

ЛУДВИГ БОЛЦМАН И ВТОРИЯТ ЗАКОН НА ТЕРМОДИНАМИКАТА

(Част I)

Иван Тодоров

*Големите проблеми: откъде идваме, накъде отиваме, се обсъждат от хиляди години от най-великите гени..., но съществен прогрес няма. Напредък бе постигнат едва в наше време... в частни, привидно маловажни области...*¹

Така 42-годишният Болцман започва лекцията си *Вторият закон на термодинамиката* пред Императорската академия на науките във Виена (1886). (Частната, привидно маловажна област, на която той се посвещава, е теорията на газовете. Тя дава ключ за разбиране на това, как система от невъобразимо много атоми, подчинени на обратимите във времето закони на механиката, води до необратими макропроцеси. От нея идват статистическите идеи на Максвел, чието развитие води Болцман до неговото *транспортно уравнение* и до разбиране на *динамиката на вероятности*.) Век по-късно, през 1959, в друга прочута лекция – *Двете култури*, британският химик и писател Ч. П. Сноу (C.P. Snow, 1905–1980) казва: „Многократно съм бил на събирания на хора, които... се смятат за високообразовани и които с ентузиазъм изразяваха изумлението си пред невежеството на учените. Веднъж не издържах и попитах компанията колко от тях могат да опишат втория закон на термодинамиката. Отговорът беше студен. Той беше също отрицателен. А това, което питах, беше научният еквивалент на „Чели ли сте нещо от Шекспир?“. [S]



Лудвиг Болцман през 1872 г.

Да не бързаме ние, физиците да вирим нос: твърдението, че вторият закон е научен еквивалент на Хамлет – част от образованието на всеки културен човек – ни и задължава: трябва да го разберем и да можем да го обясним. А това не е лесно: половин век след неговата начална формулировка Британската асоциация за напредъка на науката създава комисия, чиято задача е да изясни смисъла на втория закон; крайният доклад – на Вруан, 1891, не решава проблема – вж. [U,1] (т.е. първият раздел – увода – на [U]). Както личи от неотдавнашните статии [LY] и от обсъждането в [BL] – дискусиите продължават. Това, че тълкуването на втория закон не е еднозначно, прави сравнението с драмите на Шекспир още по-уместно. (Сноу напразно изказва по-късно [S] съжаление за своя избор на пример.)

Човекът Лудвиг Болцман не е по-лесен за разбиране от Втория закон. Христомат-

¹ Болцман говори конкретно за откритията в зоологията и ботаниката, например за “смелите сравнения между формата на цветята и на насекомите, които ги оплождат ...” – вж. [B], с. 14.

тийният образ на непризнатия гений, обяснил законите на термодинамиката с движението на атомите, отричани от философи позитивисти и физици енергетици, доведен от нападите на колегите си до самоубийство – този образ не отговаря на истината. Той е по-скоро „безпокоен пророк“ [R]; неговите възгледи се менят, теориите му се усъвършенстват под влияние на критиките. Той е високо ценен от колегите си – в Грац и Виена, в Германия, Англия, Америка; обича сам да предизвиква остри спорове и жъне успехи при тях в очите на публиката [SEP]. Несправедливо е и противоположното мнение, което срещаме понякога сред „експерти“ – физици и философи: че Болцман не е могъл да отговори убедително на основателни критики, които са му били отправяни; че главният въпрос, който го е занимавал – как от обратимите закони за движение на молекулите се стига до необратими макроявления – не е получил (дори до днес) задоволителен отговор. Лебовиц, признат авторитет в статистичната физика, обяснява (в [L93, L]) това недоразумение с оригиналността на идеите на Болцман; Черчиняни (1939–2010), автор на научната му биография [C], добавя, че за това допринасят и неясни места в ранните Болцманови статии.

Ще започнем с термодинамиката и с първите стъпки на кинетичната теория преди Болцман. Ще следваме историческия път (според Уфинк, [U07], единствено възможен). Ще проследим как възниква и се променя вторият закон и как той стимулира развитието на молекулната теория на газовете и на топлината. За разлика от [C] няма да отделяме биографичния материал от научния – както те не са били разделени в живота на Болцман. Личната част е разпръсната – в началото на 2.1, в края на 2.2, в 3.2 и в 4.3.

1. От термометъра и барометъра до разпределението на Максвел

1.1. Предистория на термодинамиката (Галилей, Паскал, Бойл, Блэк, Карно)

Много съвременни физици гледат на класическата термодинамика като на реликва от отминали времена. Пионерите на новата физика не мислят така. Планк² пише в своята автобиография, че още като ученик е възприел първия закон на термодинамиката като откровение. Айнщайн (1879–1955), чиито първи статии са посветени на втория закон, е убеден до края на живота си, че термодинамиката е единствената универсална физическа теория; той изгражда теорията на относителността по неин образ и подобие (вж. [U, 2]).

Историята на термодинамиката и на кинетичната теория на газовете е многолика.

Основните понятия на термодинамиката: обем, температура, налягане, енергия/работа се уточняват и започват да се измерват през XVII век – „векът на гениите“. (Понятието за обем е известно от древността, но пресмятането на обеми след Архимед (287–212 пр.Хр.) чака изкуството на Кеплер (1571–1630), намирал обеми на винени бъчви, и става наука с интегралното смятане на Ферма (1601–1665), Уолис (1616–1703), Паскал³, Нютон (1643–1727) и Лайбниц (1646–1716).

² Max Planck (1858–1947) ясно формулира втория закон (1897); открива кванта на излъчване (1900).

³ Рано съзрял математик и физик, Blaise Pascal (1623–62) се отдава от 1654 г. на философия и теология.

Първите термоскопи, които регистрират измененията на температурата, са на Галилей⁴ (1593) и Санторио (1612). Първите живачни термометри създават немско-холандският физик Фаренхайт (1714) и шведският астроном Целзий (1742). Истинската трудност е теоретична: от едно тяло на друго се предава топлина, понятие, което не бива да се смесва с температурата, както изяснява Блак (1770).

Позабравеният днес шотландски химик Joseph Black (Бордо, 1728 – Единбург, 1799) е основател на калориметрията, открил също специфичната топлина – производната на количеството топлина по температурата при постоянен обем, C_V , и при постоянно налягане, $C_P (= C_V + R)$; той открива също въглеродния двуокис и с това показва, че въздухът не е прост елемент. Изучава химия (като част от медицината) в университетите в Глазгоу и Единбург, Шотландия. Там, на 28 години, той става професор. През 1761 г. Блак показва, че нагриването на лед при 0 градуса не повишава температурата, а само увеличава количеството на водата в сместа. Това води до откриването на *скритата топлина* и се разглежда като първа стъпка към термодинамиката. Блак обяснява своите наблюдения, без да говори за флогистон⁵, което стимулира Лавоазие⁶ да отхвърли това понятие, като показва, че горенето е съединение на елементите с открития от него кислород. Вместо това той предлага своя теория за ефимерна топлинна течност *калорик (топлород)*.

Измерването на налягането е свързано с опитите за проверка – и опровержение – на идеята на Парменид (VI–V век пр.Хр.), наложена от Аристотел (384–322 пр.Хр.), че природата не търпи вакуум. Първите барометри са направени по внушение на Галилей от италианците Берти (1639) и Торичели⁷ (1643). Научил за опитите на Торичели с барометъра, Паскал ги допълва и осмисля в своите „*Нови опити, засягащи вакуума*“ (1647). Немският учен и политик Ото фон Герике (1602–1686) оборва окончателно догмата за „страх от вакуума“, като изобретява вакуумна помпа (около 1650) и конструира с нейна помощ *полусферите на Магдебург* – първият известен вакуум. Опити с подобна помпа на Бойл⁸ (и Хук⁹) са описани през 1660 г. В отговор на критики Бойл

⁴ Galileo Galilei (1564–1642), баща на експерименталния метод, чиято ерес, според [PR], е атомизмът.

⁵ Пламтящ, горящ (старогръцки) – огненоподобен елемент, който се съдържа във възпламеняващи се вещества според възприета тогава теория на немски алхимици (Бехер, Щал) от края на XVII век.

⁶ Antoine Lavoisier (1743–1794), „баща на съвременната химия“, гилотиниран по време на терора.

⁷ Evangelista Torricelli (1608–47) посещава умирация Галилей и дописва *Петия ден* от неговите *Беседи за две нови науки* [ET]. Прочуто негово изказване: *Живеем на дъното на океан от въздух*.

⁸ Robert Boyle (1627–1691), англо-ирландски алхимик и физик, автор на *Скептичният химик*.

⁹ Robert Hooke (1635–1703), английски естествоизпитател, отгатнал закона за силата на гравитацията.

формулира закона за обратна пропорционалност между обема и налягането (открит през 1661 г. от Пауър); този закон е предтеча на уравнението за идеалния газ:

$$PV = nRT = NkT, R = N_0 k, n = N/N_0, k = 8,317 \text{ дж/К}, \quad (1.1)$$

където N е броят на молекулите, $N_0 = 6,02214 \cdot 10^{23}$ – броят на молекулите в един мол газ (броят на атомите в 12 грама от изотопа C^{12} на въглерода – [Feu], 39.5). Уравнението (1.1) е написано (с отчитане на приносите на Шарл и Гей-Люсак) от Клапейрон през 1834 г. – близо два века по-късно. Все през XVII век Папен¹⁰ (1679) пръв се опитва да приложи откритото наскоро налягане на газовете, като впрегне парата да работи. Опитите в продължение на век и половина да се създаде ефективна парна машина не изглеждат задоволителни: построените екземпляри, даже и машината на Уат (1770), направила преврат в икономиката на Англия, имат до 3% коефициент на полезно действие (КПД). Това подтиква Карно да изследва в своите *Размишления за движещата сила на огъня* въпроса за максимално възможната ефективност на топлинната машина. Оттук води началото си вторият закон, така че е добре да кажем нещо повече за живота (и за семейството) на Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796–1832), както и за неговия обратим цикъл (с максимален КПД). Бащата на Сади, Лазар Карно (1753–1823), основател (заедно с Монж) на École Polytechnique¹¹, кръщава първия си син на своя любим персийски поет Саади от Шираз (1184–1283). Лазар е математик, военен инженер и стратег; въвел е конформното (двойно) отношение на 4 точки. Като



Сади Карно (1796–1832)

военен министър от 1793 г. организира френската революционна армия. През стоте дни на Наполеон (върнал се от Елба март–юли, 1815) той е вътрешен министър. Изгонен по време на Белия терор след Втората реставрация, умира в изгнание в Прусия (където Сади го посещава, 1821 г.). Неговият внук (и племенник на Сади) става президент на Франция от 1887 г. до убийството му през 1894 г. Докато James Watt (1736–1819) е практически самоук, Сади учи в École Polytechnique (заедно с Навие и Кориолис) при професори като Гей-Люсак, Поасон и Ампер¹². След поражението на Наполеон при Ватерло и изгнанието на баща му той е „уволнен в запас“ от армията и се заема с писането на своята книга. Тя е замислена като популярно изложение на различни въпроси от проектирането и работата на парната

¹⁰ Denis Papin (1647–1712), френски физик и изобретател. Сътрудничи с Бойл в Лондон, 1676–1679.

¹¹ http://en.wikipedia.org/wiki/École_polytechnique

¹² Joseph Louis Gay-Lussac (1778–1859) изследва атмосферата на различни височини, като се издига над 7 км с балон с топъл въздух. Siméon Denis Poisson (1781–1840), последен сериозен опонент на вълновата теория на светлината. André-Marie Ampère (1775–1836), пионер на електродинамиката.

машина, в това число и практични идеи за нейното подобрене. Най-важна е частта от книгата, в която авторът дава абстрактно описание на идеализирана машина. То изяснява основните принципи на всяка топлинна машина независимо от нейната конструкция. Карно умира (1832) на 36 години от холера. Заровен е заедно със своите вещи и ръкописи (от страх от заразата). Само малка част от написаното от него оцелява. Когато години след смъртта му към книгата му се събужда интерес, даже Келвин с труд намира копие от нея. Английски превод се появява едва през 1890 г.

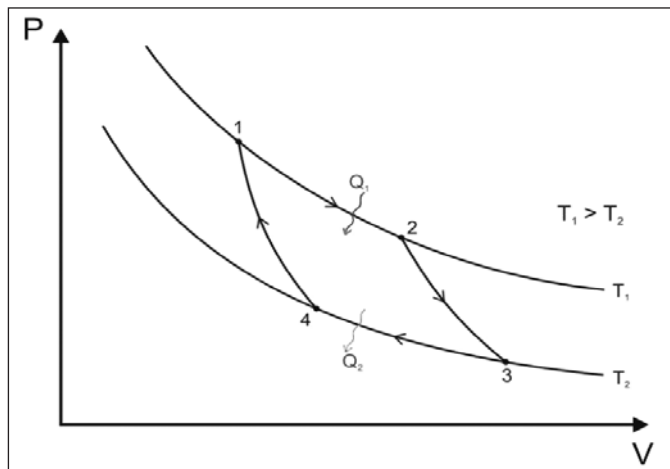
Както повечето автори (ср. [U, 4]), излагаме осъвременен вариант, отчитащ разбирането на (интересната абстрактна част от) работата на Карно от Клапейрон (1834) и Клаузиус¹³ (1950). (Сам Карно още използва теорията за топлорода.) Ще напомним, че макроскопичните интензивни характеристики (температурата, налягането) имат смисъл само за система в термодинамично равновесие. Разглеждаме идеализирана топлинна машина, която работи циклично и извършва работа, като поглъща топлина от горещ топлинен резервоар – „фурна“, с температура T_1 , и отдава топлина на друг, студен – „хладилник“, с температура T_2 (по-малка от T_1). Резервоарите се предполагат големи, така че температурите им да не се променят, когато машината поглъща топлина от фурната и я предава на хладилника. При формулировката на теоремата на Карно основна роля играе понятието за обратим цикъл и по-общо, обратим процес; това понятие постепенно се уточнява (и раздвоява!) в по-късни работи. В случая подходът изискването системата (включваща както машината, така и резервоарите) да се връща точно в началното състояние, така че да може да повтори цикъла. Карно поставя условието да няма пряк допир между топло и студено тяло, което би довело до изразходване на топлина, без да се върши работа. Той илюстрира мисълта си с аналогията с водното колело: то се върти под действието на водната струя, която пада от по-високо към по-ниско. Прякото предаване на топлина от по-топло към по-студено, без да се върши работа (забранено при обратими процеси), би съответствало на пръскане на вода, без да върти колелото. Теоремата на Карно гласи:

Всички машини от описания вид, които извършват обратими цикли, имат един и същ КПД, който е универсална функция от температурите на двата резервоара (независеща от детайлите на машината и от вида на парата).

Всички други топлинни машини (извършващи необратими цикли при същите температури на резервоарите) имат по-малък коефициент на полезно действие.

Карно използва универсалността на КПД, за да се ограничи с разглеждане на обратим цикъл от специален вид. За неговото описание се въвежда понятието за квазистатичен процес, при който системата във всеки момент е (безкрайно) близка до термодинамично равновесие (така че да можем да говорим за температура, обем и пр. в междинни моменти – изискване, което не зависи от посоката на времето и следователно задава обратим процес). Квазистатичен процес, при който машината е топлинно

¹³ За да извлече втория закон от теоремата на Карно, Rudolf Clausius (1822-88) има нужда и от формулирания по-долу пръв закон, включващ разбирането, че топлината е форма на енергия.



Цикъл на Карно

изолирана, се нарича *адиабатен*. Специалният цикъл на Карно се състои от четири квазистатични процеса:

(1) изотермично разширяване при температура $T=T_1$ (на фурната), при което машината поглъща количество топлинна Q_1 от фурната;

(2) адиабатно разширяване (с извършване на работа), при което T спада до T_2 ;

(3) изотермично свиване, при което машината предава топлина Q_2 на хладилника;

(4) адиабатно поглъщане на работа с покачване на температурата до T_1 , при което системата се връща в началното си състояние.

Ще покажем, следвайки [F], как Келвин стига от анализа на Карно до абсолютната температура T . Нека разполагаме с някаква температура t , която удовлетворява условието за *транзитивност* на Максвел ([M872], с. 32 – вж. [B77]): ако две тела са в термично равновесие с трето (и значи имат еднаква температура с него), то техните температури са равни помежду си. Това е нулевият закон на термодинамиката. По дефиниция КПД е отношението на извършената работа W към изразходваната топлина Q_1 . Съгласно първия закон извършената работа е равна на разликата между погълнатата и изпуснатата топлина: $W = Q_1 - Q_2$, така че $\text{КПД} = 1 - Q_2/Q_1$; оттук следва, че $Q_2/Q_1 = f(t_1, t_2)$. Ще покажем, че функцията $f(t_1, t_2)$ може да се представи като отношение на две стойности на универсална растяща функция от температурата $T(t)$: $f(t_1, t_2) = T(t_2)/T(t_1)$. Да вземем за тази цел стандартен резервоар с температура t_0 , по-ниска от разглежданите ($t_0 < t_2 < t_1$). Тогава ще имаме: $Q_0/Q_1 = f(t_1, t_0)$, $Q_0/Q_2 = f(t_2, t_0)$; достатъчно е да положим $f(t, t_0) = K T(t)$, за да завършим доказателството на формулираното твърдение. Тук K е положителна константа, която определя температурната скала. Прието е тя да се фиксира от изискването разликата между температурите на кипене и на замръзване на водата (при налягане една атмосфера) да е 100 градуса. Функцията $T(t)$ е абсолютната температура; вместо $T(t_1)$ и $T(t_2)$ ще пишем просто T_1 и T_2 , така че

$$\text{КПД} = W/Q_1 = 1 - Q_2/Q_1 = 1 - T_2/T_1 \Rightarrow Q_1/T_1 = Q_2/T_2. \quad (1.2)$$

За така определената абсолютна температура е в сила и уравнението (1.1) за идеалния газ.

1.2. Първите два закона (Майер, Келвин, Клаузиус)

Осмислянето на теоремата на Карно се нуждае от още една стъпка, направена

десетилетие след неговата смърт. През 1841 г. немският лекар Майер¹⁴ формулира общия закон за запазване и превръщане на енергията, но работата му е отхвърлена като непрофесионална. В отговор на критиките той я допълва и публикува година по-късно в *Annalen der Chemie und Pharmacie*.

Според Max von Laue (1879–1960, Нобелова награда по физика, 1914) [Л, с. 10] неприемането на Майер се дължи на това, че „през XIX век обоснованата опозиция на естествоизпитателите срещу „философията на тъждеството“ на Хегел се разпространява на цялата философия и даже на теориите на естествознанието“. Лауе обръща внимание, че подобна опозиция посреща дори по-зрялата „окончателна“ формулировка на закона за запазване и превръщане на енергията на Хелмхолц¹⁵ през 1847 г.



Юлиус Роберт фон Майер (1814–1878)

През 1843 г. Джаул¹⁶ намира експериментално механичния еквивалент на топлината: 1 калория (т.е. количеството топлина, необходимо да загрее един грам вода от 14° до 15°) се равнява на 41,85 милиона ерга. Прието е рождението на втория закон (и още веднъж на термодинамиката!) да се свързва с работата на Клаузиус от 1850 г., в която запазването на топлината се заменя от самото начало с първия закон на термодинамиката (закона за запазване и превръщане на енергията). Думите, които се интерпретират като първа формулировка на втория закон – „топлината показва навсякъде тенденция да изглажда температурните разлики и следователно да минава от по-топли към по-студени тела“ – са казани мимоходом (при обсъждане на теоремата на Карно). (Този пасаж изглежда толкова неангажиращ, че е изпуснат в антология (от 1976 г.) от статии, илюстриращи историята на въпроса [U, 5].) Келвин¹⁷ (1851) формулира по-ясно закона на Клаузиус и дава и свой вариант на втория закон; в съвременен изложение¹⁸ тези два варианта гласят:

Принцип на Клаузиус: *Не съществува цикличен процес, чийто единствен резултат е пренасянето на топлина от по-студен към по-топъл резервоар.*

¹⁴ Julius Robert von Mayer (1814–1878) свързва работа, топлина и човешки метаболизъм. Като корабен хирург вижда, че венозната кръв е по-червена в тропиците и си дава сметка, че хората изгарят там по-малка част от храната. Забелязва също, че морските вълни при буря се стоплят от триенето. Непризнат, загубил две от децата си, той прави опит за самоубийство и стига до психиатрия.

¹⁵ Hermann von Helmholtz (1821–1894), немски лекар и физик с важни приноси в много области.

¹⁶ Английският физик James Joule (1818–1889) измерва температурата с рекордна точност.

¹⁷ William Thomson (1824–1907), роден в Белфаст, Северна Ирландия, получава (1892) титлата Baron Kelvin не само за научните си приноси, но и за опозицията си спрямо ирландското самоуправление.

¹⁸ Вж. например лекциите на Енрико Ферми (1901–1954) [F], на Файнман (1918–1988) [Fey], или [Cai].

Принцип на Келвин: *Не може да има цикличен процес, чийто единствен резултат е поглъщане на топлина от резервоар и извършване на работа.*

Тези два принципа са равностойни само при допълнителното предположение, че абсолютната температура T е неотрицателна (Афанасьева-Еренфест¹⁹, 1925).

Нека обърнем внимание, че тези негативни формулировки не предполагат съществуването на необратими процеси, така че няма как да казват нещо за посоката на времето. Еволюцията на втория закон от неговото първоначално напипване до въвеждането на понятието ентропия се сравнява в [U, 6.1] с промяната на характера на Макбет – от лоялен и доверчив генерал до подозрителен и жесток тиранин. И тук метаморфозата започва с пагубно предсказание. Година след цитираната статия, по същество посветена на парната машина, Томсън пише работа с космически обхват²⁰. Като се позовава на необратимото деградиране на механичната енергия в топлинна, той пророкува: *след крайно време Земята ще стане отново необитаема*. Невинно звучащият втори закон води според неговия законодател до неминуема *топлинна смърт*. Тези апокалиптични изводи не се повтарят в следващата работа на Томсън (1854), нито в статията на Клаузиус от същата година, посветени на математичната формулировка на втория закон. Авторите се връщат към парната машина и разглеждат по-общи цикли с n резервоара с температури $T_1, \dots, T_n$ и с погълнати от машината количества топлина Q_i , $i = 1, \dots, n$; тук $Q_1 < 0$, ако машината е предала топлина на съответния резервоар (така че Q_2 се заменя на $-Q_2$ в (1.2)). Тогава за произволен цикъл е в сила неравенството:

$$\frac{Q_1}{T_1} + \dots + \frac{Q_n}{T_n} \leq 0 \Rightarrow \oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0 \left(\oint \delta Q \neq 0 \right), \quad (1.3)$$

като равенство се достига само за обратими процеси. Ще отбележим, че понятието „погълната топлина” δQ , останало от времето на „топлорода”, в съвременен изложение се дава с разликата от (изясненото към 1850 г. понятие за) погълната енергия, dU и работа $\delta W = -PdV$, където P е налягането, а dV е промяната на обема: $\delta Q = dU + PdV$. За прости, еднокомпонентни системи само две от променливите, в случая U и V , са независими, P и T са функции от тях. (Интегралът от dU не зависи от пътя, $\oint dU = 0$, така че *вътрешната енергия* U за разлика от топлината Q и работата W е *функция на състоянието*.)

За обратим процес последното *равенство* (в което се превръща (1.3)) ни учи, че интегралът по всеки затворен път от погълнатата топлина, делена на температурата, е нула. Това означава, че интегралът от същия израз между две състояния, i и f , не надвишава разликата $S(f) - S(i)$; той не зависи от пътя и е равен на тази разлика за обратими процеси. Нужно е още едно десетилетие на Клаузиус, за да въведе тази функция (1865), която той нарича ентропия²¹ и означава с S в чест на Сади Карно. Той показва, че S расте за необратими процеси, които могат да бъдат затворени в цикъл с помощта

¹⁹ За Paul Ehrenfest (1880–1933), учил при Болцман, и за жена му Татяна (1876–1964) вж. [Ф].

