави длан върху него. Беше топло. Беше радиоактивно. Беше плутоний. Това беше нов елемент, създаден от човека - елемент, който никога не е съществувал на Земята, с изключение може би на много кратък период в самото начало. И ето тук той е в чист вид, радиоактивен и с всичките тези свойства. Бяхме го създали ние. И затова той беше *ужасно* цънен.

Знаете какво правят хората, когато говорят - поклащат се, въртят се насам-натам и т.н. Той подритваше ограничителя на вратата и аз му казах: “Да, този ограничител със сигурност подхожда на тази врата.” Ограничителят беше 25-сантиметрова полусфера от жълтеникав метал - всъщност злато.

Историята беше следната. Трябваше да направим експеримент, за да проверим по колко неутрона се отразяват от различните материали, така че да съхраняваме неутроните, без да използваме прекалено много материал. Бяхме изпробвали много различни материали. Пробвахме платина, пробвахме цинк, пробвахме бронз, пробвахме злато. Така че от тези опити имахме парчета злато и някой предложи остроумната идея да използваме голямото златно кълбо за ограничител на вратата на залата, в която се намира плутоният.

След изпитанието в Лос Аламос настъпи невероятно вълнение. Хората тичаха насам-натам, веселяха се. Аз седнах на ръба на един джип и започнах да бия барабаните. Но, спомням си, един човек, Боб Уилсън, седеше в дълбоко униние.

Питам го: “Защо си така унил?”

Казва ми: “Това, което направихме, е ужасно.”

“Но нали ти започна това? Ти ни привлече към това.”

Виждате ли, това, което се случи с мен и което се случи с останалите от нас, е, че ние *започнахме* с добри подбуди, след което работихме много упорито, успяхме да осъществим нещо и това ни изпълваше с радостна възбуда. А когато спреш да поразмислиш, тогава просто *спираш*. Боб Уилсън беше единственият, който все още размисляше върху това, в онзи момент.

Скоро след това се върнах към цивилизацията и отидох в Корнел да преподавам. Първото ми впечатление там беше твърде странно. Сега вече не мога да го разбера, но тогава усещането беше извънредно силно. Седя например в ресторант в Ню Йорк, поглеждам навън към зданията и започвам да разсъждавам какъв беше радиусът на разрушенията от бомбата в Хирошима и т.н. ... Колко далеч от тук е 34-та улица? ... Всичките тези сгради да бъдат срутени до основи ... и т.н. А после продължавах и започвах да си представям хора, строящи мост или правещи ново шосе, и започвам да си мисля: те са *полудели*, те просто нищо не разбират, те *не разбират*. Защо създават нови неща? Това е толкова безполезно.

Но за щастие тази безполезност продължи да съществува вече почти четиридесет години. Значи съм грешал за това, че строенето на мостове е безполезно. Затова съм доволен, че другите хора са имали здравия разум да продължат напред.

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

¹ Лекция, изнесена през 1975 г. и включена в сборника *Спомени за Лос Аламос - 1943-1945*, излязъл през 1980 г. (*Reminiscences of Los Alamos*. Reidel Publ.Co., Dodrecht, Holland, 1980).

² Робърт Уилсън (р. 1914 г.) - физик-експериментатор. През 1940-43 гг. работи в Принстън, през 1943-46 гг. - в Лос Аламос, а по-късно (1947-67 гг.) е директор на лаборатория за ядрени изследвания в Корнелския университет. *Бел. прев.*

³ “Принципът на най-малкото действие в квантовата механика”. Принстън, 1942 г. - *Бел. прев.*

⁴ Файнман намеква за един предишен разказ, в който математическите методи на изчисляване, които той е овладял, са наречени “специална кутия с инструменти”. - *Бел. прев.*

⁵ При цялото изобилие на синоними, с които може да се преведе думата *crazy*, трудно се намира дума, близка по смисъл. - *Бел. прев.*

⁶ Бете ръководи теоретичния отдел в Лос Аламос, а Файнман е негов асистент. Заедно те разработват важна формула, уравнение на Бете - Файнман, за изчисляване ефективността на атомната бомба. - *Бел. прев.*

⁷ Емилио Сегре (1905 - 1989) - италиански физик-експериментатор от школата на Ферми. Съвместно открива (1934 г.) забавянето на неутрони и нови елементи (технеций, аstatин и плутоний). Нобелова награда за 1959 г. - *Бел. прев.*

⁸ Под кодовото име *Trinity* (св. Троица), на 16 юли 1945 г., в пустинята Jornada del Muerto (Преход на смъртта), близо до селището Аламогордо, на около 200 km южно от Лос Аламос. - *Бел. прев.*