²⁰ Статията *On a universal tendency in nature to the dissipation of mechanical energy* (1852) е само 4 с.

²¹ Гръцката ентропи́я означава обръщане, мутация (дисипативна енергия – вж. [С, 3.2] с. 82).

на обратим (квазистатичен) процес. Това е неговата окончателна формулировка на втория закон, изчистена и популяризирана от Планк (1897).

Клаузиус, който приема (1864) апокалиптичния извод на Келвин, обявявайки втория закон за общовалиден и приложим дори за Вселената като цяло, не само че не повтаря това спорно твърдение в следващите си по-разгънати публикации, но го маха, когато издава събраните си съчинения през 1876 (! – забелязано от Кун, вж. [U, 6.2]). Независимо от това тъкмо тези емоционално украсени твърдения най-често се цитират – и вдъхновяват Болцман и Гибс при създаването на кинетичната статистична теория.

В математичната формулировка на Каратеодори²² (1909) съотношението

$$\delta Q = (dU + PdV) = T dS \quad (1.4)$$

се използва (заедно с други условия) за определяне както на ентропията, така и на абсолютната температура T (като интегрируем дивизор, който превръща нарастването на погълната топлина $\delta Q = dU + PdV$ в пълен диференциал). Планк не е във възторг от тази математическа намеса в термодинамиката; трябва да мине време, преди по-абстрактният подход на Каратеодори да се оцени от критично мислещите теоретици.

Пример. Ентропия на идеален газ. Ще покажем как уравнението (1.4), от което се определя пълният диференциал на ентропията, може да се използва в съчетание с уравнението (1.1), за да се заключи, че при идеален газ:

- (1) вътрешната енергия U не зависи от обема при постоянна температура;
- (2) ентропията расте по изотерма пропорционално на логаритъма от обема.

Нека вземем като независими променливи V и T ; тогава можем да заместим dU в (1.4) с $\partial U/\partial T dT + \partial U/\partial V dV$. Условието, че ентропията S е функция на състоянието, така че dS е пълен диференциал, ни дава $\partial/\partial T (\partial S/\partial V) = \partial/\partial V (\partial S/\partial T)$. Оттук и от (1.4) намираме

$$\partial U/\partial V = T \partial P/\partial T - P. \quad (1.5)$$

Остава да приложим уравнението (1.1) за идеален газ, за да се убедим, че дясната част на (1.5) е нула, с което завършваме доказателството на (1).

Да разгледаме сега изменението на ентропията по изотермата $T = T_1$, $dT = 0$. Като изразим P в (1.4) от уравнението за идеалния газ, намираме в съгласие с (2):

$$S_b - S_a = Nk \int_a^b dV/V = Nk \ln(V_b/V_a). \quad (1.6)$$

По-общо ентропията на един мол идеален газ може да се запише във вида

$$S(T, V) = C_V \ln T + R \ln V + \text{const}, \quad (1.7)$$

където $C_V = \partial U/\partial T$ е специфичната топлина.

Неопределената адитивна константа във формулата за ентропията се фиксира от *третия закон на термодинамиката* (теоремата на Нернст²³), който гласи, че при

²² Constantin Carathéodory (1873–1950) дава геометрични аксиоми на термодинамиката (1909).

²³ Walther Nernst (1864–1941), физикохимик, Нобелова награда по химия (1920) за третия закон.

$T = 0$ ентропията не зависи от други термодинамични променливи и може да положим $S(0) = 0$. Пълната формула за ентропията на идеален газ зависи и от Nh^2 – вж. [Ca1 6.3.2].

За процес в топлинно изолирана система, т.е. при $\delta Q = 0$, от неравенството (1.3) следва, че ентропията може само да расте: $S(f) \geq S(i)$.

1.3. Начало на кинетичната теория (Бошкович, Бернули, Уотърстон, Максвел)

Мисълта, че налягането и другите макроскопични свойства на газовете могат да се разберат с помощта на динамиката на атомите, съпътства от самото начало откриването на тези свойства. Още Бойл се опитва да обясни наблюдаваната от него „еластичност на въздуха“ с помощта на Декартовата идея за вихри от частици. Той аргументира, че топлината е вътрешно движение с примера на пирон, забиван в гредата: докато пиронът се движи, гредата почти не се загрева. Ако продължим да чукаме, когато пиронът е забит, импулсът на чука се предава на частите на гредата и тя се загрева бързо. Хук (който дразни Нютон с това, че подхвърля идеи без доказателства, а после претендира за приоритет) се смята за първия, изказал твърдението: *топлината не е нищо освен бурно движение на частите на едно тяло*²⁴. Нютон формулира в *Principia* теорема: *ако един газ се състои от частици, които взаимно се отблъскват със сила, обратнопропорционална на разстоянието между тях, то налягането ще е обратнопропорционално на обема* (в съответствие със закона на Бойл). Той не твърди, че и обратното е вярно, а поставя задачата да се определи дали газовете наистина са направени от частици, удовлетворяващи подобен закон. (Хипотетичният закон на Нютон господства сред физиците дори през XIX век.)

Идеята за атомите на Левкип и Демокрит (V век пр.Хр.) стига до наши дни благодарение на Епикур (341–270 пр.Хр.) и особено на знаменитата поема За природата на нещата на римския философ-поет Лукреций (99–55 пр. Хр.) (виж [С, 3.1]). (От самото начало тя има и влиятелни противници, поддръжници на континуума – от Анаксагор (старши съвременник на Демокрит) и Аристотел до Мах²⁵, предходник на Болцман в катедрата по философия във Виена.) По време на Ренесанса идеята е подета от Галилей (едва ли не апокрифно – според [PR]), Гасенди (1592–1655) и Нютон (който разглежда атомите в своята *Оптика* като *непроницаеми Божии творения, които са навсякъде едни и същи и не се износват с времето*²⁶ – за разлика от предметите, които ни заобикалят – виж [С, 2.1]). През XVIII век тя е развита и изложена систематично от Бошкович [Bos] (1758).

Тук е уместно да кажем няколко думи за този полузабравен днес универсален

²⁴ “Heat being nothing else but a very brisk and vehement agitation of the parts of a body.”

²⁵ Ernst Mach (1838–1916), австрийски физик и философ на науката, чиято критика на Нютоновата идея за абсолютно пространство (в „Науката механика“, 1873) вдъхновява Айнщайновата обща теория на относителността. Проповядва икономия на мисленето и отрича реалността на атомите.

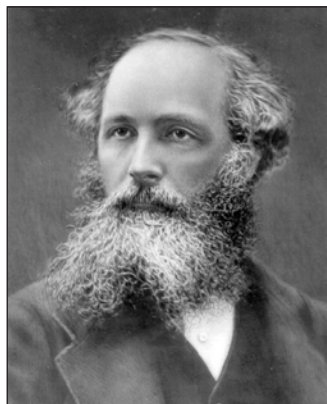
²⁶ It seems probable that God in the beginning formed matter in solid, massy, ... impenetrable, movable particles, ... never to wear or break ...; no ordinary power being able to divide what God himself made one.

учен. Руджер Бошкович (Rudjer Josif Bošković, 1711–1787) е роден в Рагуза, Венецианската република (днес Дубровник, в Хърватско). Майка му е италианка и той не е писал нищо на сърбохърватски, но баща му е сърбин и Руджер държи на славянския си произход. Член на йезуитския орден, той преподава (до 1760 г.) в Коледжо Романо. Приветстван е в Париж като учен (въпреки че орденът на йезуитите е изгонен от Франция). Има диспути с Даламбер и Лаплас; негов приятел и почитател е астрономът Лаланд, на когото дължим сведения за него (например, за лекотата, с която Бошкович съчинява стихове на латински – [С, 2.1] с. 52). В Лондон той е избран за член на Royal Society (Кралската академия). В своя пътепис *От Константинопол до Полша* той описва пътуването си през Тракия, България и Молдавия. В Петербург е избран за почетен член на Петербургската академия на науките. Творчеството му обхваща голяма част от науката и културата от онова време; основната му книга [Bos] *Теория на философията на естествознанието* (също на латински) е опит за създаване на единна теория на Вселената; тя дава първото систематично изложение на атомната хипотеза от гледна точка на механиката на Нютон. За да обясни фактите, известни по негово време, той предполага, че между атомите действат сили, които осцилират в зависимост от взаимното им разстояние – между отблъскване (когато са съвсем близко) и привличане. През XIX век учени като Фарадей, Оершед и Келвин свидетелстват за влиянието на Бошкович върху тях. Болцман също се позовава на него (макар и критично). През XX век той е практически забравен (въпреки че през 1922 неговият основен труд [Bos] излиза на английски). Рядко изключение прави сърбо-американският физик-изобретател Тесла²⁷, допринесъл за успехите на САЩ в електротехниката (на него дължим далекопроводите за токове с високо напрежение и честота, безжичния телеграф и радиопредаването); според него (1936) Бошкович е предтеча на теорията на относителността.

Даниел Бернули (1700–1782), виден представител на голямата швейцарска фамилия от математици [BA] (наред с чичо си Яков (1654–1705) и баща си Йохан²⁸ (1667–1748)), извежда в своята *Хидродинамика* (1738) закона на Бойл от предположението, че газът се състои от микроскопични частици с маса m , които се движат праволинейно със скорост v , като намира, че налягането е пропорционално на пълната кинетична енергия на частиците $Nmv^2/2$. Според [Brush], известен историк на науката, отсъствието на досадник, който да оспорва теорията му, не е дало повод на Бернули да

²⁷ Опитите на Никола Тесла (1856–1943) да възроди „единната теория на Бошкович“ не убеждават.

²⁸ Jacob Bernoulli въвежда числата и полиномите, носещи неговото име, както и термина *интеграл*; неговата е и формулата за сложни проценти, водеща до основата e на натуралните логаритми. Той учи на математика по-малкия си брат Johann, въвел брахистохроната, а също правилото на L'Hôpital. По-късно братята се ревнуват и се карат. Daniel, втори син на Йохан, който открива безкрайната редица от хармонични трептения на струната, дели с баща си голямата награда на парижката академия през 1734 г., след което е изгонен от бащината къща, а Йохан се опитва да плагиатства книгата на сина си.



Джеймс Кларк Максвел
(1831–1879)

я развие и тя е останала незабелязана. Флам²⁹ [F98] сочи друга причина: увлечението от теорията на топлорода прави непопулярни опитите за обясняване на топлината с движението на молекулите. Наистина кинетичната теория има поне още двама предходници. Първият е роденият в щата Масачузетс британски физик Ръмфорд³⁰, въвел парната машина и картофите в Бавария; той произвежда голямо количество топлина чрез триене, с което опровергава теорията на топлорода. Това не пречи на рецензента на Royal Society да отхвърли статия на шотландския физик Уотърстон³¹ (1845), определил налягането P като произведение на броя на молекулите в единица обем по средната кинетична енергия на една молекула и първи формулирал закона за равномерното разпределение на кинетичната енергия на газова смес в равновесие. Може би той е повлиял косвено (чрез Хелмхолц?) на друг неocenен предходник на кинетичната теория, August Krönig (1822–79), който вдъхновява Клаузиус (1857) да възкреси идеята. Този път не липсват възражения: голямата скорост на молекулите (стотици метри в секунда) би трябвало да води до по-бърза дифузия (например разпространение на аромати) от наблюдаваната. За да отговори на това, Клаузиус въвежда (1858) понятието за *среден свободен пробег* $L \sim V/Nd^2$, където d е диаметърът на една молекула, а N/V е броят на молекулите в единица обем. Тук на сцената се появява истинският създател на кинетичната теория, Максвел³² (1860), който използва понятието за свободен пробег, за да изведе неочакван резултат за вискозитета на газ (и да го провери опитно – виж увлекателния разказ на [Brush, 6]). Йозеф Лошмит (1821–1895), старши колега и приятел на Щефан и на Болцман от Университета във Виена, първи определя (1865) броя на молекулите в един кубически сантиметър въздух $N \approx 10^{19}$ (в съгласие с числото N_0 (на Авогадро³³) в (1.1), измерено

²⁹ Dieter Flamm (1936–2002), теоретик-физик във Виена, е син на най-малката дъщеря на Болцман.

³⁰ Sir Benjamin Thompson count (Graf von) Rumford (1753–1814) се подвизава в Бавария и Лондон.

³¹ John James Waterston (1811–1883) издава на свои разnosки, докато работи в Индия, книгата *Thoughts on the Mental Functions* (1843), в която включва своите идеи за кинетичната теория. Неговата статия е публикувана посмъртно (1892 г. – половин век след отхвърлянето ѝ) от лорд Rayleigh (1842–1919).

³² Шотландецът James Clerk Maxwell (1831–1879) създава единната теория на електромагнетизма и светлината, 1862–1865, между две публикации (1860, 1867) по кинетичната теория на газовете.

³³ Amedeo Avogadro (1776–1856) от Торино изказва хипотезата, че броят на молекулите на газ в даден обем при дадени температура и налягане, не зависи от вида на газа (закон на Авогадро).

от Жан Перен, 1909). Съчетано с оценката на Клаузиус и Максвел за свободния пробег, това дава възможност да се намери порядъкът на размера на една молекула: $d \approx 10^{-8}$ см. В предходни работи по кинетична теория на газовете – от Бернули до Клаузиус – се предполага, че молекулите в хомогенен газ при дадена температура се движат с една и съща скорост. Максвел пръв съзира вероятностна картина: многократните удари между молекулите ще доведат с необходимост до хаотично разпределение на техните скорости (по закона на Гаус за грешките). При това той извежда формулата:

$$f(\mathbf{v}) = C \exp(-a\mathbf{v}^2), \text{ където } \mathbf{v}^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2, C = (a/\pi)^{3/2}, a = m/2kT \quad (1.8)$$

от изискванията $f(\mathbf{v})$ да е инвариантна спрямо тримерни въртения и същевременно да се факторизира на еднотипни разпределения по трите ортогонални проекции на скоростта. (Константата a се определя от изискването средната кинетична енергия да е пропорционална на температурата: $\langle m\mathbf{v}^2/2 \rangle = 3kT/2$.) Неудовлетворен от този извод, Максвел аргументира (в работа от 1867 г.), че Гаусовото разпределение съответства на термодинамично равновесие. Той предполага, че плътността на двойка частици със скорости $\mathbf{v}_1$ и $\mathbf{v}_2$, преди да се сблъскат, е пропорционална на произведението на едно-частичните вероятности: $\rho(\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2) \sim f(\mathbf{v}_1) f(\mathbf{v}_2)$ – това е хипотезата за *молекулен хаос*, по-късно приета и от Болцман (използвал немския термин *Stosszahlansatz*). Според Максвел разпределението по скорости ще е *стационарно* (неизменно във времето), ако това условие за факторизация е изпълнено и след съударението (свойство, наречено по-късно *принцип на детайлно равновесие*). (Твърдението, че Максвеловото разпределение е единственото, което удовлетворява принципа на детайлно равновесие, е доказано от Болцман, 1868.)

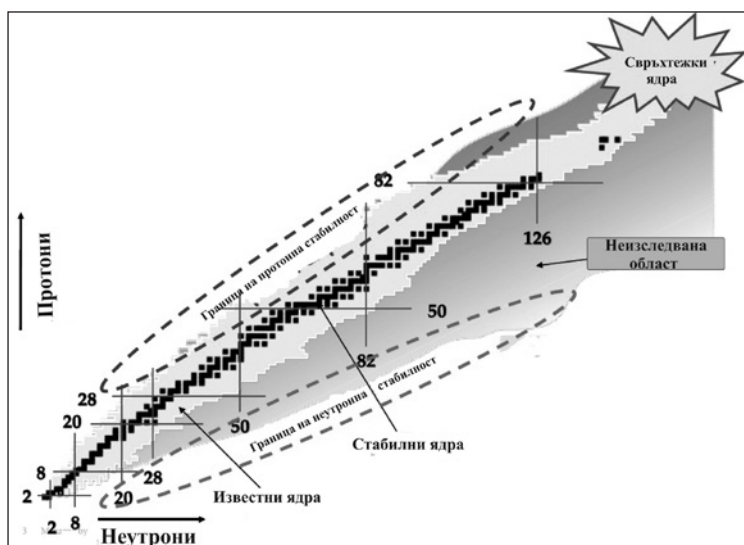
(Продължението следва)

РАДИОАКТИВНИТЕ СНОПОВЕ – НОВ МОЩЕН ИНСТРУМЕНТ НА ЯДРЕНАТА ФИЗИКА

Динко Динев

1. Радиоактивни снопове

През последните години ядрената физика се сдоба с нов мощен инструмент за провеждане на изследвания – сноповете ускорени радиоактивни ядра. Английският термин е Radioactive Ion Beams, или съкратено RIBs. Появата на този нов инструмент е свързана със значителния прогрес в техниката на генериране и ускоряване на снопове от тежки йони. Сноповете от радиоактивни ядра разкриват нови хоризонти пред ядрената физика.



Фиг. 1. N-Z диаграма на атомните ядра

Фиг. 1. Това е диаграма с координати: брой на протоните (Z) и брой на неутроните (N) в ядрото.

В протон-неутронната диаграма диагонално е разположена т. нар. „долина на стабилността“, в която се разполагат стабилните ядра. За ядрата от долината на стабилността е в сила следното съотношение между броя на неутроните и броя на протоните:

$$\frac{N}{Z} = 0.98 + 0.015A^{\frac{2}{3}},$$

където A е масовото число.

„Долината на стабилността“ е обградена от областта, заета от нестабилните ядра.

Теоретично е предсказано съществуването на около 7000 ядра. Едно столетие след откриването на радиоактивността обаче са изследвани в детайли едва около 3000 от тях. Създаването на пълна картина на природата на ядрената материя изисква все по-задълбоченото изучаване на всички области от картата на нуклеоностабилните ядра (протон-неутронната диаграма), показана на

Границата на съществуване на ядрата се определя от т. нар. „линии на протонна и неутронна стабилност“. Целта е да се изучат всички възможни комбинации от протони и неутрони, които могат да формират ядро. От особен интерес са областите, свързани с нестандартни енергии на възбуждане, ъглови моменти и изоспинове.

В крайна сметка трябва да се достигне до едно пълно теоретично описание на многочастичния ядрен проблем.

Информация за някои неизучени досега области от картата на ядрата може да се получи чрез изучаване на свойствата на т. нар. „екзотични“ ядра (ядра, намиращи се в екстремни условия), особено на тези, разположени близо до линиите на протонна и на неутронна стабилност. Екзотичните ядра имат голямо отношение на неутрони към протони или обратно – на протони към неутрони. Голямата асиметрия в броя на протоните и неутроните в сноповете от екзотични радиоактивни ядра позволява изучаването на свръхдеформираните ядра, високоспинови състояния и ядра с нови стойности на магичните числа на протоните и неутроните. При екзотичните ядра съотношението между силите на кулоново отблъскване между протоните и ядрените сили е много различно от съотношението, характерно за стабилните ядра. Това води до появата на нови, необичайни свойства.

Изучаването на свойствата на екзотичните ядра е тясно свързано с проблема за нуклеосинтеза в ранната Вселена и с този за произхода на елементите. Ядрените реакции с участието на екзотични ядра играят важна роля в еволюцията на звездите. За астрофизичните модели е много важно познаването на точните стойности на сеченията на взаимодействие, разположението на енергетичните нива и схемите на разпад на екзотичните ядра.

Очевидната трудност е, че радиоактивните ядра са нестабилни и за да може да се проведе реален експеримент, трябва да се създаде достатъчно голямо количество от подобни екзотични ядра, след което да се отделят онези от тях, които са интересни за дадения експеримент, и така селектираните ядра да се ускорят (или пък забавят) до необходимата за изследването енергия. Радиоактивните ядра трябва да са фокусирани в сноп с малка ъглова разходимост и да притежават висока степен на монохроматичност. Нещата се усложняват от факта, че колкото по-екзотично е едно ядро, толкова то е по-кратко живущо и толкова по-малки са сеченията за неговото раждане и на неговото взаимодействие с други ядра.

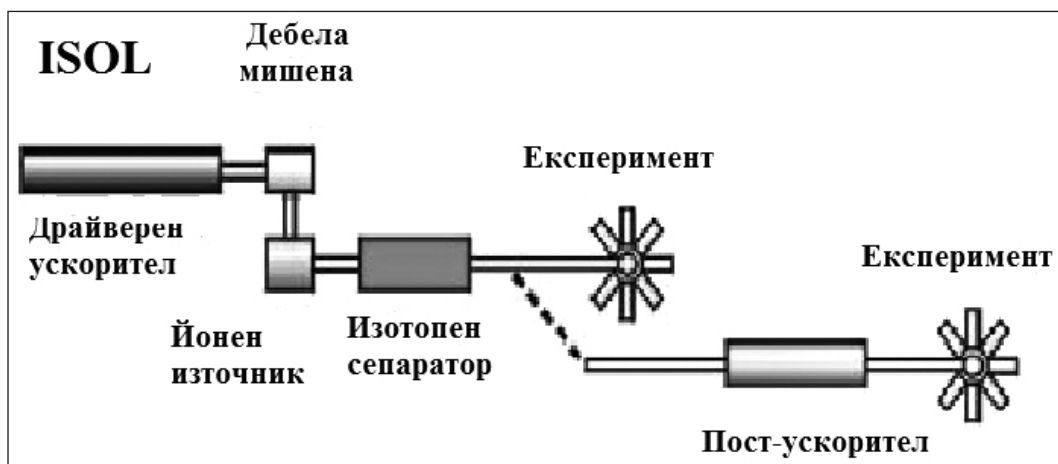
При взаимодействието на първичния, т. нар. драйверен сноп, с мишената се създава сноп от вторични частици, състоящи се от набор от различни ядра, и една от важните задачи е да се отделят от този вторичен сноп само онези радиоактивни ядра, които са интересни за провежданото изследване. Тези радиоактивни ядра обикновено са много малка част от всички вторични ядра.

Тъй като сеченията за раждане на екзотичните ядра са много малки, е необходимо да се използват първични снопове от протони, деутрони или йони с възможно най-висок интензитет.

2. Методи за създаване на снопове от ускорени радиоактивни ядра

2.1. ISOL

ISOL, абривиатура от Isotope-Separation-On-Line, е метод за създаването на снопове от ускорени радиоактивни ядра, при който първичният (драйверният) сноп от ускорени протони или деутрони бомбардира дебела мишена – Фиг. 2. Дебелата мишена поглъща цялата енергия на бомбардиращите частици. Веществото на мишената може да бъде в твърдо, течно или газообразно състояние. В метода ISOL се залага на обстоятелството, че съвременните ускорители са в състояние да създават снопове от ускорени протони и деутрони с висока интензивност.



Фиг. 2. Принципна схема на метода за създаване на радиоактивни снопове ISOL

В резултат на ядрени реакции в мишената се създава набор от вторични радиоактивни ядра. Сред тях екзотичните ядра, които представляват интерес, са много малък процент. Вторичните радиоактивни ядра се забавят в мишената до пълното им спиране. Образуваните в мишената ядра се извличат от нея с помощта на различни физични и химични методи. Чрез подбор на химичния състав на мишената и на метода на извличане на създадените изотопи се постига първична сепарация на изотопите. След това екзотичните изотопи се инжектират в камерата на йонен източник. Тук те се йонизират и извличат под формата на добре фокусиран сноп. В повечето случаи мишената и йонният източник са обединени в един блок. Изотопите, които ще се използват в експеримента, се отделят с помощта на мас-сепаратор.

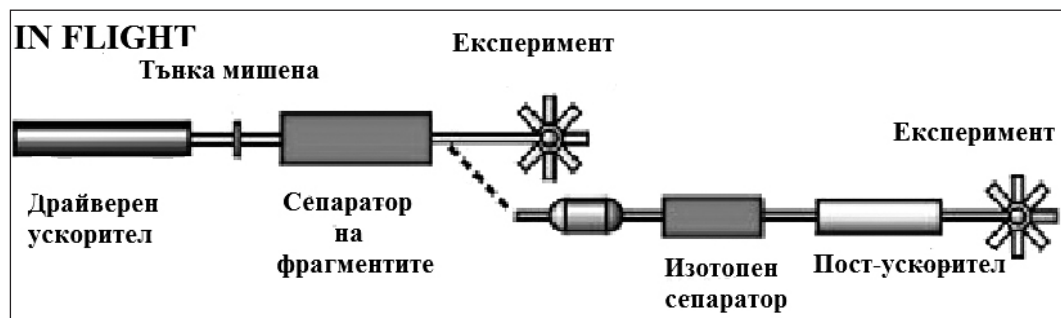
Методът ISOL е сравнително сложен. В него се използва високотемпературна физика и химичен анализ. Методът е бавен, т.е. с него не могат да се създават снопове от краткоживущи ядра (с времена на живот, по-малки от няколко секунди).

Първите експерименти с радиоактивни снопове са проведени в института „Н. Бор“ в Копенхаген през 1950 г. от О. Кафоед-Хансен (O. Kafoed-Hansen) и К. Нилсен

(К. О. Nielsen). Те са изследвали β -разпада на някои от неутронно-богатите изотопи на Кг. Тези изотопи се получават при деленето на уранови ядра. Използват се алфа-частици, ускорени в циклотрон. Тези алфа-частици бомбардират разположена вътре в циклотрона мишена, при което се генерират неутрони. С така получените неутрони се облъчва външна мишена от уранов карбид. Получените при деленето на урановите ядра изотопи на Кг са в газообразно състояние. Те дифундират през мишената към камерата на йонен източник, където се йонизират. След извеждането им от йонния източник йоните на Кг се ускоряват от електричното поле между два електрода, на които е подадено високо напрежение. С помощта на прецизен мас-сепаратор се отделят онези изотопи на Кг, които ще се използват в експеримента.

2.2. In-Flight метод

В метода за създаване на снопове от радиоактивни йони, известен като In-Flight, се използва фрагментирането на интензивен сноп от ускорени тежки йони при взаимодействието му с тънка мишена от леки елементи – Фиг. 3.



Фиг. 3. Принципна схема на метода In-Flight за създаване на снопове от радиоактивни йони

Фрагментирането на бомбардиращите тежки йони става един от важните канали на протичащите в мишената ядрени реакции при енергии от 50 MeV/u до няколко GeV/u и за широк спектър от стойности на A , Z и на отношението N/Z . Фрагментите се движат преимуществено по посоката на движение на първичния сноп, като ъгълът на конуса, под който се разлитат те, е от порядъка на 2×80 mrad. Фокусирането на снопове с толкова голяма ъглова разходимост е сложна задача и изисква използването на силни магнитни полета, създавани от свръхпроводящи магнити. Следват разделянето и сортирането на фрагментите по маса от т. нар. сепаратор на фрагментите.

Недостатък на In-Flight метода е, че вторичният сноп от радиоактивни ядра има лоши оптични характеристики – голям емитанс, който се определя от твърде широкото разпределение на фрагментите по импулси и голяма нееднородност по енергия, от порядъка на няколко процента. Освен това интензитетът на първичния сноп от тежки йони е много по-малък от този на протонните и деутронните снопове, т.е. при In-Flight метода добивът на екзотични ядра е много по-нисък, отколкото при метода ISOL.

Забавянето на фрагментите до енергия от порядъка на MeV/u е трудно без още по-голяма загуба на частици.

Предимствата на In-Flight метода са в опростената конструкция на мишената, малките времена на разделяне на изотопите, които са от порядъка на μs и в относителната му простота и надеждност. Методът "In-Flight" е оптимален за получаването на вторични снопове от краткоживущи изотопи (времена на живот до 100 ns).

Проблем при In-Flight метода е, че разпределението на вторичния сноп от радиоактивни ядра по енергии и ъгли е много по-широко от това в първичния сноп от тежки йони.

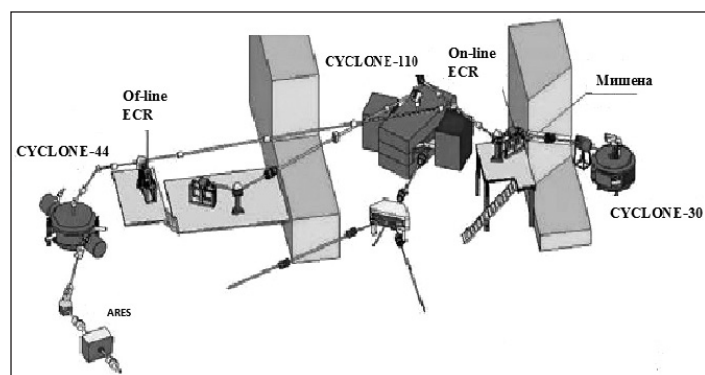
За първи път методът In-Flight за създаването на ускорени снопове от радиоактивни йони е приложен в Националната лаборатория на САЩ „Е. Лоурънс“ в Бъркли през 1974 г. Използвани са тежки йони, ускорени в синхротрона Bevalac, който вече не съществува.

По метода In-Flight работи и изотопният сепаратор LISE в Националната лаборатория на Франция GANIL (Grand Accelérateur National d'Ions Lourds). В LISE тънка мишена се облъчва със снопове от тежки йони, ускорени до енергия 95 MeV/u във веригата от свързани един с друг циклотрони на GANIL.

3. Примери на установки за създаване на радиоактивни снопове

3.1. Louvain-la-Neuve

Радиоактивните снопове се създават по метода ISOL. Използва се 500 μA протонен сноп, ускорен до енергия 30 MeV в циклотрона CYCLONE-30 – Фиг.4. С този



Фиг. 4. Установката за радиоактивни снопове в Louvain-la-Neuve

първичен протонен сноп се облъчва мишената, в която се създават екзотичните ядра. От нагрялата до висока температура мишена екзотичните ядра дифундират към камерата на един ECR йонен източник. В него се създават йони на екзотичните радиоактивни атоми с много висока зарядност. Вторичните радиоактивни снопове се инжектират във втори циклотрон

CYCLONE-110 с енергетичен параметър $K=110$, където те се доускоряват до 0.85 – 5 MeV/u. Този циклотрон, освен че придава по-висока енергия на радиоактивните йони, играе и ролята на втори мас-сепаратор. Така се постига разделянето на йоните по маса с относителна разлика в масите $2 \cdot 10^{-4}$. Това е достатъчно за да се отделят например снопове от ^{19}Ne ядра от снопове от ядра ^{19}F .

За леки радиоактивни ядра се използва компактният изохронен циклотрон CYCLONE-44 с енергетичен параметър $K=44$ MeV и енергия на ускорените йони 0.2-0.8 MeV/u.

3.2. SPIRAL

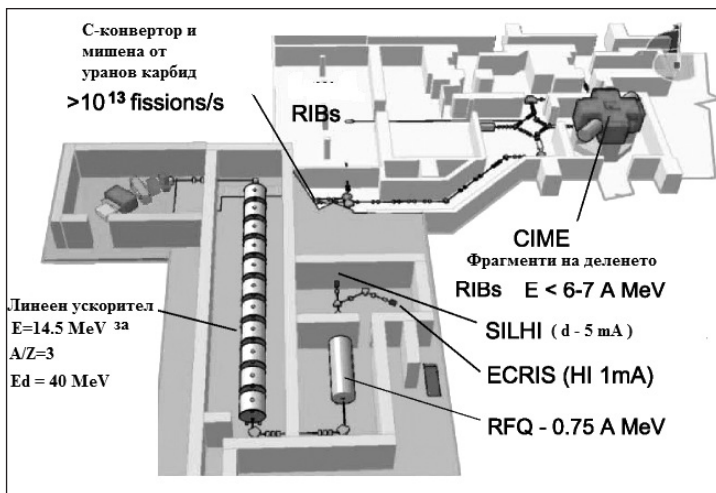
SPIRAL (Separateur et Post-accelérateur d'Ions Radioactifs Accélérés en Ligne) е установка за създаване на снопове от радиоактивни йони, която работи в лабораторията GANIL. В SPIRAL първичният сноп е от тежки йони, от ^3He до Ag. Те са ускорени в тандем от два свързани $K=380$ MeV циклотрона до енергия 95 MeV/u при интензитет $5 \cdot 10^{13}$ ions/s. Работи се по метода ISOL.

Радиоактивните ядра се създават в резултат на ядрени реакции, предизвикани от бомбардирането на дебела мишена с първичния йонен сноп. За йонизиране на получените екзотични атоми се използва ECR йонен източник, който създава многозарядни йони с много висок добив. Използва се също ефективно разделяне и селекция на йоните по маса.

Като пост-ускорител се използва компактният циклотрон CIME. Той е особено ефективен при ускоряването на високозарядните йони, идващи от ECR източника. Този циклотрон доускорява радиоактивните йони до енергии от 2 до 25 MeV/u. Сам по себе си циклотронът CIME е анализатор на изотопите по маса и е способен да „произвежда“ „чисти“ снопове.

3.3. SPIRAL-2

От 2001 г. в GANIL се работи по създаването на усъвършенствана установка за генериране на радиоактивни снопове, наречена SPIRAL-2 – Фиг.5. Драйверният сноп ще бъде от деутрони, които ще се ускорят в свръхпроводящ линеен ускорител до енергия 40 MeV/u при интензитет от 5 mA, т.е. сноповата мощност ще бъде много висока – 200 kW. Така ускорените деутрони бомбардират въглеродна мишена, т. нар. „конвертор“, в който деутроните се разпадат на протони и неутрони. Създаденият интензивен поток от бързи неутрони предизвиква реакция на делене на урановите ядра в мишена от уранов карбид. Продуктите на делене се йонизират в ECR йонен източник, който е конструктивно обединен с мишената.



Фиг. 5. SPIRAL-2

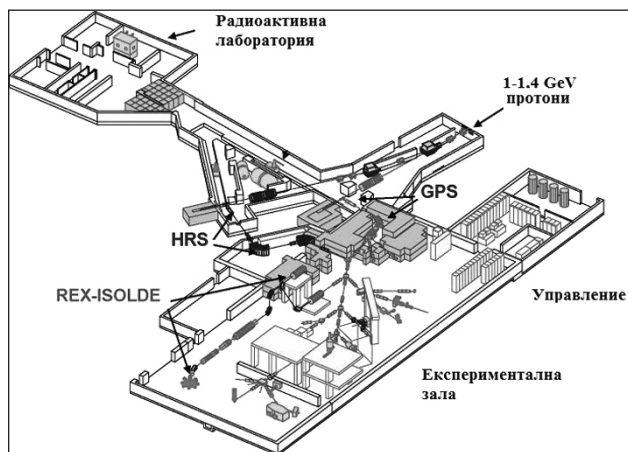
Създават се снопове от екзотични йони, притежаващи висока зарядност. Като пост-ускорител ще се използва съществуващият циклотрон CIME.

В свръхпроводящия линейен ускорител ще могат да се ускоряват също и снопове от стабилни йони с $Z/A = 1/3$ до енергия 14.5 MeV/u. Те ще се използват за експерименти около Кулоновата бариера.

В проекта SPIRAL-2 се предвижда да се създават радиоактивни снопове с висок интензитет чрез метода In-Flight при директното облъчване на мишената с ускорените тежки йони, последвано от прецизно разделяне на изотопите по маса.

3.4. ISOLDE

ISOLDE е установка за генериране на радиоактивни снопове, създадена в CERN преди повече от 30 г. В нея чрез метода ISOL са създадени снопове от над 700 различни екзотични ядра. Първоначално за драйверен ускорител е служил 600 MeV синхроциклотрон на CERN, а след неговото демонтиране през 1992 г. за драйверен ускорител се използва бустерният синхротрон PSB на ускорителния комплекс на CERN.



Фиг. 6. REX- ISOLDE

Сърцето на ISOLDE е мишенната станция, в която ускорените до енергия 1.4 GeV протони произвеждат изотопи. След това тези изотопи, които са интересни за експериментите, се извеждат, йонизират, сепарират по маса и доускоряват.

По-късно установката ISOLDE е усъвършенствана до т. нар REX-ISOLDE – Фиг.6, в която за пост-ускоряване на радиоактивните снопове се използва линейен ускорител. Екзотичните ядра отначало се йонизират едно-

кратно ($Z=+1$). Те се разделят on-line по маса в мас-сепаратор, след което се натрупват в магнитното поле със сложна пространствена конфигурация на един магнитен капан от Пенингов тип (Penning trap). Следва допълнителното им йонизиране, така че да се получат високозарядни йони. Това става чрез облъчването им с интензивен електронен сноп. Така се достига до йони с отношение на масата към заряда $A/Z = 4.5$. Така получените многозарядни тежки йони се доускоряват до енергия 3.1 MeV/u в линейен ускорител.

4. Приложение на радиоактивните снопове

Радиоактивните снопове намират приложение в разнообразни области: ядрена физика, астрофизика, физика на твърдото тяло, физика на полупроводниците, биология, медицина и др. Сноповете ускорени радиоактивни ядра предоставят възможности да се

изучават ядра с максимално възможен брой протони или неутрони, които се намират на самата граница на ядрената стабилност, т. нар. екзотични ядра.

Следват няколко примера на приложение на радиоактивните снопове.

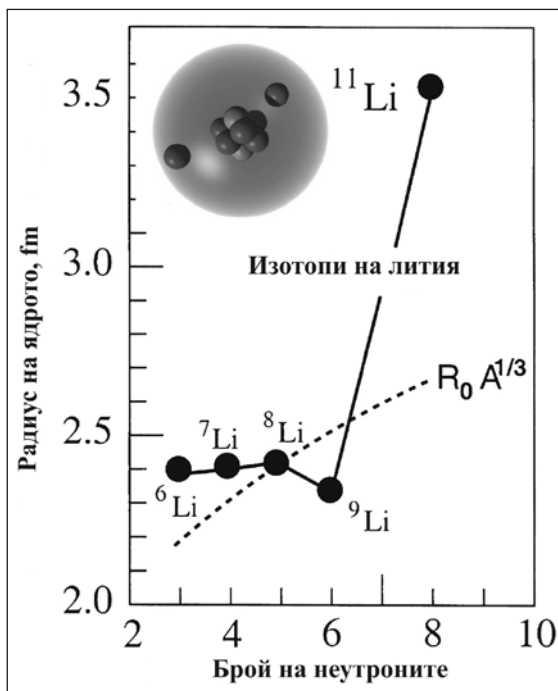
При екзотичните ядра се наблюдават необичайни типове радиоактивност – излъчване на корелирана двойка неутрони (динеутрон), излъчване на тритон (ядро на трития), излъчване на кластер и др. За наблюдаването на тези нови типове радиоактивност е необходимо създаването на интензивни снопове радиоактивни ядра, които са разположени далеч от границата на стабилност.

Едно интересно екзотично ядро е ^{11}Li , което се състои от три протона и осем неутрона, т.е. има излишък на неутрони. На Фиг.7 са показани изотопите на лития ($Z=3$). Стабилните изотопи са два: ^6Li (7.5%) и ^7Li (92.5%). Изотопите ^8Li , ^9Li , ^{11}Li са β^- радиоактивни. Ядрото ^{11}Li има период на полуразпад $T_{1/2}$ ms. То е подробно изследвано в CERN с помощта на установката ISOLDE. Относително голямото време на живот на това ядро се дължи на факта, че е четно-нечетно ядро. В ядрото ^{11}Li два от неутроните са отдалечени на голямо разстояние от сърцевина, която по същество представлява ядрото ^9Li . Енергията на свързване на тези два неутрона е само 300 keV. Тези неутрони образуват т. нар. неутронно хало. Радиусът на ^{11}Li е почти равен на радиуса на ^{208}Pb , докато в същото време ^{11}Li е 20 пъти по-леко ядро.

Известно е, че с отдалечаване от долината на стабилност се наблюдава нарастване на енергията на β -разпад и намаляване на енергията, необходима за откъсване на нуклеон от ядрото. Ако енергията на β -разпад стане по-голяма от енергията, необходима за откъсване от ядрото на неутрон, протон или по-тежка частица, то става възможно радиоактивно разпадане чрез излъчване от ядрото на забавени частици.

За ^{11}Li енергията на β -разпад е $Q_\beta = 20.7$ MeV. Това прави възможно забавеното изпускане на тритони след β -разпад на ^{11}Li по схемата: $^{11}\text{Li} \rightarrow ^8\text{Li} + t$. Прагът на този двустепенен процес е 15.72 MeV. В първия етап протича β -разпад на лития, като дъщерното ядро е във възбудено състояние. През втория етап това дъщерно ядро се освобождава от излишната енергия чрез излъчването на тритон.

Други ядра, които притежават неутронно хало, са ^{11}Be и ^{14}Be . Ядрото ^{11}Be има хало от един неутрон, а ^{14}Be има хало от два неутрона.



Фиг. 7. Изотопи на лития

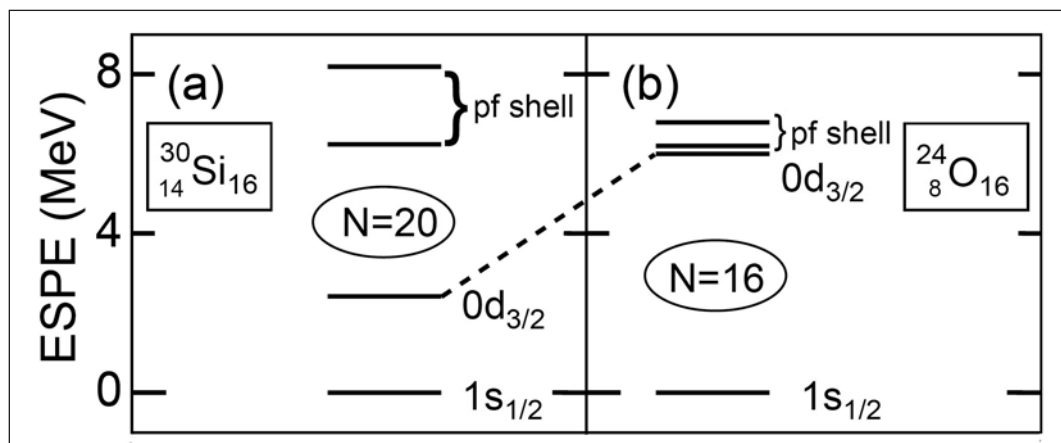
Експерименти по еластично разсейване на ускорени снопове от $^8\text{В}$ ядра пък показват, че ядрото $^8\text{В}$ притежава протонно хало.

Снопове от тежки неутронно-богати радиоактивни ядра $^{52}_{20}\text{Ca}$, $^{54}_{22}\text{Ti}$, $^{64}_{26}\text{Fe}$ са много перспективни при синтезирането на нови елементи. При облъчване с подобни снопове на мишени от актиниди $^{244}_{94}\text{Pu}$, $^{248}_{96}\text{Cm}$, $^{249}_{97}\text{Bk}$, $^{252}_{98}\text{Cf}$ и $^{254}_{99}\text{Es}$, които също имат излишък на неутрони, се очаква получаването на нови свръхтежки ядра. В този случай съставното ядро, образувано след сливането на ядрото на мишената с бомбардиращото ядро, ще има брой на неутроните, близък до $N=184$. Теоретично е предсказано, че ядро с брой на протоните $Z=114$ и брой на неутроните $N=184$ се намира в центъра на първия остров на ядрена стабилност на свръхтежките ядра. Решаващо е също, че това съставно ядро има минимална енергия на възбуждане ($E_x \sim 10\text{--}20\text{ MeV}$). Съставното ядро може да се освободи от излишната си енергия чрез спонтанно делене на две по-леки ядра. Това може да стане и чрез изпаряването на няколко неутрона. При използването на снопове от ускорени тежки неутронно-богати радиоактивни ядра вероятността за втория процес става значителна, а този процес води до създаването на свръхтежки ядра.

Както е известно, при атомните ядра се наблюдава периодичност в изменението на характеристиките на основните и възбудените състояния – енергия на връзка, спин, магнитен момент, четност и др. На това наблюдение се основава слоестият модел на ядрото, създаден от М. Геперт-Майер (M.G. Mayer) и Дж. Йенсен (J.H.D. Jensen) през 1949 г. Този модел използва самосъгласуван едночастичен потенциал, описващ ядрените сили, и спин-орбиталното взаимодействие. Ядра, съдържащи $N=2, 8, 20, 28, 50, 82, 126, 184$ неутрона и/или $Z=2, 20, 28, 50, 82, 114$ протона, имат повишена стабилност. Тези ядра се наричат магични ядра, а числата, определящи броя на неутроните и/или протоните, магични числа. Магичните числа са една от фундаменталните величини, управляващи ядрената структура. В слоестия модел магичните числа отговарят на напълно запълнен ядрен слой. Ядра, за които и броят на неутроните, и броят на протоните са магични числа, се наричат двойно магични ядра. Това са: ^4_2He , $^{16}_8\text{O}$, $^{40}_{20}\text{Ca}$, $^{48}_{20}\text{Ca}$, $^{208}_{82}\text{Pb}$. Тези ядра са особено стабилни. Ядрата с магичен брой нуклеони се открояват по редица свои характеристики от съседните ядра. Те имат по-голяма енергия на връзка и са по-малко деформирани. При тях енергията $E[(2\frac{+}{-})_1^+]$ на първото 2^+ състояние има максимум. Наблюдават се и типични нерегулярности в кривата на енергията на откъсване на един или на два нуклеона от ядрото.

Класическите магични числа и слоестият модел на ядрото са създадени на базата на наблюдения върху стабилните ядра, които се намират върху или близо до линията на β -стабилност. При изучаването на нестабилни, неутронно-богати ядра са получени ясни доказателства за пренареждане на ядрените слоеве. Експериментално и теоретично е показано, че при преход от стабилни към екзотични ядра някои класически магични числа изчезват, докато нови се появяват. Като нови „острови на магичност“ при екзотичните ядра се посочват: $(Z=14\text{--}16, N=14\text{--}16)$, $(Z=20, N=32\text{--}34)$, $(Z=40, N=56\text{--}58)$. Редица изследвания са посветени на изучаването на „магичните“

свойства на изотопите на кислорода. Показва се например, че линията на неутронна стабилност минава през изотопа ^{24}O ($Z=8$, $N=16$). Макар че ядрото ^{28}O ($Z=8$, $N=20$) е двойно магично ядро в класическия смисъл, то не образува свързано състояние на протони и неутрони. Измерено е, че ядрото ^{24}O има най-голяма стойност на енергията $E(2_1^+) = 3.81 \text{ MeV}$ сред изотопите на кислорода с $N > 8$. Това дава възможност ^{24}O да се смята за ново двойно магично ядро, последното свързано състояние на нуклеони от изотопите на кислорода. На Фиг.8 са показани енергетичните спектри на класическото магично ядро ^{30}Si и на екзотичното магично ядро ^{24}O . По ординатата е нанесена неутронната ефективна едночастична енергия. На английски терминът е Effective Single-Particle Energy, или съкратено ESPE. Тя описва средния ефект на останалите нуклеони в ядрото върху единичен нуклеон, намиращ се на определена едночастична орбита.



Фиг. 8. Спектри на класическото магично ядро ^{30}Si ($N=20$) и на екзотичното магично ядро ^{24}O ($N=16$)

Използването на ефекта на каналиране в кристали е мощен инструмент за изследването на тяхната структура и свойства. Като се внедрят радиоактивни ядра в кристалната структура и се измери радиоактивното лъчение в различни направления, може много точно да се определят направлението на кристалографските оси и наличието и местоположението на примесите.

Един съществен проблем при производството на полупроводникови прибори е наличието на дифундирали в полупроводника водородни атоми. Тези водородни атоми пасивират донорните атоми чрез образуването с тях на комплекси. Разпределението на водородните атоми в полупроводниковата структура може да се определи чрез имплантирането на радиоактивен ^{117}Ag . Той се разпада до ^{117}Cd , който също е радиоактивен. Кадмиевите атоми образуват комплекси с дифундирали в полупроводниковия материал водородни атоми. Чрез регистрацията на γ -лъчението на ^{117}Cd се получава информация за разпределението на водородните атоми.

Литература

- [1] М. 1. А. C. Muller. An Overview of Radioactive Beam Facilities. Proceedings of European Particle Accelerator Conference EPAC-00, Vienna, Austria, 2000.
- [2] К. Risager. Radioactive Beam Research Notches up 50 Years. CERN Courier, v. 42, No 4, p. 26, 2002.
- [3] М. Lindroos. Review of ISOL Radioactive Beam Facilities. Proceedings of European Particle Accelerator Conference EPAC-04, Lucerne, Switzerland, 2004.
- [4] М. Loiselet et al. Production and Acceleration of Radioactive Beams at Louvain-la-Neuve. 14-th International conference on cyclotrons and their applications, Cape Town, 1995, p. 629.
- [5] The SPIRAL Radioactive Ion Beam Facility. Preprint of GANIL, No R 9 94-02, Caen, 1994.
- [6] М.Н. Moscatello. SPIRAL-2 at ANIL. Proceedings of International Conference LINAC-2004, Lubeck, Germany, 2004.
- [7] В. Jonson, Н. L. Ravu, G Walker. ISOLDE PS Booster Facility at CERN. Nuclear Physics News, v. 3, No 2, p. 5, 1993.
- [8] О. Ruter et al. Accelerated Beams from REX-ISOLDE. Nuclear Instruments and Methods, v. B204, p.20, 2003.
- [9] Ю.Э. Пенионжкевич. Пучки радиоактивных ядер. Физика элементарных частиц и атомного ядра, т. 25, вып. 4, 1994.
- [10] W. Gelletly. Radioactive Ion Beams: A New Window on Atomic Nuclei, Proceedings of the APS, vol. 145, No 4, 2001.

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

100 ГОДИНИ КВАНТИ НА СВЕТЛИНАТА

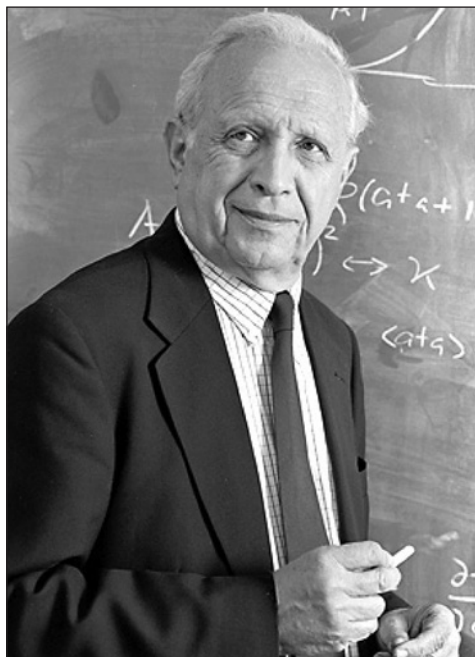
Р. Дж. Глаубер

(Нобелова лекция, Стокхолм, 8 декември 2005 г.)

Не можем да отменим многократното споменаване в последно време, че се навършват сто години от раждането на светлинните кванти. Мисля, че в днешната утрин е уместно да се кажат няколко думи за тяхната едновековна биография. Разбира се, за нас на Земята светлината е била вечна фактически от момента, когато Създателят е казал: “Да бъде квантовата електродинамика!” – което е впрочем съвременният превод от арамейски на библейския текст. В този доклад ще се опитам да разкажа какво е това квантова оптика, въпреки че едва ли ще ми стигне времето да ви кажа за многото нови направления, по които тя е тръгнала. Даже някои от тези направления едва ли могат да се предвидят, защото цялата тази работа едва сега започва.

Моето лично участие в тази област започна някъде в средата на миналия век, но бих искал да опиша някои аспекти на сцената, на която се появих, бидейки студент по това време. Да започнем даже с по-ранен период, преди Планк да въведе квантовата теория. Важно е да се напомни за няколко забележителни открития, направени през XIX век, основно от Томас Юнг и Огюстен Френел. През първото двадесетилетие на XIX век те установиха, че светлината представлява вълново явление и че светлинните вълни, каквото и да представляват те, проникват взаимно помежду си, подобно на вълни на повърхността на всякакви водоеми. С други думи, вълновите премествания се наслагват алгебрично. Това се нарича суперпозиция. Така бе установено, че ако имаме две вълни, разпространяващи се в такт, те могат да се наслагват конструктивно и затова на някои места те се усилват взаимно и обратно: вълните могат да осцилират противоположно една на друга и по такъв начин да се погасят. Точно това наричаме деструктивна интерференция.

Явлението интерференция беше достатъчно добре изучено и разбрано още до 1820 г. От друга страна, съвсем не беше ясно как възникват тези вълни преди основните закони на електрическите и магнитните явления да бъдат обединени и съществено обогатени в забележителните работи на Джеймс Кларк Максуел, изградил онази



електродинамика, която ние използваме и до днес. Според теорията на Максвел вълните на светлината представляват трептения на електрични и магнитни полета. Тази теория беше толкова съвършена при описанието на динамиката на електричните и магнитните полета на лабораторни разстояния, че дълго оставаше абсолютно недокосната. В течение на много години, започвайки от 1860 г., тя не се нуждеше от фундаментални допълвания с изключение на онова, което се отнасяше до квантовата теория. Фактически тя и до ден днешен служи за основа на обсъжданията и анализа по същество на всички мислими оптични прибори, които някога са били разработени. Този потресаващ и продължителен успех доведе в края на краищата до определено благодушие. В средата на 20-те години изглеждаше, че при оптичните явления едва ли е необходимо в каквато и да е степен да се отчита корпускуларната природа на светлината. Изучаването на поведението на светлинните кванти беше предоставено на физиката на атомите и елементарните частици, където интересите в значителна степен бяха насочени към други явления.

Разбира се, историята на квантовата теория реално започва с Макс Планк. През 1900 г. Планк се сблъсква с резултатите от многобройните измервания на спектралното разпределение на излъчването на нагрети обекти. Било е известно, че при идеални условия, т.е. за абсолютни (черни) поглътителни или съответно – за съвършени излъчватели, това разпределение е универсално. При такива идеални условия интензитетът на разпределението на излъчването по цветове трябва да зависи само от температурата, а не от вида на излъчващия материал. Това дефинира т.нар. разпределение на излъчването на черно тяло. Планк, както и други, се опитва да намери математичен израз за формата на спектъра на черно тяло. Било е известно нещо за формата при ниски честоти, съществували са и разумни предположения за нейната форма при високи честоти.

Забележителното е, че Планк първи написва емпирична формула, обединяваща тези две гранични области. Това е относително проста формула, съдържаща една константа, която трябва да бъде избрана така, че формулата да описва експерименталните данни при постоянна температура. Правейки това, Планк установява, че неговата формула работи и при други температури. Той представя своята формула на Германското физическо общество на 19 октомври 1900 г. [1] и се оказва, че тя описва много успешно и най-новите данни. В течение на няколко седмици формулата е призната като единствено правилната за описание на спектралното разпределение на топлинното излъчване.

Следващият въпрос, който възниква, естествено, е: има ли тази формула някаква логична обосновка? Тук Планк, въпреки че е изкушен теоретик, без съмнение попада в затруднение. Преди всичко от опита си в термодинамиката той разбира, че би могъл да изгради разглеждането си на почти произволен модел на веществото, колкото и просто да е то, стига само ефективно да поглъща и изпуска светлина. Затова в основата на своя модел той поставя тази механична система, която най-добре разбира, а именно – набор от хармонични осцилатори, всеки един от които се люлее подобно на тежест, закачена на края на пружина. Разбира се, те трябва да носят електричен товар. От теорията на Максвел Планк знае точно, че такива заредени осцилатори взаимодействат

с електричното поле. Той може да пресметне как те излъчват и как поглъщат, така че в неговите възможности е било да намери равновесие между тези осцилатори и полето на излъчване, което действа като някакъв топлинен резервоар, който всъщност той никога не разглежда по-подробно.

Планк достига до извода, че не може да осигури извод на своята магическа формула за разпределението на излъчването, ако не направи предположение, което от философска гледна точка той счита за неприемливо. А това предположение е, че разглежданите хармонични осцилатори трябва да притежават енергии, не разпределени като непрекъснати променливи (което трябва да се очаква), а приемащи дискретни и разпределени стойности. Осцилатори с честоти ν трябва да притежават стойности на енергията, които да са кратни, т.е. n пъти умножени (където $n = 0, 1, 2, 3, \dots$) на нещо, наречено от него квант на енергията $h\nu$.

Това число $h\nu$ се оказва единственото, което е трябвало той да въведе, за да съгласува своята магическа формула с резултатите от наблюденията при каквито и да е температури. Така Планк фактически потвърждава, че неговите хипотетични хармонични осцилатори, представляващи опростен модел на веществото, могат да се намират само в такива състояния, чиято последователност представлява “стълбица”. Тази хипотеза позволява веднага да се разбере защо разпределението на топлинното излъчване трябва бързо да намалява с увеличаване на честотата. Според хипотезата на Планк, стойността на енергетичното стъпало между състоянията на осцилаторите расте при повишаване на честотата, но при това енергията на топлинното излъчване е ограничено по големина при всяка зададена температура. При топлинно равновесие осцилаторите с високи честоти никога не достигат даже до първата степен на възбуждане. Следователно при топлинно равновесие частта на височестотното излъчване трябва да бъде малка. На 14 декември 1900 г. Планк представя пред Физическото общество своето революционно предложение [2], въпреки че сам не може да повярва в него.

Следващото велико нововъведение се появява през 1905 г. благодарение на младия Алберт Айнщайн, по това време сътрудник на патентното бюро в Берн. Той първи забелязва, че формулата на Планк за ентропията е свързана с разпределението на излъчването и при отчитане на високочестотните приноси тя изглежда като формулата за ентропия на идеален газ със свободни частици с енергии $h\nu$. Той предполага, че светлината по своята природа е дискретна, но едва ли това му предположение се възприема като окончателно заключение.

За да достигне до окончателен извод, Айнщайн се заема с излъчването при фотоелектричния ефект, който за пръв път е наблюдаван от Хенрих Херц през 1887 г. Облъчени с монохроматична светлина метални повърхности отделят електрони, но само в случаи, когато честотата на светлината превишава определена гранична стойност, характерна за всеки метал. Най-разумно би било да се очаква, че метали, облъчени с по-интензивна светлина, ще отделят по-бързи електрони, т.е. с по-големи скорости като отклик на по-силните трептения на електричните полета, но се оказва, че това не е така. Те се избиват винаги с една и съща скорост, при условие че падащата светлина

има честота, по-голяма от праговата честота. Ако тази честота е под праговата, то фотоелектрони въобще няма.

Единственият отклик на металите при увеличаване на интензитета на светлината е по-големият брой фотоелектрони. Обяснението на Айнщайн е много просто [3]. Той предполага, че самата светлина се състои от локализирани пакети енергия, като всеки един от тях притежава един квант енергия. Когато светлината се удря в метала, всеки пакет се поглъща от един електрон, който след това излита с фиксирана енергия, равна на енергията на пакета $h\nu$, минус енергията, необходима на електрона за излизането навън от метала.

Било е необходимо време, примерно до 1914–1916 г., за да може адекватно да се провери законът на Айнщайн, описващ енергията на фотоелектроните. Това е било осъществено успешно от Миликен и се оказва, че Айнщайн е бил прав и че светлината действително се състои от квантувани пакети енергия. Така именно Айнщайн се оказва творец на понятието квант на светлината, използвано в една от няколко плодотворни статии, написани от него през 1905 г.

За да се проследи историята на въпроса по-нататък, трябва да отбележим, че през 1909 г. Айнщайн започва да осъзнава, че неговият пакет енергия трябва да има импулс, който съгласно теорията на Максвел трябва да бъде равен на енергията, делена на скоростта на светлината. Такива хипотетични локализации на енергията трябва да се излъчват в определено направление, за да остават локализирани, или *Nadelstrahlung* (игловидно), както се изразява той, което съществено се отличава от поведението на широкото непрекъснато ъглово разпределение на разходящото се излъчване на хармоничния осцилатор, подчиняващо на теорията на Максвел. Случайното разпределение на това “игловидно” излъчване би могло да бъде практически непрекъснато, обаче безпокойствие предизвиква случайността, с която това лъчение трябва да възниква. Очевидно това е била първата от случайните променливи в квантовата теория, която е предизвиквала безпокойството на Айнщайн и която продължава да го дразни през целия му живот.

През 1906 г. Айнщайн намира друг, значително по-подходящ способ за извеждане на разпределението на Планк, разглеждайки скоростта, с която излъчват атомите. По това време с изключение на това, че могат да излъчват и поглъщат светлина, за атомите е било известно малко. Атом, поместен в полето на излъчвателя, разбира се, изпитва въздействието на осцилиращото поле и на съставлящите го товари и това въздействие може да доведе или до поглъщане на излъчването, или към емисия на още по-голямо излъчване. Това са процеси на поглъщане и излъчване, индуцирани от наличието на вече присъстващото излъчване. Обаче Айнщайн установява, че топлинното равновесие между веществото и излъчването може да бъде достигнато само когато като добавка на този индуциран процес съществува също и друг спонтанен процес – процес, в който възбуденият атом излъчва даже при отсъствието на каквото и да е начално радиационно поле. Това е аналогично на радиоактивния разпад, открит от Ръдърфорд. Скоростта на протичане на тези процеси е обусловен от стойността на знаменитите коефициенти на

Айнщайн А и В съответно. Съществуването на спонтанното излъчване се оказва важна пътеводна идея при построяването на квантовата електродинамика.

Известни съмнения в квантовата природа на светлината продължили неизбежно да съществуват, но много от тях са били разсеяни от открития от Комптън през 1922 г. ефект на разсейване на квантите на рентгеновите лъчи от електрони при това в съответствие с правилата, които управляват и сблъскването на билиардните топки. По същество и двата процеса по еднакъв начин се подчиняват на законите за запазване на енергията и импулса. Станало очевидно, че корпускуларното описание на светлинните кванти, каквито и алтернативи да му бъдат съпоставени, трябва да си остане.

Следващите драматични събития в квантовата теория протичат между 1924 и 1926 г. Те са довели до извода, че на материалните частици, каквито са електроните, трябва да им се припише най-общо казано същото вълново поведение, каквото много отдавна е било установено за светлината. По този път Де Бройл, Хайзенберг, Шрьодингер и други извършили големи чудеса, за да обяснят свойствата и структурата на атомите. Но колкото и изобретателни да са били те, квантовата механика не е преуспяла при изграждането на основите на по-обща теория на материята, защото тя явно оказала незначително влияние за разбирането на електромагнитните явления. Значителна сложност, както и преди, представлявала загадката на спонтанното излъчване.

Така че остават само няколко години, през които процесите на излъчване може да се описват на езика, който сега е прието да се нарича “квазикласически”. Днес терминът “класически” е интересен с това, че както е известно, всяка област на изследвания има своите класически глави, при това много от известните ни такива периоди имат две или три хиляди години история. Някои други са по-млади, но носят началото си доста отдавна, да не кажем от древността. Във физиката ние сме значително по-точни и съвременни. Всичко, което сме разбирали или сме претендирали, че разбираме до публикуването на статията на Планк на 14 декември 1900 г., за нас сега е “класика”. Именно въвеждането на константата на Планк означава прехода от класическата ера към нашия съвременен свят.

От друга страна, истинската “квазикласическа” ера продължава около две години. Формално тя завършва с откритието на Пол Дирак [4], че вакуумът (т.е. празното пространство) трябва да се разглежда като динамична система. Както беше показано от Максвел, разпределението на енергията в електромагнитното поле в пространството се изразява с квадратичен член на напрежението на електричното и магнитното поле. По своята структура тези квадратични изрази формално са идентични с математичния израз за енергията на механични хармонични осцилатори. Дирак установява, независимо че във вакуума няма никакви обикновени полета, така определените математически осцилатори за енергията на полето, трябва да имат принос, който би трябвало да бъде забелязан. Квантовомеханичната природа на осцилаторите трябва да внася важна, но дотогава неотчетена поправка в аргументите на Планк.

Планк казва, че енергията на осцилаторите е ограничена от стойности, равни на n пъти квантовата енергия $h\nu$, обаче напълно разработената квантова механика показва,

че в действителност тази енергия е равна не на $nh\nu$, а $(n + 1/2)h\nu$. Всички интервали между енергетичните нива оставаха неизменни, но квантовомеханичният принцип на неопределеността изисква присъствието на допълнителен член, равен на $h\nu/2$. Не съществува хармоничен осцилатор, при който напълно да отсъства енергия, защото в такъв случай неговата координата (положение) и импулс трябва едновременно да имат стойности, точно равни на нула.

И така, според Дирак, електромагнитното поле е построено от амплитуди на полето, които могат хармонично да трептят. Поради наличието на половинките квантова енергия $h\nu/2$ тези амплитуди не могат да се намират в състояние на покой. При тях трябва непрекъснато да има възбуждания, наричани “нулеви флуктуации”. Така вакуумът представлява активна динамична система. Той не е пуст. Тази система е вечно запълнена от шума на слаби електромагнитни полета. Те представляват основното състояние на пустотата. От тези флукутиращи електромагнитни полета не може да се извлече никаква енергия, но въпреки това ние трябва да ги разглеждаме като реално съществуващи даже ако сме лишени от каквато и да е възможност непосредствено да ги възприемаме.

Непосредствено следствие от тази картина се явява обединението на понятията за спонтанно и индуцирано излъчване. Спонтанното излъчване е индуцирано от тези нулеви трептения на електромагнитното поле. Нещо повече – такава картина предлага в известен смисъл обходен път да се почувстват нулевите трептения чрез тяхното усилване. Квантовите усилватели се стремят да генерират фоновия шум, състоящ се от излъчване, индуцирано от тези вакуумни флуктуации.

Заслужават да се отбележат и някои изменения в терминологията, протекли към края на 20-те години. Понеже е било установено, че някои частици на материята подобно на светлинните кванти демонстрират известни вълнови свойства, става уместно да се признае, че и самите кванти на светлината могат да се третират като елементарни частици и те през 1926 г. по предложение на Г.Н.Луис били наречени “фотони”. Фотоните са толкова дискретни, колкото и частиците на материята, но при това тяхното съществуване е и по-преходно, защото с времето те се раждат и изчезват свободно.

Безкрайният брой оптични експерименти, проведени през средата на XX век, се основаваха по един или друг начин само на измерването на интензитета на светлината. Можеше даже да се мисли, че не остава нищо ново, което си струва да бъде измерено. Освен това тези измервания обикновено са били провеждани с равномерни светлинни потоци, преминаващи през пасивни среди. Затова не е сложно да се покаже, че такива измервания се описват в рамките на прост и по същество класически подход. Първият характерен математичен начин се свежда до разлагането на израза за осцилиращото магнитно поле E на два комплексно-спрегнати члена:

$$E = E^{(+)} + E^{(-)}, \quad (1)$$

$$E^{(-)} = (E^{(+)})^*, \quad (2)$$

като при това се подразбира, че $E^{(+)}$ съдържа само членове с положителни честоти, т.е.

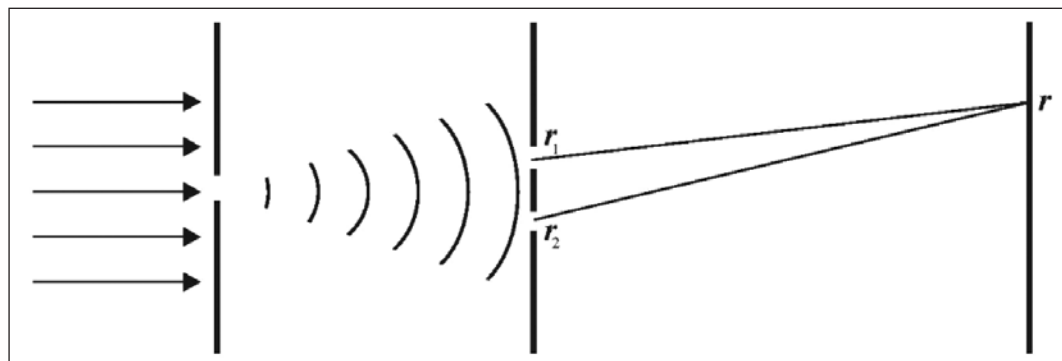
онези, които се изменят като $\exp(-i\omega t)$ за всички $\omega > 0$, а $E^{(-)}$ съдържа само членове с отрицателни честоти, $\exp(i\omega t)$. Това разлагане е познато на инженерите електротехници и е предизвикано изключително заради математическите удобства при работа с експоненциални функции. В рамките на класическата теория тя няма физични основания, понеже и двете комплекси полета $E^{(\pm)}$ са физично еквивалентни. В класическата теория те водят до тъждествени описания.

В общия случай всяко от полетата $E^{(\pm)}(\mathbf{r}t)$ зависи от пространствените координати $\mathbf{r}$ и времето t . Тогава мигновеният интензитет на полето в точката $\mathbf{r}$ и момента t е равен на:

$$|E^{(+)}(\mathbf{r},t)|^2 = E^{(-)}(\mathbf{r},t)E^{(+)}(\mathbf{r},t). \quad (3)$$

На практика винаги се измерва средният интензитет (обикновено усреднен по времето).

Истински оригиналните елементи на много от оптичните експерименти, водещи произхода си експериментите на Юнг с два отвора, представлявали начини за реализиране на възможността за наслаждане на полета, преминаващи през различни пространствено-времеви точки, до провеждането на измерването на интензитета. Така в опита на Юнг, показан на фигурата, светлината, проникваща през малък отвор, преминава през два отвора на втория екран, а след това, попадайки на третия, се детектира.



Опитът на Юнг. Светлината, преминала през малък отвор на първия екран, попада върху два близки малки отвора r_1 и r_2 от втория екран. Наслаждането на вълните, излъчени от двата отвора, създава интерференчни пръстени, видими в точките $\mathbf{r}$ от последния трети екран.

Полето $E^{(+)}(\mathbf{r}t)$ във всяка точка на последния екран представлява наслаждане на двете вълни, излъчени от двата предидущи отвора, с неголяма разлика в времето на попадане на детектиращия екран, свързано с неголямата разлика от разстояния, които те трябва да изминат.

Ако искаме да обсъдим детайлно интензитета на резултата от наслаждането, ще видим, че най-удобно ще бъде да използваме за тази цел корелационната функция, която можем да определим така:

$$G^{(1)}(\mathbf{r}_1 t_1, \mathbf{r}_2 t_2) = \langle E^{(-)}(\mathbf{r}_1 t_1) E^{(+)}(\mathbf{r}_2 t_2) \rangle. \quad (4)$$

Тази комплексна функция в общия случай зависи от двете пространствено-времени точки $\mathbf{r}_1 t_1$ и $\mathbf{r}_2 t_2$. Скобите $\langle \dots \rangle$ означават, че по някакъв начин се вземат средните стойности. Така че средният интензитет в дадена точка $\mathbf{r}t$ е равна просто на $G^{(1)}(\mathbf{r}t, \mathbf{r}t)$.

Ако полето $E^{(+)}(\mathbf{r}t)$ във всяка точка на третия екран представлява сума от двете полета, т.е. е пропорционално на $E^{(+)}(\mathbf{r}_1 t_1) + E^{(+)}(\mathbf{r}_2 t_2)$, то както лесно се вижда, средният интензитет в точката $\mathbf{r}t$ се дава от средната на четирите корелационни функции:

$$G^{(1)}(\mathbf{r}_1 t_1 \mathbf{r}_1 t_1) + G^{(1)}(\mathbf{r}_2 t_2 \mathbf{r}_2 t_2) + G^{(1)}(\mathbf{r}_1 t_1 \mathbf{r}_2 t_2) + G^{(1)}(\mathbf{r}_2 t_2 \mathbf{r}_1 t_1). \quad (5)$$

Двете първи слагаеми са двата отделни приноса от двата отвора на втория екран, т.е. интензитетите, които биха дали поотделно, ако само един отвор е отворен. Обаче тези гладки разпределения на интензитетите се допълват от двете последни слагаеми в сумата, които дават характерния интерференционен ефект от наслагането на вълните. Това са членовете, които водят до появяването на пръстените, които наблюдава Юнг.

(...)

Всички резултати, за които разказвах досега, са били получени на относително ранни етапи на развитието на тази област на физиката, която днес наричаме квантова оптика. По-нататъшните резултати бързо следваха един след друг през последните години и са толкова многобройни, че едва ли могат да бъдат приведени тук. Ще спомена само някои от тях. Бяха проведени разнообразни прецизни измервания на разпределението на отчитанията на фотоните и корелациите между тях, които ясно потвърдиха съгласието с теорията. Нещо повече – те подробно показаха как да се измерват свойствата на лазерите при увеличаване на тяхната мощност от догранични до надгранични стойности.

Пълното развитие на квантовомеханичната теория на лазера беше трудно [20], понеже лазерът по своята същност представлява нелинейно устройство, но само с помощта на такава теория могат да бъдат разбрани свойствата на квантовите шумове за различни типове системи трептения и усилватели.

Нелинейната оптика ни предостави нови видове квантови явления, такива като параметричните преобразувания на честотите надолу, при което единичен фотон се разцепва на двойка силно корелирани фотони, или преплитане на фотони. Преплитането стана богат източник на възможно най-интересните, но и най-загадъчните квантови явления.

Трябва да се подчертае, че математичните методи, развити от нас за изучаване на светлинните кванти, могат в еднаква степен да се прилагат за по-широк клас частици, подчиняващи се на статистиката на Бозе-Айнщайн. Например за атомите на He^4 , Na^{23} , Rb^{87} и всички останали атоми, с които неотдавна бяха проведени експерименти с оптични методи за получаване на бозе-кондензати. Ако се отчетат по надлежния начин атомните взаимодействия и ненулевата маса на атомите, то се оказва, че формализмът на кохерентните състояния дава разумни обяснения за поведението на такива бозе-газове.

Изглежда че този формализъм по аналогичен начин е приложим и за субатомните частици – за краткоживущите бозони. Пионите, които със стотици и даже с хиляди възникват при стълкновенията на тежките йони при високи енергии, също са бозони. Пионите с еднакви електрически заряди притежават отчетливо забележим стремеж към излъчване със силно корелирани импулси, което очевидно е ефект, аналогичен на корелациите на фотоните на Ханбъри Браун – Твис и изисква подобен анализ [21].

Разбира се, частиците, подчиняващи се на статистиката на Ферми-Дирак, имат съвсем различно поведение от това на фотоните и пионите. Не повече от една от тези частици може да заеме кое и да е зададено квантово състояние. Следователно методите на пресмятане, свързани с фермионните полета, радикално се отличават от онези, които се използват при бозоните, каквито са фотоните. Въпреки това беше показано, че може да се развие алгебрична схема [22] за пресмятане на средните стойности на произведения на фермионни полета, която се оказва паралелна на схемата, описваща полето от фотони. Това е много впечатляващо, защото означава, че съществува еднозначно съответствие между математическите действия и изразите за бозонни полета, от една страна, и фермионните полета – от друга. Това съответствие доказва своята полезност при описанието на динамиката на изродените фермионни газове.

Като заключение искам да разкажа за една случка с мен през 1951 г., когато бях на постдокторска специализация в Института за Висши изследвания в Принстън. Поради навика си по онова време да работя до късно (основно по статистиката на фотоните [13]), не се появявах често на работното си място рано през деня. Случваше се да ходя до института около пладне, което беше близо до края на работния ден на професор Айнщайн. По тази причина нашите пътища доста често



*Професор Айнщайн през пролетта на 1951 г.
в Принстън, Ню Джърси*

се пресичаха и при една от тези срещи аз се оказах с фотоапарат в ръка. Айнщайн с удоволствие се съгласи да го фотографирам, отдавайки дължимото на ролята си на местна забележителност и оставайки неподвижен, докато го снимах. На снимката е показан непубликуваният досега резултат от това действие. Винаги ще помня този образ заедно с неотслабващото съжаление, че пропуснах да му задам няколко въпроса за забележителната 1905 година.

Литература

[1] M. Planck, Ann. d. Phys. **1**, 69 (1900).

[2] M. Planck, Ann. d. Phys. **1**, 719 (1900).

[3] A. Einstein, Ann. d. Phys. **17**, 132 (1905).

[4] P. A. M. Dirac, Proc. Roy. Soc. **114**, 243, 710 (1927).

...

[13] R. J. Glauber, Phys. Rev. **84**, 395 (1951).

...

[20] M. O. Scully and W. E. Lamb, Jr., Phys. Rev. **159**, 208 (1967); M. Lax, in: *Brandeis University Summer Institute Lectures* (1966), Vol. II, eds. M. Cretien et al (New York: Gordon and Breach, 1968); H. Haken, *Laser Theory*, in: *Encyclopedia of Physics XXV/2c*, ed. S. Flügge (Heidelberg: Springer-Verlag, 1970).

[21] R. J. Glauber, *Quantum Optics and Heavy Ion Physics*, 2006 <http://arxiv.org/nucl-th/0604021>

[22] K. E. Cahill and R. J. Glauber, Phys. Rev. **A59**, 1538 (1999).

Превод със съкращения: **Н. Ахабабян**

Рой Джей Глаубер (Roy Jay Glauber) е роден на 1 септември 1925 г. в Ню-Йорк, където през 1941 г. завършва елитната гимназия Бронкс, и е приет за студент в Университета Харвард в Кеймбридж. Още като студент II курс, преди да навърши 18 години, той е привлечен за сътрудник в Манхатънския проект в Лос Аламос, където участва в пресмятания за определяне на критичната маса на изотопа на урана за изготвяне на първата американска атомна бомба. След войната се завръща в университета, където през 1946 г. получава бакалавърска степен, а през 1949 г. – PhD, с научен ръководител проф. Джулиан Швингер (Нобелов лауреат по физика за 1965 г.). От 1976 г. Р.Дж.Глаубер е професор в родния си университет, а през 2005 г. е удостоен с Нобелова награда „за приносите в квантовата теория на оптичната кохерентност (заедно с Дж.Хол и Т.Хеншоу). Проф. Глаубер е и един от главните учредители и организатори на пародийните Ig Nobel Prize.

ДА ВЪРНЕМ НАУКАТА НА МЯСТОТО Ї В КУЛТУРАТА: ОТ ЕПИСТЕМОЛОГИЧНАТА КРИЗА КЪМ ИЗИСКВАНИЯТА НА ЕТИКАТА

Жан-Марк Леви-Льоблон¹

Най-добрият начин да разберем положението, в което се намира науката днес, без съмнение е връщането към изминатия през близките десетилетия път. При опит да се поставя в положението на младия изследовател, който бях преди тридесетина години, се плаша от тогавашния ни оптимизъм и от този на цялата научна среда. Не подлагахме на съмнение нито това, че науката може да реши в краткосрочен план сериозните теоретични трудности пред върховите си дисциплини като физиката на частиците, нито че може да предложи решение на сериозните конкретни проблеми на човечеството, например в областта на здравеопазването (това бе епохата на програмата на Никсън за “война срещу рака”) и, още по-малко, че развитието ѝ продължава с включването на нарастващи по обема си човешки и материални ресурси. Днес трябва да признаем, че тези очаквания ни донесоха разочарование. Науката страда от силна загуба на кредит както в буквален, така и в преносен смисъл: политическата и икономическата подкрепа за нея, както и интелектуалната и културната ѝ репутация, се намират в дълбока криза.

Доволният триумфализъм на институционалния научен дискурс днес се измества към тревожния катастрофизъм, вероятно и той толкова наивен, колкото първия. Пред неизвестността, тегнеща върху бъдещето на науката, застават съжаленията и оплакванията, които поставят отговорността за тази неизвестност както върху политическите лидери, които (вече?) не биха разбрали значението на фундаменталните изследвания за икономическото развитие, така и върху публиката от профани, обзета от вълна, насочена “против науката”, и от ирационализъм, заплашващи мястото на научните познания в културата ни.

Стана обичайно да бъдем свидетели на разпалени пледоарии за по-широко и по-последователно развитие на “научната култура” или в англосаксонския свят на “public understanding of science”. В тази връзка от медиите, от образователната система и от самите изследователи се изискват нови усилия. Със сигурност тук наблюдаваме напредък по отношение на ситуацията в миналото, когато ученият смяташе, че сменя задълженията си още с напускането на лабораторията и когато оставяше отговорността за споделянето на знанието на пенсионирания мандарини и професионалистите на медиатизацията, като в същото време се оплакваше от извратените ефекти на една лошо контролирана вулгаризация. Но в такава позиция има много двусмислия. Ще посоча две от тях.

¹ Институт Робърт Хук, Университет на Ница, Parc Valrose, 06108 Nice Cedex, jml@unice.fr

Първо, държим се, сякаш е ставало дума за един чист въпрос за разбиране на знанията: *public understanding*. Казано другояче, убеждаваме се, че ако масата наши съграждани вече не одобрява и не поддържа развитието на науката, така както преди, то е, защото не я разбира.

Но може би самите ние бихме били достатъчно предпазливи да схванем, че не става дума само за знания, а като че ли преди всичко за власт (Lévy-Leblond, 1992). Съгражданите ни се безпокоят не само от това, дали разбират генетичните манипулации или ядрената енергетика, но биха желали да имат чувството, че могат да въздействат върху развитието им, да избират насоките на изследванията, да упражняват правото си на решение върху развитието на технонауката. Казано другояче, поставеният въпрос се отнася тъкмо за възможността за разширяване на демокрацията до техническия и научен избор, за която, трябва да признаем, гражданите пропускат широко съвременните демократични процедури (Lévy-Leblond, 1996a). Поставяйки този строго политически въпрос, вече не сме само в рамката на *public understanding of science*: не става дума единствено за споделяне на знанията, а може би първо и преди всичко за споделяне на властта.

Втората ми забележка е следната: поставяйки акцента върху *public understanding of science*, автоматично оставяме да се вярва, че от едната страна стои публиката, профаните, тези, които не знаят, а от другата страна сме ние, учените, тези, които знаят – “знаещите”, както са казвали някога и както все още се вярва, дори да не смеем да го кажем. Но една от дълбоките характеристики на сегашната ситуация е, че такова разделение не съществува. Ние, учените, не се отличаваме фундаментално от публиката освен в изключително тясната област на специализация, каквато е нашата. Пред проблемите, било то на генетичните манипулации или на клонирането например, аз съм точно – или почти точно – в ситуацията, в която е профанът. Дори в случая на ядрената енергетика професионалната ми компетентност на физик, дори същата да ми позволява да оценя опасностите от радиоактивността, не ме осведомява по никакъв начин относно рисковете от промишлените ядрени централи, които представляват повече въпрос на водопроводи и бетон, отколкото на строежа на атомното ядро! Трябва да приключим с тази представа, наследена от XIX век, според която от едната страна уж са учените, снабдени с общи и универсални познания, а от другата – една недиференцирана публика от невежи, на която това познание би трябвало да се предаде (Райхварг и Жак, 1991). Ние, учените, трябва да покажем скромност и да признаем, че познанията ни са твърде ограничени.

Истината е, че в един още по-дълбок смисъл ние не разбираме добре собствена-та си наука: не само че владеем само една ограничена част от съдържанието, но не познаваме по никакъв начин най-вече контекста. Днес се превръща в необходимост учените, актьорите на изследователската работа, да разберат по-добре не само знанията, които произвеждат, но и общия контекст, в който тези знания се произвеждат. Тук на преден план излиза проблематиката, наречена “на двете култури”, иницирана от Чарлс Пърси Сноу в една знаменита лекция (Сноу, 1993) от 1959 г. Сноу изказва

идеята, че от този момент в съвременните общества съществуват две различни култури: старата, тази на литературата и изкуствата, и новата, на науките и техниката, чието пълно признаване той изисква. Да отбележим обаче, че Сноу, противно на някои интерпретации, не се е радвал на разделението, което е вярвал, че констатира между тези две култури, и е съжалявал за това. Но аз вярвам, що се отнася до мен самия, че първоначалната му теза е едновременно слабоубедителна и все още твърде оптимистична. Слабоубедителна, тъй като самата идея, че могат да съществуват две култури, ми изглежда противоречива: думата култура може да се мисли само в единствено число; също като Френската република, културата е “една и неделима”. Какво би била една фрагментирана култура, а именно една не-култура? Това, което конституира културата като такава, е тъкмо нейната способност да изразява и развива органични връзки между всички измерения на човешката дейност. Съвременната наука се ражда в този смисъл от и в европейската култура преди около четири века. Известно време тя остава органически свързана с нея, а после става автономна; днес е отчуждена от нея. Казано с други думи, тук изказвам идеята, че няма “научна култура”, че вече няма такава. Изведнъж проблемът става много по-сериозен от простото търсене на ефикасни средства за разпространение на една научна култура, за която се смята, че съществува и се намира у самите учени, на които остава само да я предадат на профаните. Проблемът тогава става този за връщането на науката обратно в културата, да “поставим отново науката в културата” ((re)mettre la science en culture), както се казва на френски, нещо, което изисква дълбока промяна на самата научна дейност.

Но първо бих искал, като че ли да консолидирам моята диагноза, тъй като си давам добре сметка за донякъде провокационния характер на предположението, съгласно което в науката вече няма култура (Леви-Льоблон, 1984, 1997 и 2004). За да бъде то прието, трябва да се признае, че ако наблюдаваме приключващия двадесети век, присъстваме на известен брой нови явления в историята на тези четири века наука в съвременния смисъл. За да не става дискурсът твърде абстрактен и поради невъзможност тук да се развие един по-общ анализ, ще дам няколко примера от сегашната ситуация, за които претендирам, че са емблематични.

Да разгледаме най-напред самата научна практика, погледната отвътре.



“Но... Вашето откритие не позволява
направата на лазерен меч?!
Значи, то не служи за нищо!!”

Краят на линейния модел

Днес класическата вяра в едно линейно развитие на науката, в един кумулативен и естествен прогрес на познанието е разкладена из основи. През последните десетилетия трябваше да констатираме изненадващи феномени на исторически хистерезис²: ново разгаряне на пламъка, възвръщане на дейността в научни области, за които можеше да се смята, че са приключени и остарели. За физиците от моето поколение, възпитани в идеята, че единствено субядрената физика или астрофизиката са сюжети, които са едновременно интересни и престижни, бе изключително изненадващо да присъстват на съживяването на една наука, смятана до неотдавна за напълно остаряла, от XIX век – тук имам предвид механиката на флуидите и по-общо нелинейната динамика, която със сигурност е една от най-активните и най-интересните области на физиката днес. Впрочем тук е точката, върху която искам да наблегна: трябваше да преоткрием научни развития, датиращи от повече от век и които бяхме забравили; така бяхме принудени да препрочетем например текстовете на Поанкаре, които вече абсолютно не бяха част от професионалния ни багаж. В други области на науката съществуват много феномени от този тип. За да се ограничим с физиката, бихме могли да покажем, че новото разгръщане от три десетилетия насам на философски и епистемологичен дебат върху квантовата физика – за които знаем колко са били оживени през двадесетте години на XX век – е от същия порядък идеи: след половин век, в който този дебат се е смятал за приключен, трябваше да се върнем към източници, обявени твърде бързо за остарели. Очевидно краят на линейния модел на прогреса на изследователската дейност поставя сериозни проблеми пред научната общност. Това означава, че моделите на професионална подготовка на изследователите, основани върху единствения чиракълък в рамките на една тясно съвременна наука, са остарели.

Професионалната деквалификация

Струва ми се, че можем да изкажем идеята, че научните изследвания днес показват значително снижаване на средното си качество и във всеки случай – обезпокоителни епизоди на методологически аберации. Не разполагам с време за подробен анализ, но бихме могли да вземем в качеството на най-съществен пример известен брой перипетии, които не заглъхват в медиите от няколко години насам – тук имам предвид “студения синтез” или “паметта на водата”, – и да покажем, че това не са единични епифеномени, екстравагантности, дължащи се на местни отклонения, а тъкмо напротив, те са изцяло показателни за една обща тенденция. Тези от нас, които практикуват като рецензенти в научни списания, познават впрочем добре ниското качество на повечето представени статии, било то в методологичен, експериментален или концептуален план.

Загуба на пригодност

Още по-сериозно, може би, от тази нарастваща посредственост на научната про-

² Хистерезис по дефиницията на Petit Robert е закъснение на ефекта спрямо причината в поведението на телата, подложени на физическо въздействие.

дукция е отслабването на интереса към нея в средносрочен план. Много поучително за един изследовател е да се обърне отново в своята изследователска област към (най-добрите) списания отпреди тридесетина години, да прочете подробно съдържанието им и да се запита какъв е бил ефектът през годините от различните статии, публикувани в тях. Лесно се установява, че по-голямата част от тези публикации не са оставили следи, достойни за интерес; и тук не става дума толкова за индивидуалния принос на изследователите, колкото за самите теми на изследване. Разбирам добре, че към някои от тези теми, днес пренебрегвани, изследователите могат да се обърнат евентуално отново, по-нататък в бъдещето. Независимо от това огромната част от научната продукция днес губи пригодност въпреки и затова, че губи видимостта си. Разполагаме с доказателства, основани на наблюдения: специалистите по научна библиография (вижте например публикациите на ISI – Institute of Scientific Information), които се занимават с анализа на цитиранията, показваха, че около две трети от научните статии не се цитират никога (освен очевидно от своите автори в техните отчети или в други техни статии).

Що се отнася до действително цитираните статии, срокът на реалната им видимост е силно ограничен: библиографиите на научната литература, както първична (научни изследвания), така и вторична (синтез), обхващат средно около 4 до 5 години и рядко повече; по-нататък паметта се губи. Въпреки не се вижда и как текущите сътресения във формите на публикуване и съхранение на научна информация биха могли да излекуват това очевидно неминуемо остаряване.

Но може би най-тежкото в декултуризацията на науката се намира във от научните изследвания, на прехода между собствено научните среди и обществото в широк смисъл. И тук ще се ограничи до няколко отделни примера, които също лесно може да бъдат генерализирани.

Случаят на заразената кръв

Преди петнадесетина години във Франция се проведе голям социален, политически и съдебен дебат върху случая, наречен „заразената кръв”. Станциите за кръвопреливане бяха показали виновно нехайство при контрола, който е следвало да упражняват върху качеството на техните продукти, като известен брой кръвопреливания бяха довели до предаването на СПИН на болни и особено на хемофилици. Юридическият, медицински и научен дебат по този въпрос бе оживен, но остана доста повърхностен поради липсата на по-задълбочени исторически познания. Тъй като тук в действителност става дума за една много стара история, както го показва абсолютно забележителната книга на Мари-Анжел Ермит, в който авторката анализира дългата история на взаимоотношенията между кръвопреливания и съдебен опит (Ермит, 1996). Известно ли ви е, че първият заведен процес на лекари пред съда за кръвопреливане, приключил зле, датира от 1668 г. – да, хиляда шестстотин шестдесет и осма година? Малко след откриването от Харви на кръвообращението, някои лекари започват да извършват кръвопреливания от животни на човек. Излишно е да се каз-



Паметта на водата.

“Не сме ли се срещали миналия юли в Палавас?”



Паметта на водата.

“Та кога бе годишнината от сватбата ми?” –
“На 16.”

ва, че тези интервенции приключвали по-скоро зле, в общия случай, поради очевидно имунологични причини, но най-напред и преди всичко поради зле контролиран асепсис. През 1670 г. парламентът на Париж, призовавайки за оправдано благоразумие, забранява на лекари и хирурзи да практикуват кръвопреливания. Тази история наистина е твърде дълга и познава други интересни епизоди, които ни приближават към историята на СПИН в края на миналия век, където кръвопреливания, извършвани в малко по-благоприятни условия на стерилност и следователно с по-добри резултати, въпреки всичко водят до предаването на сифилис на редица пациенти. Ето един епизод, в който болест, предавана по полов път, е била предадена чрез кръвопреливане и където многобройни съдебни процеси установяват една завладяваща юриспруденция. Тези случаи, изучавани в подробности, са богати извори на комплексни сведения върху ролята на правосъдието по отношение на научните изследвания и върху идеологията на отноше-

нията между науката и обществото. Няма никакво съмнение, че ако изследователи, администратори, лекари, политици и юристи познаваха тази история на кръвта и правото, бихме били в състояние да застанем по-добре лице в лице с проблема и може би дори да го избегнем.

„The science wars” (научните войни)

Преди десетина години много се говореше, във всеки случай в англосаксонския свят и във Франция, за “научните войни”, тези открити конфликти, които, започнали и разраснали се от “аферата Сокал”, противопоставят известен брой практики на “твърдите” науки на социолози и историци на науката (Сокал и Брикмон, 1997). Някои физици, при това не от най-незначителните, например Нобеловият лауреат Стивън Уайнбърг³, участват в това противопоставяне с учудваща бруталност. Ясно е, че мистификацията на Сокал им е предоставила възможността да изразят – или поне се изкушаваме да го кажем – своето силно противопоставяне на всеки опит науката да се изучава като социална дейност с нейната политическа, икономическа и идеологическа обусловеност. За тях такива изследвания представляват само един неприемлив “релятивизъм” и поставят под съмнение самата валидност на научното познание. Но когато анализираме техния дискурс, сме шокирани от значителната наивност, с която тези специалисти, прочути в областта на физиката, разбира се, разглеждат социалните и хуманитарните науки и дори философията и историята. Критикувайки изследователите от тези области за техните злоупотребителни метафоризации на някои резултати на “твърдите” науки, специалистите от последните, дори техните критики понякога да са оправдани, показват най-често едно неразбиране на естеството и специфичните методи на социологията, на историята и на философията, което превъзхожда това, за което укоряват колегите си по отношение на физиката. Това е старата параболата на сламата и гредата (Леви-Льоблон, 2006)... Тук имаме един особено фрапиращ пример за дълбоката некултура на научните среди (Жюрдан, 1998). Ситуацията се утежнява допълнително и от това, че тежестта на твърдите науки, не само икономическа, но и идеологическа, днес изисква критична противотежест, основаваща се, между другото, на развитието на социалните и хуманитарните науки, равнодушната дисквалификация на които би довела до тежки последствия.

Неизпълнените обещания

И понеже говорим за култура, а значи за памет, трябва без съмнение в началото на този век да се върнем към предишния и да не забравяме някои изказвания, направени в недалечното минало от учените или от тяхно име. Ние, физиците, имаме известно предимство пред изследователите от други дисциплини, особено пред биолозите, които са на преден план в научните изследвания днес. Тъй като Златният век на физиката е приключил, това ни позволява да разгледаме нещата малко по-отдалеч (*старите аристокрации винаги са по-проницателни от младите буржоазии*... Ди Лампедуза, 1963). Особено си струва да се прочете това, което някои физици бяха обещавали към средата на XX век, и да се прокара паралел между анонсите, направени в тази епоха от името на физиката, и тези, които днес прави биологията. Беше предсказано например, че енергията благодарение на ядрената енергетика ще стане свръхизобилна и безплатна.

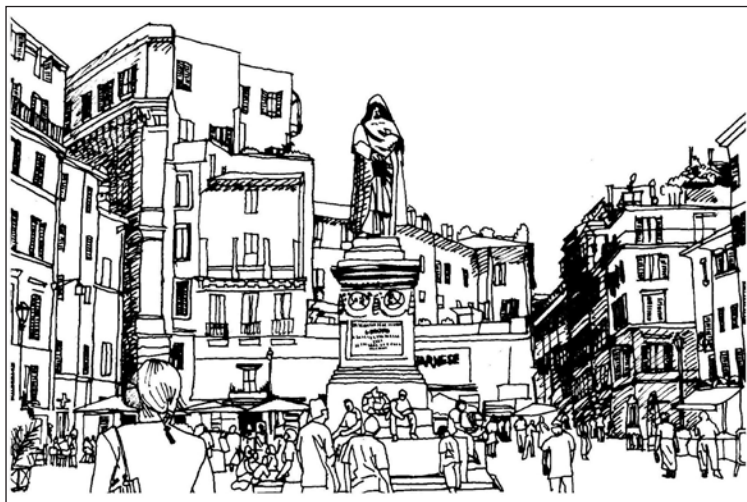
³ Вж. статията на Ст. Уайнбърг *Пародията на Сокал* в: „Светът на физиката”, т. 21, № 4 (1998), с. 258. – Бел. ред.

Популярните издания от онова време твърдят най-сериозно – на базата на изявленията на специалистите! – че до края на века всеки ще разполага с ядрен реактор у дома и дори в колата си (!), че термоядреният синтез ще бъде овладян в голям мащаб и т. н. Очевидно е, че сме далеч от това. За да се върнем на биологията, трябва да прочетем прокламациите от 60-те години от времето на голямата Никсънова програма за “война срещу рака” и да констатираме, че и днес, четиридесет години по-късно, проблемът е далеч от решението си. Що се отнася до широко развиваните днес перспективи на генните терапии и други чудеса на бъдещото биоинженерство, изглежда, съществува известна предпазливост. Без съмнение, едно разсъждение върху миналото би ни накарало да бъдем по-скромни, да не правим твърде много необмислени обещания и би променило отношението на публиката. Тъй като учените твърде лесно се оплакват, че профаните не разбират науката, реагират лошо на иновациите и показват “иррационални” страхове: обществото пази спомена за направените от науката обещания и може единствено да констатира често измамния им характер.

Виждаме, че тези слабости на съвременната наука влияят не само на епистемологичното ѝ здраве, но и на етичното ѝ отношение. Съвременната ситуация призовава и към дълбока промяна на изследователските практики, на научната професия. Да отбележим впрочем, че думата “изследовател” се появи съвсем неотдавна. Преди нямаше изследователи, имаше “учени” (“знаещи”), чиято дейност се състоеше в това, което днес наричаме научни изследвания, разбира се, но и в преподаване, популяризиране, внедряване на науката. В нашия век се роди особената и нова фигура на изследователя, чийто занаят е единствено да произвежда нови знания, но не и да ги споделя или прилага. Този етап на организация на работата в интелектуалните занаяти наподобява изцяло това, което сме наблюдавали в индустрията – специализация, парцелиране, йерархизиране – и което е довело до същите резултати: след няколко десетилетия на изненадващо нарастване на производителността на труда (тук нарочно използвам икономическия речник, който отговаря на комерсиализирането на научната продукция), днес сме стигнали до фаза, в която контрапродуктивните ефекти на разделението на труда стават очевидни. Тук става необходимо спешно да се рекомпозираат научните занаяти и на всеки от тях отново да се възложи задачата едновременно да произвежда знания и да ги споделя. Освен това е необходимо подготовката на учените, които не са само изследователи, да им позволи да изпълняват тези други задачи. Необходимо е още и да не бъркаме споделянето на научните знания с промотирането на имиджа на науката. Защото много от инициативите за разпространение на науката, в началото напълно похвални и водени днес в нашите страни и дори на европейско ниво, показват тенденция към придобиване на един съществено апологетичен и пропагандаторски аспект. Не може да има истинско “връщане в културата” на науката, ако критичният ѝ аспект не бъде заличен предварително. Но преди всичко трябва да създадем нови методи на обучение на изследователите, парадоксално нови, може би в това, че същите биха се върнали към много старите практики в други области. Можем ли да продължим да обучаваме професионални учени, без да им дадем и най-малкия елемент на разбиране

на историята на науката – и на тяхната дисциплина, най-напред – на философията, на социологията и икономиката на науките? Задачите, с които те сега се сблъскват при практикуване на професията си, и социалните отговорности, които не могат да игнорират, изискват от тук нататък те да имат широко схващане за научната дейност. Как може да продължава да се смята, че в това отношение науката ще бъде различна от изкуството или от философията, или от литературата, където на никого не би му хрумнало да преподава тези области на човешката дейност независимо от историята им? Защитаването на идеята, че науката трябва да се върне в културата и че за тази цел тя трябва да приеме и да живее своята история, понякога ни излага на обвинението в пасеизъм⁴, в привързаност към миналото. Но активният интерес към миналото няма нищо общо с носталгията, дори напротив. Тъкмо за да разгръщаме нови инициативи, да си поставяме нови цели, имаме нужда да познаваме и разбираме по-добре нашата история. Голямата френска енциклопедия в края на XVIII век дава фрапиращ пример: тъкмо в момента на разгръщането на една нова научна революция – по-специално в химията – протагонистите ѝ се обръщат отново към историята на тяхната дисциплина. Следователно в този интерес към историята няма нищо пасеистко; тъкмо напротив, в него е желанието да обобщим, да разберем къде се намираме, за да продължим с повече яснота.

Но отвъд полезността, която могат да имат хуманитарните и социалните науки за по-доброто разбиране на естеството и еволюцията на науките, които са по-малко такива (тук се подразбира хуманитарни и социални), произведенията на културата са тези, към които в по-обичайния смисъл на думата трябва да се обръщат често учените. Така литературата предлага изобилие от източници в областта на философията, социологията, научната етика (Леви-Льоблон, 1996b). За да се ограничим до няколко ключови примера, някои текстове на Виктор Юго и особено Глава III от неговия *Уилям Шекспир*, назована по малко неочакван начин “Изкуството и науката”,



Статуята на Джордано Бруно, Кампо дей Фиори, Рим.

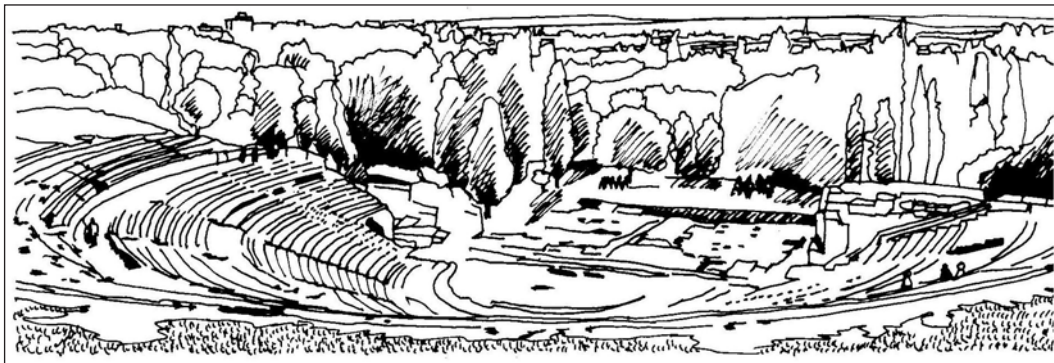
Рисунка на Клер Брьоно

⁴ Пасеизъм (фр., *passé* – минало) е направление в изкуството от началото на XX век и означава пристрастие към миналото и равнодушно (враждебно или недоверчиво) отношение към настоящето и бъдещето. Реакция на пасеизма е футуризмът. – Бел. ред.

представлява превъзходен урок по модерна епистемология, предхождайки в някои отношения Дюркем, Попър и дори Файерабенд. Незавършеният роман шедевър на Гюстав Флобер *Бювар и Пекюше* позволява да разсъждаваме върху най-прикриваната страна на науката: ако лудостта на науката е тема на безброй романи и комикси, нейната необходима и конститутивна глупост (в смисъл – тъкмо като вола, който оре, тя не може да върви напред без наочници) изобщо не се признава. Последната пиеса на Бертолт Брехт *Животът на Галилей* поставя в цялата му широта въпроса за взаимоотношенията между знанието и властта не само през XVII, но и през XX век – да си припомним, че Брехт се връща към пиесата си и я завършва при ослепителната светлина на експлозията в Хирошима. Неговата рефлексия впрочем е продължена от една мрачна и саркастична пиеса на Фридрих Дюренмат, *Физиците*. Много от книгите на Примо Леви, обединявайки практиката му на химик и опита му на депортиран, поставят подобни въпроси. И как да не цитираме тук прочутата книга на Леонардо Шаша *Изчезването на Майорана*⁵, която въпреки протестите на физиците срещу липсата на историческа строгост предлага едно задълбочено размишление на същата тема, подхваната неотдавна от романа на Жорди Бонелс *Второто изчезване на Майорана*.

Може би вече е твърде късно. Нищо не доказва, казвам го с известна тежест, че днес сме в състояние да извършим тези необходими мутации. Историята по-точно ни показва, че големите научни епизоди в историята на цивилизациите са приключили: гръцката наука е продължила няколко века; арабската наука, превъзходната арабска наука, на която дължим толкова много (Рашед, 1997), се е развивала в продължение на няколко века, а после е замряла. Щафетата е била поета от други. Дори е имало големи цивилизационни периоди, през които това, което наричаме наука, не е било фундаментална дейност, призната и валоризирана като такава. Достатъчно е да сравним в това отношение римската и гръцката цивилизация, които поддържат съвършено различни отношения със знанието, или пък китайската цивилизация и индийската. Следователно нищо не гарантира, че през идущите векове нашата цивилизация, оттук нататък световна, ще продължи да пази за науката като такава мястото, което същата е заемала в продължение на няколко века. Възможно е тази наука да стане толкова ефикасна, превърната, както се казва, в “технонаука”, че нейната практическа ефективност да стане по-важна от интелектуалното ѝ измерение. Това е една напълно възможна еволюция и дори вероятна по отношение на съвременната ситуация. Ако отказваме тази перспектива, ако искаме да запазим за науката спекулативното ѝ измерение, да я поддържаме като едно от големите приключения на човешкия дух, ще имаме нужда от промяна на посоката, за да останем в линията на последните векове. Впрочем в това отношение Европа е особено добре пласирана (Алиаж, 1993). Специфичен за европейската култура е непосредственият достъп до едно все още плодотворно минало, достъп, който нямат или вече нямат обществата отвъд Атлантика или отатък Пасифика. Тази плодотворност и тази комплексност, които съставляват нашето богатство, усещам, например, всеки път, когато съм в Рим, отивайки първо да поздравя Джордано

⁵ Вж. „Светът на физиката”, *Четиво с продължение*, том 19 (1996) № 1–4. – Бел. ред.



Античният театър в Сиракуза. Рисунка на Клер Бруно

Бруно на Кампо дей Фиори, преди да отиде в Санта Мария дели Анджели: през 1600 г. Бруно е изгорен от Инквизицията, но век по-късно, през 1700 г., Църквата прокарва върху паважа на Санта Мария дели Анджели един чудесен меридиан, един от големите инструменти на астрономията на онази епоха (Хайлброн, 1997). Тук пред очите ни е един пример за историческата сложност на отношенията между наука и общество. Този, който се разхожда по големия пражки площад и среща едновременно Кеплер, Болцман и Айнщайн, или отива в Париж от гроба на Декарт в Сен-Жермен де Пре до лабораторията на Кюри на хълма Сент-Жьоньовиев, минавайки през Екол политехник и Екол нормал супериор, после през Пантеона и махалото на Фуко, натрупва същия опит. А има ли по-емблематично място от онази Сицилия, пътят на средиземноморския свят (Алиаж, 1995), където Архимед все още броди из руините на Сиракуза, където Фридрих Втори се храни от арабската култура и споделя математиката ѝ с Леонардо да Пиза, т. е. Фибоначи, където е живял Майорана и където днес вие създавате този новаторски институт, който справедливо желае да обедини научните изследвания с рефлексията върху методите и етиката на науката?

Превод: Е. Кръстева

Литература

- Alliage, 1993. Numéro spécial Science et culture en Europe. *Alliage*, 16–17, 312 p.
- Alliage, 1995. Science et culture autour de la Méditerranée. *Alliage*, 24–25.
- Di Lampedusa G.T., 1963. *Le guépard* [Il Gattopardo]. Le Seuil, Paris, 248ap.
- Heilbron J.L., 1997. Des églises, instruments de science. *Alliage*, 32, 31–41.
- Hermitte M.A., 1996. Le sang et le droit: essai sur la transfusion sanguine. Le Seuil, «Science ouverte», Paris, 477 p.
- Jurdant B. (dir.), 1998. *Impostures scientifiques, les malentendus de «l'affaire Sokal»*. Coédition La Découverte, «Sciences et Sociétés», Paris, 331 p., et *Alliage*, 35–36,
- Lévy-Leblond J.M., 1984. L'esprit de sel: science, culture, politique. Le Seuil, «Points Sciences», Paris, 313 p.

Lévy-Leblond J.M., 1992. About misunderstandings ... *Public Understanding of Science*, 1, 17–22.

Lévy-Leblond J.M., 1996a. En méconnaissance de cause. In: J.M. Lévy-Leblond, *La pierre de touche: la science à l'épreuve*. «Folio Essais», Gallimard, Paris, 38–59.

Lévy-Leblond J.M., 1996b. Le miroir, la cornue et la pierre de touche – ou: que peut la littérature pour la science? In J.M. Lévy-Leblond, *La pierre de touche: la science à l'épreuve*. Gallimard, «Folio Essais», Paris, 183–218.

Lévy-Leblond J.M., 2004. *La science en mal de culture/Science in Want of Culture*. Éditeur Futuribles, «Perspectives», Paris, 69 p.

Lévy-Leblond J.M., 2006. La méprise et le mépris – impostures intellectuelles ou inculture scientifique? In J.M. Lévy-Leblond, *La vitesse de l'ombre: aux limites de la science*. Le Seuil, «Science ouverte», Paris.

Raichvarg D., Jacques J., 1991. *Savants et ignorants: une histoire de la vulgarisation des sciences*. Le Seuil, «Science ouverte», Paris, 290 p.

Rashed Roshdi (dir.), 1997. *Histoire des sciences arabes* (3 vol., 376 p., 422 p., 321 p.). I. Astronomie, théorique et appliquée; II. Mathématiques et physique; III. Technologie, alchimie et sciences de la vie. Le Seuil, «Science ouverte», Paris.

Snow C.P., 1993. *The Two Cultures*. Cambridge University Press, Cambridge, 2e ed., 181 p.

Sokal A.D., Bricmont J., 1997. *Impostures intellectuelles*. Odile Jacob, Paris, 276 p.

Текстът е по речта на Жан-Марк Леви-Льоблон при откриването на Института за научна методология ISEM (*Institute for scientific methodology*) в Палермо през март 2007 г. Същият е предмет на една първа публикация на сайта на ISEM: <http://www.isem.net>. Публикува се с любезното разрешение на автора и това на ISEM. Публикуван в *Courrier de l'environnement de l'INRA*, No. 56, décembre 2008.

АТОМНАТА ЕНЕРГИЯ И ЧОВЕКЪТ

Л.И.Пономарьов

Съвременната цивилизация се отличава от всички предшествващи епохи по две основни качества: обилие на използваната енергия и свършена система на комуникации. Именно те представляват основата на всички впечатляващи постижения в технологиите и техниката на нашето време. Техни символи са станали атомната енергия, спътниците, компютрите и безжичните телефони. През последните сто години във всекидневния живот навлязоха електричеството, автомобилът и самолетът, радиото и телефонът, телевизорът и още много други неща, за които ние си спомняме само когато някое от тях изчезне от употреба. Обаче, като всеки сложен механизъм, този, създаден от човека свят, е крехък и недълготраен, ако ние не успеем да го защитим и запазим.

В тази система на ценности енергията заема особено място: без нея днешната цивилизация е невъзможна. За нейното добиване от времето на първото огнище до атомните електростанции човек е изразходвал примерно около една трета от своите усилия. Понятието за енергия – *energeia* в древна Гърция – се е употребявало за означаване на някакво активно начало, но само науката обяснява нейната особена същност: за разлика от веществото, което може да бъде използвано многократно, енергията може да бъде използвана само веднъж. Преди сто години един от основателите на учението за радиоактивността Фредерик Соди беше казал: *“Истинското богатство на света е неговата енергия... Страхът от изразходване на храната ни е вроден; страхът от изразходване на запасите от топлинна енергия човечеството предстои да развие...”*

Запасът от енергия на Земята е ограничен и съсредоточен, основно, в ядрата на урана и тория, които са били родени в “звездните тигани” още преди образуването на Земята и Слънчевата система. Днес тази реалност се разбира едва от няколко човека на един милион, но за запазване на нивото и постиженията на съвременната цивилизация техните усилия са недостатъчни: за това трябва да се измени светоусещането на цялата човешка общност.

В началото на нашата ера Земята е била населена от 200-300 милиона души, и хиляда години след това този брой не се е увеличил съществено. В средата на второто хилядолетие населението на планетата започва бързо да нараства: по времето на Колумб (~ 1500 г.) на Земята са живеели около 500 милиона човека, при Галилей (~ 1600г.) те стават 550 милиона, при Нютон (~ 1700 г.) наближават 650 милиона, а в началото на XIX век съвременници на Уат и Фарадей са около 1 милиард души. През последното столетие броят на обитателите на нашата планета се удвоява всеки 40-50 години: при Планк, в началото на XX век те са около 1,6 милиарда, а към неговия край са вече над 6 милиарда. Не е трудно са се пресметне, че при такова темпо на размножаване на хората след още две хилядолетия масата на хората ще надвишава масата на самата Земя.

Абсурдността на такава екстраполация е очевидна, и наистина, програмата, уп-

равляваща “свободния живот” на човечеството, започва да се изменя. През 1900 г. скоростта на прираста за населението на Земята е била 10 млн./година и е нараствала до 1989 г., когато достига максимум (87,9 млн./година). От тогава, за пръв път в цялата писана история, тя намалява устойчиво и през 2004 г. е вече само 72,5 млн./год. По оптимистични прогнози тази скорост към края на XXI век ще падне до нула, а броят на хората на Земята ще се стабилизира на ниво 10-12 милиарда.

Мощта на такава маса от хора, владееща огромна енергия, е сравнима с геологическите фактори, от които зависи бъдещето на нашата планета. Днес човек използва за свои нужди ~ 10% от първичната продукция на фотосинтеза и е преобразувал като орна земя и пасища ~ 50% от годната за обработка почва: изсякъл е гори, пресушил е блата и по този начин отново е снизил техния принос в цикъла на фотосинтезата. *“По-рано природата е заплашвала човека, днес човек заплашва природата”*, бе казал Жак Ив Кусто.

Колко енергия е необходима на човека? Среднодневната норма за енергията, която човек изразходва с храна, е равна примерно на 2-3 хиляди килокалории = $(0,8-1,3) \cdot 10^7$ джаула (което е равно на енергията от изгаряне на 300 г. въглища). Така че средната мощност на човешката жизнена дейност представлява едва 120 Вт., т.е. равна примерно на мощността на горяща клечка кибрит. На Земята днес живеят 6,3 милиарда души и сумарната мощ за тяхната жизнена дейност е равна на $0,8 \cdot 10^{12}$ Вт.

От времето на изобретяване на машината човекът е увеличил своята мощност многократно. В началото на XX век за сметка на вятъра, парата, енергията на реките и домашните животни тази мощност в развитите страни е нарастнала до 0,5 кВт на човек, а в началото на XXI век световното производство е представлявало $1,3 \cdot 10^{13}$ Вт, т.е. средно ~ 2 кВт на човек – двадесет пъти повече, отколкото той е употребявал при храненето си.

Историята на развитие на нашата цивилизация представлява непрекъснатата борба за увеличаване на мощността на човека свръх това, която той е имал над получаваната първоначално от храната. Примерно 500 хиляди години назад човек е овладял огъня, 40 хиляди години назад – опитомил животните, а преди 5 хиляди години ги впрегнал пред плуга. В началото на нашата ера построил водната мелница, а през XI век изобретил и вятърната мелница. През 1784 г. Джеймс Уат създава първия парен двигател, който (заедно със Стефансон през 1825 г.), пуснал в движение парния локомотив и със сто години напред определил лицето на промишлената революция. Затова единицата за мощност *Watt* е кръстена на негово име. Още след сто години (1885) се появява автомобилът на Даймлер и Бенц с бензинов двигател, който с появяването си напълно изменя света. Откритието на Фарадей и изобретяването на електрическите машини завършват епохата на промишлената революция и на границата между XIX и XX столетие светът преминава от епохата на парата във века на електричеството. Първата електростанция и разпределението по мрежата е построена от Едисон през 1881 г. След половин век, мощността на световната електрическата мрежа представлява $3 \cdot 10^{10}$ Вт, през 1970 г. е нараснала до $5,7 \cdot 10^{11}$ Вт, а към края на XX век достига $2,1 \cdot 10^{12}$ Вт. Днес

за производство на електричество се изразходва около една трета от цялата добивана топлинна енергия, но има още транспорт, бит, металургична и химична промишленост и т.н., които увеличават потока на енергия до $1,3 \cdot 10^{13}$ Вт.

Откъде се черпи тази енергия и колко още ни трябва?

В продължение на стотици години допълнително, покрай храната, източник на енергия за човека е служила енергията на вятъра и реките, дървесината и домашните животни, т.е. по същество, енергията от термоядрения поток от Слънцето, е натрупана в атмосферата, океана и растенията. През XVIII век повсеместно започват да се използват въглищата – също енергия от Слънцето, но натрупана от растенията в продължение на стотици милиони години, много преди появяването на човека. Към края на XIX век нефтът навсякъде измества въглищата, особено след появяването на автомобилите и самолетите. Накрая, през XX век започва активното използване на природния газ, който също бързо измества нефта.

В началото на XXI век в пещите ежегодно се изгарят около 12 милиарда ($1,2 \cdot 10^{10}$) тона условна топлина (1 тут = $7,10^9$ кал = $2,94 \cdot 10^{10}$ Дж), основно въглища (36%), нефт (38%) и газ (26%). При това се освобождава $\sim 3,6 \cdot 10^{20}$ Дж енергия, от която $\sim 1/3$ ($1,2 \cdot 10^{20}$) Дж отива за производство на електричество. При отчитане на приетият коефициент на конверсия на топлината в електричество ($\eta = 0,375$) за година всички топлинни електростанции на света произвеждат $0,44 \cdot 10^{20}$ Дж електричество ($\sim 1,4 \cdot 10^{12}$ Вт), което представлява $\sim 65\%$ от цялата електрическа мощност на планетата. Останалите 35% се допълват примерно поравно от хидростанции и атомни електростанции, а около 0,5% – от други източници на енергия (слънчева, вятърна, геотермална и др.). Пълната топлинна мощ на енергетиката в началото на XXI век е $1,34 \cdot 10^{13}$ Вт, от която във вид на електричество се изразходва едва $2,1 \cdot 10^{12}$ Вт ($\sim 15\%$), а от нея $0,36 \cdot 10^{12}$ Вт ($\sim 17\%$) се обезпечава от атомната енергетика: засега малко, но повече от мощността на електроенергетиката в света през 1954 г., когато е пусната в действие първата атомна електростанция.

Лесно се вижда, че всички благополучия на съвременната цивилизация се основават основно на запасите от въглища, нефт и газ. За колко дълго ще ни стигнат, зависи от нашите днешни и прогнозируеми потребности. От времето на откриването на Америка населението на нашата планета е нараснало 15 пъти, а само за последното столетие се е увеличило 4 пъти. Според прогнозите към средата на XXI век производството на енергия ще се удвои, а на електричество – ще се утрои. Освен това, днешното разпределение на енергия е крайно неравномерно: например в Етиопия се пада 100 Вт на човек, в Русия 6 кВт, а в САЩ – 12 кВт. Една четвърт от населението на земното кълбо изразходва $\frac{3}{4}$ от произвежданата енергия, от които $1/3$ се използва от жителите на САЩ, съставляващи 4,6% от населението на света. Последствие от това може да бъдат или войни (те вече започнаха), или постепенно изравняване на нивата на потребление, което още повече ще увеличи потока на енергия. Към средата на XXI век мощността на произвежданата енергия ($\sim 3 \cdot 10^{13}$ Вт) е сравнима с енергията, излъчвана от недрата на Земята ($3,2 \cdot 10^{13}$ Вт) и съставлява $\sim 0,03\%$ от мощността на

потока от слънчева енергия, която се поглъща в атмосферата на Земята и достига до нейната повърхност ($\sim 10^{17}$ Вт).

Малко или много е това за нарушаване на сложните самосъгласувани процеси в биосферата на Земята? Днес с увереност да отговори на този въпрос не може никой, въпреки че това не ни дава никакво основание за благодушие (даже най-мощните и разрушителни торнада се зараждат от малки и незначителни вихри!). Този проблем си има вече име – “топлинно замърсяване на биосферата” и се намира в списъка на многото, обусловени от резкия ръст на произвеждана енергия. (През предстоящото полустолетие производството на енергия ще бъде толкова, колкото за цялата предшестваща история на човечеството).

При днешните темпове за изразходване на природно органичното гориво нефтът и газът към края на XXI век, вероятно ще бъдат изчерпани. Запасите от въглища ще стигнат за още 200 ~ 300 години, но не могат да спасят ситуацията, защото при това възниква друг проблем – замърсяването на атмосферата от продуктите на изгарянето на въглищата, основно серни и въглеродни газове. Понастоящем в атмосферата се изхвърлят във вид на CO_2 6,5 млрд. тона въглерод за година, по тон за всеки жител на планетата, а при “въглеродния” сценарий за развитие на енергетиката тези изхвърляния ще нараснат многократно. Според твърденията на еколозите следствие от това ще бъде т.нар. “парников ефект”, т.е. повишаване на средната температура на Земята, топене на полярните ледници и съпътстващите ги природни катастрофи с глобален мащаб: повишаване нивото на световния океан, затопляне на крайбрежните градове, засушаване, урагани и наводнения, както и изменение на климата на цели региони. Доколко са верни тези прогнози засега не е ясно, но точно е известно, че изменението на климата е бавен процес, който веднъж започнал, не може да бъде спрял в продължение на хилядолетия – както това се е случило в епохата на последния ледников период, завършил само преди 12 хиляди години. Съмнително е, че нашата извънредно сложна и крехка цивилизация може да издържи на такъв груб натиск от природата. Пред лицето на този глобален призив бледнеят всички политически амбиции и национални разпри, но, за съжаление, това се разбира и се взема за сериозно едва от няколко човека на милион. А може би и по-малко...

Атомната енергия. Атомната енергия се отличава от другите видове енергия, преди всичко със своята концентрация: при делението на 1 г ураново ядро се отделя $\sim 8 \cdot 10^{10}$ Дж енергия – примерно три милиона пъти по-голяма, отколкото при изгарянето на 1 г въглища ($\sim 3 \cdot 10^4$ Дж). Това е главното условие за успешната реализация на термодинамичните процеси с отделянето на топлина и извършване на работа. Освен това, запасите на енергия в ядрено гориво (уран и торий) милиони пъти превишават запасите на енергия в органичните горива. И накрая – ядрената енергетика не замърсява биосферата на Земята с изхвърлянето на азотни окиси, въглеродни и серни газове. По съвкупност на тези причини атомната енергия няма алтернатива в обозримата историческа перспектива.

Разбира се, примамливо би било да се използва енергията на слънчевото излъчване,

чиято мощност на повърхността на Земята ($\sim 5 \cdot 10^{23}$ Дж/год или $\sim 10^{17}$ Вт) и три хиляди пъти превишава прогнозируемите потребности на бъдещето. Обаче слънчевата енергия е силно разсеяна (средно ~ 160 Вт/м² на морско ниво), за да може да бъде използвана ефективно. Именно по тази причина енергията на слънчевото излъчване без съмнение ще бъде използвана (и вече се използва) за локални нужди, но основа на бъдещата енергетика тя едва ли може да стане. Енергията на вятъра и реките (всъщност, също енергия от слънчевото излъчване) е изиграла важна роля до епохата на парата и електричеството, но днес нейният принос в световната енергетика е скромнен ($\sim 7\%$) и не може съществено да бъде повишен.

Днес енергията на ядрото се използва основно за производство на електроенергия и нейният принос в електричната мощност на света е около 17%. Световното производство на електроенергия в началото на XXI век нарасна почти сто пъти в сравнение с началото на епохата на индустриализация (1930) и днешният дял от неговото използване ($\sim 15\%$) в бъдеще несъмнено ще нараства: електричеството е универсалният и най-удобният начин за ползване на енергия. Същевременно тя може да бъде пренасяна на големи разстояния и доведена до всеки дом. Ядрената енергия, поради уникалната си концентрация, е идеално приспособена за централизирано производство на електроенергия. Тя може да покрие всички потребности от електричество и, освен това, голяма част от потребностите на транспорта, отоплението и промишлената химия. В такъв случай рязко ще спадне изхвърлянето на CO₂ в атмосферата на Земята, а нефтът и газта ще се запазят за бъдещите поколения като изходна среда за многочислените химически производства: пластмаси, лекарства, синтетични материали и пр. “Нефтът не е топливо – да се горят могат и ценните книжа” – е убеждавал съвременниците си Менделеев още в края на XIX век. А половин век след това Пьотър Леонидович Капица е писал, че в бъдеще “... за изгарянето на въглища, торф и пр. в огнища ще се говори като за варварство...”

Всички тези аргументи и факти са общодостъпни и добре известни, но въпреки това хората повсеместно се съпротивляват на строителството на Атомни Електростанции (АЕС), устройват се референдуми и демонстрации, подават оставки правителства. Причината за това е не само неосведомеността на голяма част от хората относно природата на атомната енергия: като правило, те я отъждествяват с атомната бомба. Обаче същината на възраженията на грамотните противници на атомната енергия е значително по-сериозна и накратко се свежда към твърдението: тя и много по-скъпа и опасна. По много причини:

- опасност от ядрена авария;
- проблемите с радиоактивните отпадъци;
- риск ядреното оръжие да попадне в ръцете на терористи.

Това са реалните проблеми и професионалистите признават, че те не са измислени, а, главно – до днес не са решени. Емоционалните протести на “зелените” спомагат малко за тяхното решение, а ядрените специалисти рядко се впускат в сериозни дискусии с дилетантите: значително по-често (но често отвисоко) те само коментират

особено нелепите пасажи на “зелените”. Но самото разгорещаване на страстите в този спор свидетелства, че и двете страни не са напълно убедени в правотата си и че не всичко е благополучно в “атомното кралство” – както често се опитват да представят нещата грамотните, но не напълно добросъвестни апологети на атомната енергия. Нещо повече, даже в самото ядрено общество няма единен възглед за бъдещето: една част от него предполага, че възникналият кризис може да бъде преодолян по пътя на усъвършенстване на днешната структура на атомната енергетика, другата настоява за коренно преустройство на базата върху нови принципи, и – преди всичко – на основата на „бързите реактори” от новото поколение.

Атомната енергетика, ставайки част от голямата енергетика, престана да бъде чисто научен проблем и сега нейното бъдеще се определя не толкова от физиката, колкото от политиката и икономиката, които са станали арбитри в спора на ядрените учени с разтревожената общественост. За да може в техните спорове да се роди истината, трябва преди всичко да се избегнат двойните стандарти и да не се предявяват към атомната енергетика изисквания, много по-големи отколкото към другите видове техники. Няма спор, че примерът на Чернобил е трагичен: 134 души бяха хоспитализирани с остра лъчева болест, 32 от тях починаха в течение на една година, а още много хиляди хора живеят в очакване на неизвестни последствия от по-малки дози радиация; евакуирани бяха стотици населени места, а общите икономически загуби се оценяват на около 10 милиарда долара. Но същевременно на никой през главата му не преминава мисълта да забрани автомобилите, въпреки че всяка година по пътищата на Русия загиват по 40 хиляди души. Такива крупни аварии не са специфични само за ядрената енергетика – това е резултат на чудовищната концентрация на енергията. Взрив в химически комбинат в Бхапал (Индия) през 1984 г. отне живота на 3300 души и още 20 хиляди пострадаха от поражения на зрението и дихателните органи. Обаче никой не поиска на това основание да се закрие цялата химическа промишленост. Точно по същия начин пробив в язовирна стена в Италия през 1964 г., когато едновременно загинаха 500 души, не спря строителството на хидростанциите по целия свят. И малко хора знаят, че 1 ГВт (гигават = 10^9 Вт) електричество годишно, изработено във въглищните станции, струва живота на 300 души, докато за атомните станции е пет пъти по-малко. По оценки, от замърсявания на атмосферата ежегодно загиват около 3 милиона души, а след 20 години този брой ще се утрои – хиляда чернобила ежедневно. С една дума, за енергията трябва да се плаща, а колко – зависи от остротата и срочността на проблема. Да се осигури абсолютна безопасност е невъзможно, може само да се намали рискът за възникване на аварии. Един от уроците е аварията в Чернобил: вече 20 години тя служи за един от главните аргументи “против” в спора за бъдещето на атомната енергетика, и, може би, това е основната вреда, която тя нанесе на човешката общност. Обаче, в днешните условия тази спънка може да доведе до големи и необратими загуби.

Радиоактивните отпадъци са още един проблем, който трябва да бъде решен професионално, а не да се плашат домакините и депутатите от парламента. Преди всичко, трябва да се разбере разликата между отработеното (облъчено) ядрено гориво (ОЯГ)

и “ядрената отрова” – радиоактивните отпадъци (РАО). Парламентарните баталии, истерията в пресата и дебатите по телевизията в основата си са обусловени именно от неразбирането на тази разлика. ОЯГ 95% се състои от уран-238, годно за многократно повторно използване, и само от 5 % “ядрена отрова”. При това, 1/5 от тази “отрова” е плутоний-239 – ценно гориво и “ядрен барут”, за която всъщност беше и създадена навремето цялата атомна индустрия, а останалите 4/5 от “отровата” е смес на стотици изотопи на тридесетина различни радиоактивни елементи, сред които всички са чували за стронций-90, цезий-137, технеций-99, йод-129. Но в действителност не те са опасните, а тъй наречените *трансуранови елементи* (изотопи на плутония, нептуния и особено – америция и кюрия), които в РАО са около 2%, т.е. около 0,1% от цялото отработено ядрено гориво. Атомна станция с електрична мощност 1 ГВт изгаря годишно примерно 1 тон уран, т.е. произвежда 1 тон РАО, който включва в себе си 200 кг плутоний-239 и 20 кг трансуранови елементи. А цялата ядрена енергетика на света (~ 360 ГВт) произвежда годишно около 10 хиляди тона ОЯГ, 400 тона РАО, 80 тона плутоний и 7 тона трансуранови елементи. За сравнение: една топлоелектрическа станция със същата мощност за година ще остави след себе си ~ 300 хиляди тона отрови – повече от всички ОЯГ (~ 200 хиляди тона), натрупан в света за всичките 50 години съществуване на ядрената енергетика. В това ОЯГ се съдържат 10 хиляди тона РАО, в това число и ~ 2 хиляди тона плутоний и ~ 200 тона (4 вагона) трансуранови елементи.

И до днес учените не са достигнали до съгласие какво да правят с тези отпадъци: да ги закопаят дълбоко в Земята, да ги изхвърлят далеч в космоса или да ги догарят в реакторите. Но и това не може да бъде причина за незабавното забраняване на ядрената енергия: ядрената енергетика е все още в самото начало на своето развитие и трябва да се търси решение на проблемите, а не причини, поради които да бъде задушена още в люлката. И все още не е ясно кое е по-опасно: локализираните и контролирани ядрени отпадъци, масираното замърсяване на атмосферата от изхвърлянията на топлинните станции или милиардите тонове миещи препарати, които след време могат изцяло да отровят почвата и водоемите на планетата. (Ежегодната маса от ядрени отрови от АЕС в света не надвишава и 1% от нарастването на отровните химически отпадъци). Към това трябва да се добавят и регулярните екологични катастрофи от аварии на танкери, неизбежни при превоза на милиони тонове нефт. Впрочем, във въглищата съдържанието на уран е десет пъти по-голямо, отколкото средно на Земята и затова радиоактивният пушек на ТЕЦ многократно превишава радиационния фон в околностите на АЕС (За този факт “зелените” непонятно защо не обичат да си спомнят).

И накрая – проблемът за неразпространение на ядреното оръжие в епоха, когато тероризмът стана ежедневно явление в бита на човечеството. Преди всичко – тероризмът е предизвикателство за всички морални и етични норми на днешната цивилизация. Ако ние искаме да я запазим, то не следва да я поставяме в зависимост от терористите на бъдещето и в частност – от съдбата на атомната енергия. Освен това, на фона на предстоящите ожесточени войни за източници на енергия (не е изключено в бъдеще да бъдат използвани и атомни бомби) терористите изглеждат като дребни хулигани.

Няма абсолютна защита против целенасоченото зло, но може и трябва да се намали рискът от него, особено в места с концентрация на енергия. За това трябва преди всичко да се реши проблемът за неразпространение на ядрените материали, т.е. да се прекъснат каналите за крадене на плутоний и уран-235. (Днес в хранилищата само на Русия има складирани над 34 тона плутоний, а за една атомна бомба са достатъчни 5 кг). В съществуващата структура на атомната енергетика при увеличаване на нейните мащаби едва ли ще може да се изключи рискът от такива кражби, затова вместо увеличаване на външните защиты на атомните обекти, трябва да се намерят начини за вътрешна защита на атомните обекти, независими от “човешките фактори”. Да се реши кардинално този проблем може само по един единствен начин: да се създадат такива ядрени реактори и технологии, които не изискват отделяне на плутоний и разделяне на изотопите на урана, т.е. коренно да се измени основата на цялата съвременна ядрена енергетика, поначало ориентирана за военни нужди.

Съвременният облик на ядрената енергетика и днешните нейни проблеми се определят от историята на нейното рождение: тя се появи като страничен продукт на програмата за създаване на ядреното оръжие, която изискваше преди всичко срочното създаване на реактор за бързо натрупване на плутоний, както и да се намери начин за разделяне на изотопите на урана. Невижданият разцвет на ядрената физика в следвоенните години се обяснява с безпрецедентната поддръжка от държавата на научните изследвания в тази област (която в частност спомогна и за утвърждаването на физиката на елементарните частици). По онова време никой не мислеше ни за радиоактивните отпадъци, ни за достъпните ресурси на уран, нито за безопасността над минимално необходимата (нито за терористите, предизвикващи цели държави). Пред нашите очи започва вторият етап за развитие на ядрената енергетика, където всички изисквания се формулират от самото начало и се взимат предвид по най-сериозен начин.

Обаче: праволинейното отчитане на всички съвременни изисквания за безопасност на съществуващите типове реактори води до извода, че те стават икономически неефективни в сравнение с електростанциите на органично топливо. Именно това обстоятелство (заедно с Чернобилската авария) е причина за днешното забавяне в развитието на ядрената енергетика. Този икономически аспект на проблема учените често недооценяват, въпреки че е ясно, че цената на енергията (независимо от нейната важност) не може съществено да надхвърля онази една трета част, която днес заема в употребата за цялата човешка дейност. Това е още един проблем, който не съществува при разработването на ядреното оръжие: по време на неговото създаване държавата беше готова да плати всякаква цена.

Днес атомната енергетика икономически наистина отстъпва на топлинната, ако се съди според мерките на примитивната пазарна икономика, а именно, изискваната от нас бърза печалба. За създаване на устойчива ядрена енергетика на бъдещето са необходими 30-50 години и за решаването на този проблем е необходима дългосрочна стратегия за нейното развитие. Това означава, че ядрената енергетика само отчасти е

работа на частни компании, а в нейната основа трябва да лежи приоритетната загриженост на държавата, подобно на това за образованието и медицината. Икономиката и стабилността на държавата пряко зависят от решаването на проблемите на енергетиката и, освен това, именно държавата, а не частните компании, отговарят за радиационната безопасност на населението.

Заслужава да се отбележи, че през последния четвърт век почти всички атомни станции са построени в развиващите се страни, а не в страни с отдавна утвърдени демократични традиции. И едва ли е случайно това, че основите на най-мощната атомна енергетика в Европа (78 %) беше заложена във Франция по времето, когато тя се управляваше от генерал Шарл де Гол. По същество, с този частен, но важен пример ние сме свидетели на това, как демокрацията на развитите страни, в която възниква и самата наука, и нейната рожба – атомната енергетика, влиза в противоречие с призива на епохата, която изисква незабавно намаляване и кардинални решения, смисълът и значението на които са разбираеми за тесен кръг професионалисти. Всички опити да се реши съдбата на атомната енергетика с помощта на демократични реформи са неадекватни: истината не се подчинява на мнозинството на гласоподавателите, а в дадения случай това е начин да се предложи отговорно решение на безотговорния електорат.

За Русия, с нейните огромни пространства и средногодишна отрицателна температура атомната енергия е много по-важна, отколкото за Франция. Всяка зима преса, парламент, телевизия – всички са изненадани и съкрушени: “В Приморие отново децата в училищата замръзват, а домовете им се топят с тенекиени кюмбета. Още по съветско време се планираше там да се построят две АЕС, с мощност по хиляди мегавата за всяка една от тях. И ако тези планове бяха реализирани, днес ситуацията там щеше да бъде вероятно не толкова катастрофална. За работата на два блока ВВЕР-1000 е необходим около половин вагон (~ 30 тона) уран в година, вместо два ешелона въглища (~ 10 хиляди тона) ежедневно за захранването на ТЕЦ с подобна мощност. Както се казва за такива случаи – почувствайте разликата, особено в условията на руските простори и железопътна инфраструктура.

В историята на Русия е имало епизод, за който сега не обичат да си спомнят. През 1765 г. Екатерина II започва да култивира картофи в Русия, а нейното начинание продължават и Павел, и Александър I, но без особен успех. Едва след две слаби житни реколти подред (1839, 1840 г.), пред заплахата от глад Николай I издава височайша заповед за провеждане на енергично и повсеместно внедряване в Русия на “втория хляб” – картофите и за тази цел заповядал да се раздадат на селяните семена, да се обучат в отглеждането, съхраняването и употребата на картофите, както и да се уредят награди за проявилите се на това поприще. Царското разпореждане възбудило всеобщо негодувание на селяните и през 1842 г. в някои губернии избухват “картофени бунтове”, които са били усмирени при съдействието на военни подразделения, а на някои места и с куршуми. Както е казал половин век след това Сергей Юльевич Витте: “Против тази реформа е била цяла Русия: първо от невежество, а след това – по навик”. В началото на XX век частта от картофени насаждения в някои губернии достига 20%.

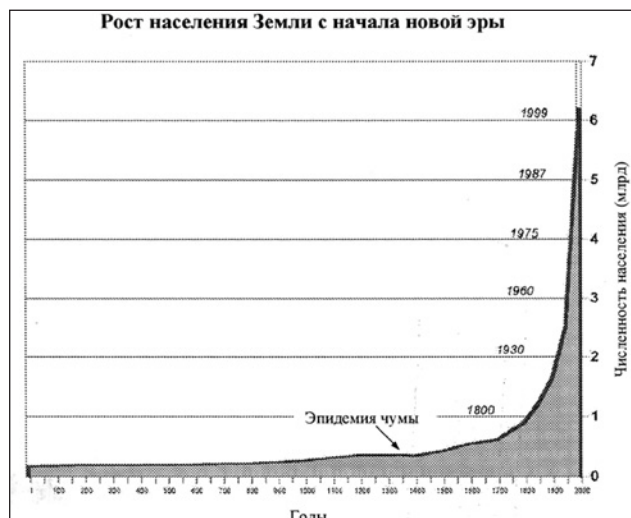
Император Николай I съвсем не е бил демократ (по съветско време той беше наричан Николай Палкин (от палка – пръчка, тояга. *бел.прев.*), но за благо на родината е бил загрижен и се е вслушал в съветите на учените хора. Но ако вместо решителната си намеса в главата му се бе появила мисълта да проведе всенароден “картофен референдум”, то не е трудно да се досетим за резултата. Съвременните либерални идеи за референдум по въпроса за атомната енергетика малко се отличават с идеята за “картофен референдум” и в новите условия те са като него необосновани и опасни, а техните инициатори – престъпно недалновидни.

И още: начинанието на Николай I е имало успех преди всичко, защото той правилно е избрал посоката на усилията. Използвайки своята абсолютна власт, той би могъл да заповяда повсеместно в Русия да се насаждат банани (или царевица) – с познатия ни резултат. Затова главната задача на ядреното общество днес е да разработи и предложи на обществеността и държавата нова структура на ядрената енергетика и, преди всичко, **да създаде икономичен, безопасен ядрен реактор, изключващ възможността за крадене на ядрено взривно вещество, работещо на уран 238** (или торий 232, чиито запаси на Земята са практически неизчерпаеми).

Такъв реактор още не съществува и неговият облик не е ясен в детайли, но няма съмнение, че той може да бъде създаден: половин вековният опит на атомната наука и технологии е под ръка. За това е необходимо преди всичко да се осъзнае мащаба и важността на поставената задача и концентрират усилията за нейното решаване. Такова отношение засега няма нито в обществото, нито във властовите структури и даже в самата ядрена общност. Напротив, широко е разпространено мнението, че времето за такива усилия още не е настъпило, и проблемът ще бъде бързо решен, когато обществото сметне, че е настъпил моментът за това. При това се забравя, че през последния четвърт век си замина по поколенията, създадо съвременната ядрена енергетика – заедно

с опита си и ентузиазма на първооткриватели. И ако днес не предадат щафетата на ядрените знания на новото поколение, то след още двайсетина години проблемът за ядрената енергия ще се наложи да се решава отначало, при това в условия на дефицит на кадри и равнодушие на обществото към научните проблеми на ядрената наука и технологии.

Разбира се, проблемът за атомната енергия не е изолиран: това е само едната страна на “Бермудския триъгълник” **енергия-екология-икономика**,



Фиг. 1

от който на всяка цена трябва да се измъкнем. Мащабът на тази задача многократно превишава сложността на задачата, която се налагаше да се решава при създаване на ядреното оръжие. Изглежда, ядрената енергетика прибързано беше сведена до ранга на инженерните дисциплини: в нея всъщност не са решени множество научни проблеми, за решението на които са необходими младежки ентузиазъм, вдъхновение от величието на предстоящите задачи, и лидери от мащаба на Ферми и Курчатов.

Изглежда, понастоящем енергетичният глад все още не е настъпил: населението още не е преодоляло страха от малко познатите плодове на ядрената енергетика, учените за сега не са решили неговите ключови задачи, а политиците не са прозрели изключителната важност на проблема за ядрената енергия, за да бъде той решен с цялата мощ на държавата.

А време остава все по-малко: ядрената енергетика не е картоф и, когато настъпи истинският енергетичен глад, да се посади за две години няма да стане – даже с помощта на военни подразделения и тежко въоръжение.

От руски **Н.Ахабабян**, сп. “Енергия”, №7, 2007



Фиг. 2

НАГРАДИТЕ ЗА ФУНДАМЕНТАЛНА ФИЗИКА НА ФОНДАЦИЯ „МИЛНЕР“ ЗА 2013 г.

Наградата Наградите за фундаментална физика са основани от руския бизнесмен Юрий Милнер през 2012 г. Стойността на наградата е 3 млн. USD, което я прави най-щедрата международна награда за постижения в областта на науката. През първата година (2012) са наградени девет учени. Техните имена и за какви постижения са били наградени ще намерите в *Светът на физиката*, №4, 2012, стр. 468. Тези девет първи лауреати на наградата формират научното жури, което е натоварено със задачата да определи на кого да се присъдят следващите награди, тези за 2013 г.

Наградите за 2013 г.

1. Наградите „Хоризонти на физиката“

Носителите на тази награда са автоматично номинирани за наградата за фундаментална физика за 2013. Всеки един от тях ще получи по 300 хил. USD. Наградените са:

А. Чарлз Кейн (Charles Kane), Лоурънс Моленкамп (Laurens Molenkamp) и Шученг Зханг (Shoucheng Zhang) за теоретичното предсказване и експерименталното откриване на топологичните изолатори (topological insulators).

В. Александър Поляков от Принстънския университет (Princeton University), за многобройните му открития в теорията на полето и в струнната теория, включващи: магнитните монополи, инстантоните, конфайнмънт/деконфайнмънт, квантуването на струни в некритични размерности и мн. др. Неговите идеи са доминирали в тези две области на физиката през последните десетилетия.

С. Йозеф Полчински (Joseph Polchinski) за неговите приноси в много области на квантовата теория на полето и струнната теория. Неговото откриване на D-браните (D-branes) даде нов поглед върху природата на струнната теория и квантовата гравитация.

2. Наградите „Нови хоризонти на физиката“

Тази награда се присъжда на обещаващи млади учени. Всеки от лауреатите на тази награда получава 100 хил. USD. За 2013 г. наградените са:

А. Никълъс Бейсерт (Niklas Beisert) от Технологичния институт в Цюрих (ETH Zurich) за развиването на мощни точни методи за описание на една квантова калибровъчна теория и на свързаната с нея струнна теория.

В. Дейвид Гайото (Davide Gaiotto) от Института по теоретична физика в Онтарио (Perimeter Institute for Theoretical Physics, Ontario) за отиващите далеч прозрения за дуалността, калибровъчната теория и геометрията и по-специално за неговата работа, свързваща теориите в различни размерности по най-неочакван начин.

С. Зохар Комаргодски (Zohar Komargodski) от Вайцмановия научен институт (Weizmann Institute of Science) за неговата работа върху динамиката на 4-размерните полевни теории. В частност неговото доказателство (заедно с Швимер (Schwimmer))

на „а-теоремата“ разреши един дългогодишен проблем, водейки до нови дълбоки прозрения.

Специалните награди за фундаментална физика за 2013 г.

Фондацията „Милнер“ дава и две специални награди за фундаментална физика, всяка на стойност от 3 млн USD.

А. Стивън Хокинг (Stephen Hawking) за откриването на лъчението на Хокинг от черни дупки и за приносите към квантовата гравитация и квантовите аспекти на ранната Вселена.

В. Споделено от работещите в CERN: Питър Йени (Peter Jenni), Фабиола Джаноти (Fabiola Gianotti) от експеримента ATLAS, Мишел Деланегра (Michel Della Negra), Тежиндър Синх Вирди (Tejinder Singh Virdee), Гуидо Тонели (Guido Tonelli), Джо Инкандела (Joe Incandela) от експеримента CMS, Лин Евънс (Lyn Evans) от колайдъра LHC.

Тези седем учени са наградени за тяхната ръководна роля в дългогодишните усилия, довели до откриването на нова частица със свойства на предсказания от Стандартния модел бозон на Хигс. Лин Евънс ръководеше проектирането и строителството на колайдъра LHC. Питър Йени и Фабиола Джаноти са бивш и настоящ говорители на експеримента ATLAS. Мишел Деланегра, Тежиндър Синх Вирди, Гуидо Тонели, Джо Инкандела са бивши и настоящ говорители на експеримента CMS. Тази колективна награда ще бъде разделена на три равни части-една за работата по колайдъра LHC и две за експериментите CMS и ATLAS.

Наградата за фундаментална физика за 2013 г.

Носителят на наградата за фундаментална физика за 2013 г. е избран измежду носителите на наградата „Хоризонти на физиката“ за 2013 г. от посоченото по-горе жури. Той ще получи 3 млн USD. След оживена дискусия за носител на наградата за фундаментална физика за 2013 г е обявен **Александър Поляков**.



Фиг.1 Стивън Хокинг



Фиг.2 В CERN посрещнаха наградата с ръкопляскания и усмивки (Фабиола Джаноти, настоящ говорител на експеримента ATLAS и Джо Инкандела, настоящ говорител на експеримента CMS)

Александър Поляков Александър Маркович Поляков е роден в Москва през 1945 г.

През 1961 г. заедно с А. А. Мигдал спечелва първо място на Руската физико-математическа олимпиада и като награда му е разрешено да се яви на кандидат студентските изпити за МФТИ, въпреки че е едва в девети клас.

Научните постижения на проф. А. М. Поляков са в областите на квантовата теория на полето и теорията на струните. Той независимо от Г. т'Хофт прилага топологичните идеи в теорията на полето. Открива монополни и инстантонни решения в теорията на Янг-Милс. Преформулира теорията на струните в термините на интегралите по траектория. Заедно с А. Беланов и А. Замолотчиков прави класификация на двумерните конформни теории на полето. Любопитно е, че през 1964 г., когато А. М. Поляков е още студент, той заедно с А. А. Мигдал разработва теория, която днес бихме нарекли „динамичен механизъм на Хигс“. Това се случва независимо и преди публикуването на знаменитата статия на П. Хигс (P. Higgs). За нещастие известното списание ЖЭТФ първоначално отхвърля предложената за публикуване статия. Тя е отпечатана две години по късно, когато научният приоритет е вече загубен (А. А. Мигдал, А. М. Поляков. *Спонтанное нарушение симметрии сильного взаимодействия и отсутствие безмассовых частиц. ЖЭТФ, т. 51, вып. 1, 1966, стр. 135-146*)

През 1984 г. А. М. Поляков е избран за член-кореспондент на РАН. От 1989 г. работи в Университета в Принстън. Той е носител на множество престижни награди: медал на името на Дирак (1986), медал на името на Лоренц (1994), медал на името на О. Клайн (1996), награда Л. Онзагер (2011).



Фиг. 3 Александър Поляков, носител на наградата за фундаментална физика за 2013 г. на фондация „Милнер“

Ето думите на проф. А. М. Поляков при получаването на престижната награда:

„Приятно съм изненадан и въодушевен да получа такова признание. Това за мен е голяма чест. Вярвам, че това ще помогне за привличането на повече млади хора към физиката и че ще ускори процеса на иновации и нови открития.“

Церемонията Наградите са обявени на церемония, състояла се на 20 март 2013 г. в Международния конгресен център в Женева. Водещ на церемонията е бил известният холивудски актьор Морган Фриймън (Morgan Freeman). Тя е открита от Генералния директор на CERN Ролф Хо-йер (Rolf Heuer). Изпълнения на прочутата певица Сара Брайтмън (Sarah Brightman) и на виртуозният пианист Денис Мацуев са били сред перлите на вечерта.

Юрий Милнер Юрий Милнер е руски бизнесмен от еврейски произход. Роден е в Москва през 1961 г. в интеллигентско семейство. Баща му е бил заместник директор на Икономическия институт на РАН, а майка му е работила в лаборатория за лекарствен контрол.

През 1985 г. Юрий Милнер завършва МГУ със специалност теоретична физика. Работи във Физическия институт на РАН „П. Н. Лебедев“. През 1990 г. Милнер завършва и Висшето училище по бизнес в Уортън, САЩ (Wharton School of Business). След това работи известно време като експерт в Световната банка.

Бизнесът на Ю. Милнер е свързан с Интернет и с инвестициите. Той е сред пионерите на прилагането и развитието в Русия на новите, базирани върху глобалната мрежа, бизнес технологии-фирмите Mail.ru Group и Digital Sky Technologies Global, Интернет портала List.ru, online аукциона Molotok.ru, online магазина 24x7 и мн. др. Милнер също така притежава акции в: Facebook, Twitter, Zynga, Spotify, ZocDoc и др. Богатството му се оценява на 1 млрд USD (2012). Списание Fortune го нарежда през 2010 г. на 46 място в списъка на водещите бизнесмени в света.

Ю. Милнер е женен за бившия топ-модел Юлия Бочкова, която понастоящем се изиявява като фотограф и художник. Семейство Милнер има две дъщери.

доц. д-р Динко Динев
(по материали на Интернет)

АБОНАМЕНТ И РАЗПРОСТРАНЕНИЕ

Абонамент за 1 година (4 книжки) – 16 лв., за пенсионери и студенти – 8 лв.

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

Броеве от списанието можете да намерите на следните места:

София

- Книжарницата на БАН: София 1000, ул. “15 ноември” № 1, тел. (02) 987 97 86
- Книжарницата на Математически факултет на СУ “Св. Климент Охридски”: София 1164, бул. “Джеймс Баучър” 5
- Книжарница “Нисим”, бул. “В. Левски” 59
- Съюз на Физиките в България, Физически факултет, СУ “Св. Климент Охридски”: София 1164, бул. “Джеймс Баучър” 5, Снежана Йорданова, тел. +359 2 62 76 60, e-mail: upb@phys.uni-sofia.bg

Варна

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

НЕСЪРАЗМЕРНОСТТА НА ЧОВЕКА

Блез Паскал

*По случай 350 години от смъртта на големия учен и мислител **Блез Паскал (1623–1662)** ви предлагаме един фрагмент (72) от знаменитите му „Мисли“ [1]*



Ето до какво ни довежда непосредственият опит. Ако не отговаря на истината, и у човека няма нищо истинско. В обратния случай той вижда в него основание да се чувства принизен, понеже, така или иначе, е принуден да признае безпомощността си. А тъй като не може да съществува, без да вярва в него, съветвам го, преди да изследва по-задълбочено природата, поне веднъж да се замисли сериозно и спокойно за нея, да се вгледа и в себе си и като осъзнае точните си измерения... Нека се опита да види природата в цялото ѝ необхватно величие, нека отвърне поглед от окръжаващите го дребни неща. Нека се взре в ослепителната светлина, запалена като вечна лампа, за да озарява Вселената, нека Земята му

се стори само точица в сравнение с огромната орбита, която описва това светило, и нека си помисли удивен, че самата тази огромна орбита е само точица в сравнение с орбитата, описвана от кръжащите в небесния свод светили. Но ако погледът му спира дотам, нека въображението му мине отвъд. По-скоро то ще се умори, докато природата неуморно ще предлага нови простори за полета му. Целият видим свят е само незабележима чертица в необятната Вселена. Не можем да си я представим дори приблизително. Колкото и да се мъчи да надникне отвъд въображаемите простори, фантазията ни ражда само атоми в сравнение с действителните измерения на нещата. Природата е сфера, чийто център е навсякъде, а периферията – никъде. Най-осезаемият признак за Божието всемогъщество е, че въображението е безпомощно, когато се опитва да си представи Вселената.

А сега нека се върнем към себе си и да си помислим какво представляваме в сравнение с битието. Нека се видим залутани в това затънтено кътче на Вселената и от малката килийка, отредена ни за жилище – имам предвид видимия свят – да осъзнаем истинската стойност на Земята, държавите, градовете и най-сетне на самите нас.

Какво е човекът в безкрая?

Но за да ви покажа още едно чудо, също така удивително, нека се вгледаме в най-

нищожното от познатите ни живи същества. Нека си представим малкото телце на червей с още по-малките крачка и стави, вените и кръвта в тях, съставките на кръвта и отделните им капки, мехурчетата въздух в капките; нека разчленим и тези най-дребни частици, докато изчерпим възможностите на въображението си. Да се спрем сега на последния обект, до който сме стигнали; навярно ще сметнем, че това е най-малкото нещо в природата. Искам да ви покажа още една бездна. Искам да ви обрисувам не само видимите безпределни простори, но и безкрайността, включена в мъничкия атом. Нека видим в него неизброими светове, всеки със своя небесен свод, планети и земя, в същото съотношение, както видимата Вселена; да си представим живите същества на тази земя и най-сетне червея, в който ще съзрем същите елементи, както в първия червей. Можем да продължаваме така без отдиш и безспир, докато съвсем се загубим пред това чудо, не по-малко изумително с малките си размери, отколкото другото със своята необхватност; кой не би се удивил наистина, че нашето тяло, незабележимо във Вселената, е истински колос, цял свят, едва ли не всичко в сравнение с нищото, непостижимо за мисълта ни?

Ако се замислим така над себе си, ще се ужасим; и представяйки си, че тялото, дадено ни от природата, е между тези две бездни и виси на границата между безкрайното и нищото, ще се изпълним с трепет пред тия чудеса; мисля си също, че любопитството ни ще отстъпи място на възхищение и ще бъдем по-склонни да ги съзерцаваме безмълвно, отколкото да ги изследваме самонадеяно.

Защото най-сетне какво е човек във Вселената? Нищо в сравнение с безкрайното, всичко в сравнение с нищото, средина между всичко и нищо. Съвсем неспособен да разбере тия две крайности, целта на явленията и техните първоначала са за него непреодолимо скрити в непроницаем мрак; за него са еднакво непостижими и небитието, от което е възникнал, и безкраят, който го поглъща.

Какво му остава да прави? Той улавя само видимите страни на явленията, без да се надява да узнае когато и да било нито началото, нито края им. Всичко е възникнало от небитието и е устремено към безкрая. Кой ще проследи смайващия му път? Това чудо е понятно само на неговия творец. Никому другиму.

Тъй като не се замислят за двата безкрая, хората безразсъдно се заемат да изучават природата, като че ли са съразмерни с нея. Странно е, че в самонадеяността си, равна по безграничност на предмета на изследването им, те са се опитали да проумеят принципите на явленията и оттам да стигнат до познанието на цялата Вселена. Наистина подобен замисъл не може да се зароди без крайна самонадеяност или способност, безгранична като самата природа.

Образованият човек разбира, че природата е отпечатала своя облик и облика на твореца си върху всичко, затова почти на всичко е присъща тази двойна безграничност. Така областта на изследване на всяка наука е неограничена; нима някой се съмнява, че на геометрията например ѝ предстои да докаже безкрайно много теореми? Науките са безпределни не само с безчислените си, но и недоловими принципи; кому не е ясно, че привидни основните принципи се опират на други, които от своя страна се опират на

трети, така че никои не са последни? Само че ние приемаме за последни принципите, до които може да стигне разумът ни, както в материалния свят наричаме невидима точката, отвъд която сетивата ни не забелязват нищо, макар по своето естество тя да е безкрайно делима.

От двете безкрайности в познанието по-осезаемо за човека е безкрайно голямото. Затова много малко учени са твърдели, че са опознали всичко. «Ще говоря за всичко» – казвал Демокрит.

Безкрайно малкото е по-неуловимо. Философите по-скоро твърдят, че са го познали, а всъщност са претърпели провал. Оттук и обичайните заглавия: За принципите на явленията, За принципите на философията и тям подобни, също така високопарни в действителност, макар и привидно по-скромни от *De omni scibili* (За всички науки), което направо боде в очите.

Естествено е да си въобразяваме, че по-лесно можем да проникнем до центъра на мирозданието, отколкото да го обхванем в неговата цялост. Видимите му простори явно надвишават възможностите ни и тъй като и самите ние явно превишаваме малките неща, въобразяваме си, че повече ще ни се удаде да ги овладеем, докато всъщност на ума е необходима еднаква сила, за да стигне както до нищото, така и до всичко. Не-обходим е безграничен ум както за едното, така и за другото, и ми се струва, че ако някой може да проумее основните принципи на нещата, ще успее да разбере и безкрайността. Едното зависи от другото, едното води към другото. Двете крайности са толкова отдалечени, че се докосват и съединяват в Бога и само в него.

Нека узнаем обсега на възможностите си; ние сме нещо и не сме всичко; битието, което притежаваме, ни пречи да узнаем истинското първоначално, възникнало от небитието; а мимолетността на нашето битие скрива от погледа ни безкрайното.

Нашето познание заема в областта на познаваемото същото място, каквото е тялото ни в необятността на природата.

Ограничени във всяко отношение, средното ни положение на границата между две крайности слага отпечатъка си върху всичките ни способности. Сетивата ни не долавят нищо извънмерно; прекалено силният шум ни оглушава, прекалено ярката светлина ни ослепява, прекалено далечното и прекалено близкото затрудняват зрението ни, прекалено дългите и прекалено сбитите фрази правят речта неясна, прекалено много истина ни зашеметява (познавам хора, които не са в състояние да разберат, че нула минус четири е равно на нула), първите начала са прекалено очевидни за нас, прекаленото наслаждение е вредно за здравето ни, прекалено много съзвучия дразнят в музиката, дори прекалено многото благодеяния са досадни: ще ни се с лихва да се отплатим: *Beneficia eo usque laeta sunt dum videntur exsolvi posse; ubi multum antevenere, pro gratia odium redditur* (Благодеянията са приятни, докато човек си мисли, че може да се отплати: отвъд тази граница признателността се превръща в омраза). Не усещаме нито много силен студ, нито много силна топлина. Извънмерните свойства са не само недоловими за сетивата ни, но и вредни за нас. Ранната младост и късната старост спъват ума, също както прекалено многото и прекалено малкото познания. С една дума,

крайностите като че ли не съществуват за нас, както и ние за тях, те са недоловими за нас, както и ние сме недоловими за тях.

Това е истинското ни състояние, поради което сме неспособни за сигурно познание и абсолютно незнание. Плуваме по средата, винаги несигурни и колебливи, тласкани насам-натам. Опитаме ли се да се хванем за нещо устойчиво и да се задържим на него, то се разклаща и се отдалечава от нас, спуснем ли се подире му, то се измъква от ръцете ни, изплъзва се и се понася във вечен бяг. Нищо не спира за нас. Такова е естественото ни състояние, възможно най-противоположно на желанията ни; жадуваме за устойчивост, копнеем да намерим най-сетне твърда почва, за да изградим кула, извисяваща се до безкрая, но целият ни градеж се пропуква и под нас се раззинват бездънни бездни.

Нека не търсим увереност и устойчивост. Разумът ни постоянно ще бъде мамен от променливите привидности. Крайното не може да намери твърда опора между двете безкрайности, които го ограждат и му се изплъзват.

Ако това ни стане съвсем ясно, вярвам, че ще намерим покой, всеки там, където го е поставила природата. Щом средината, която ни е отредена, е винаги далеч от двете крайности, има ли значение дали знаем повече или по-малко? Ако знаем повече, ще гледаме малко по-отвисоко. Но нали пак ще бъдем безкрайно далеч от крайната цел и животът ни пак ще бъде нищожен миг във вечността дори ако се удължи с десет години?

В сравнение с тия безкрайности всички крайни неща са равни и не виждам защо въображението ни трябва да предпочете някое от тях. Самото сравнение на човека с крайното ни кара да страдаме.

Ако човек изучеше най-напред себе си, би видял, че е неспособен да излезе извън пределите си. Мислимо ли е частта да опознае цялото? Но може би тогава той ще се опита да опознае поне частите, съразмерни с него. В света обаче всичко е така свързано и преплетено едно с друго, че ми се струва невъзможно да се овладее едното без другото, както и без цялото.

Човек например е свързан с всичко, което познава. Нужно му е място, което да го приюти, време, през което да живее, движение, без което няма живот, елементи, от които да е съставен, топлина и храна, за да поддържат съществуването му, въздух, за да диша; той вижда светлината, усеща телата: всичко това е свързано с него. Следователно, за да опознаем човека, трябва да разберем защо се нуждае от въздух, за да живее; а за да опознаем въздуха, трябва да разберем каква зависимост съществува между него и човешкия живот. Пламъкът не гори без въздух; значи, за да опознаем пламъка, трябва да опознаем и въздуха. Тъй като всичко в света е едновременно причина и следствие, двигател и движимо, опосредовано и непосредно, тъй като всичко е скрепено с природни недоловими връзки, които съединяват най-далечните и най-несходните явления, струва ми се невъзможно да се опознаят частите без цялото, както и да се опознае цялото без подробно да се познават частите.

Вечността сама по себе си и в Бога също ни смайва, тъй като нашият живот е толкова мимолетен. Същото въздействие ни оказва и устойчивата постоянна неподвижност на природата в сравнение с непрестанната променливост в самите нас.

Нашето безсилие да проникнем в същността на явленията се засилва и от обстоятелството, че те са прости, а ние съчетаваме две нееднородни и противоположни начала – тяло и душа. Защото не е възможно мислещото начало у нас да не е духовно и ако се твърди, че сме само телесни същества, това още повече би ни отдалечило от истинското познание, защото няма нищо по-абсурдно от твърдението, че материята познава сама себе си. А не можем да узнаем как е стигнала до подобно познание.

И така, ако сме само материя, не можем да имаме никакви познания, а ако съчетаваме дух и материя, не можем да изучим еднородните явления, било само духовни или само телесни.

Затова почти всички философи смесват представите за нещата и разглеждат телесното като духовно и духовното като телесно. Те смело заявяват, че телата са привлечени от земята, че се стремят към центъра си, че се опитват да избягнат разрушението, че се плашат от празното пространство, като че ли природата изпитва влечения, симпатии и антипатии – прояви, присъщи на духа. А говорейки за духа, те го разглеждат като ограничен в пространството и му приписват придвижването от едно място на друго, свойствено само на телата.

Вместо да имаме чисти представи за нещата, ние ги оцветяваме с нашите свойства и придаваме двойствената си природа на еднородните явления, които съзерцаваме.

Кой не би помислил, като ни гледа как приписваме на всичко тяло и дух, че това съчетание ни е съвсем ясно? А именно то е най-загадъчно за нас. Човек е за самия себе си най-удивителното творение на природата, защото не може да проумее какво представлява тялото и още по-малко духът, а най-непонятно му е как тялото се съчетава с духа. Това за него е върхът на трудностите, а същевременно е собственото му същество. *Modus quo corporibus adhaerent spiritus comprehendere ab hominibus non potest, ed hoc tamen homo est* (Начинът, по който тялото е съединено с духа, е непонятен за хората и все пак именно това е човек).

[1] Паскал, Блез. Мисли. С., Наука и изкуство, 1972. Превод Анна и Лилия Сталеви.

МАРИАН СМОЛУХОВСКИ И БРАУНОВОТО ДВИЖЕНИЕ

А. Габович

*Същественият признак на това, което в обикновения
живот означаваме като случайност, може
кратко да се определи по следния начин:
малки причини – големи следствия.*

М. Смолуховски

Хипотезата за съществуването на атомите, от които се състои веществото, се е родила в древна Гърция (Демокрит и Левкип, V век пр. н.е.). Обаче до средата на XIX век това си остава само един от възможните варианти за микроструктурата на Вселената. Какво не е достигало на изследователите за доказване на съществуването на атомите и молекулите? Отчасти – експериментални данни. Що се отнася до основополагащата молекулно-кинетична теория, то тя вече е била създадена от Дж. Максвел и Л. Болцман. Обаче да се направи следващата крачка, стъпвайки на молекулярно-кинетичната концепция, е било много трудно както поради методични, така и по идейни причини. Противоречието “прекъснато-непрекъснато” по онова време е изглеждало непреодолимо, при това не само по обсъждания тук проблем, но също например и при опитите да се примири квантовият характер на взаимодействието на светлината с веществото и непрекъснатостта на класическото електромагнитно поле. Интересно е да се отбележи, че в решаването и на двата проблема значителен принос има Алберт Айнщайн, като началото им е положено в една и съща година – знаменитата 1905.



Научната общност в края на XIX век се сблъсква с още един близък кръг въпроси, които са били задавани на Болцман от ехидни опоненти във връзка с неговата знаменита Н-теорема, изразяваща закона за непрекъснатото нарастване на ентропията в изолирана система. Тази теорема на Болцман като че ли доказваше необратимостта на еволюцията на система от много частици (например газ) при идеална обратимост на механичните движения на отделните частици, описвани от уравненията на динамиката на Нютон. Двата основни въпроса са принадлежали на Е. Цермело и И. Лошмид и могат да бъдат формулирани приблизително по следния начин. 1) Как да се съгласува вторият закон на статистическата термодинамика – закона за нарастване на ентропията, т.е. безпо-

рядъка – с вече известната по това време теорема на великия френски математик А. Поанкаре за задължителното възвръщане на динамичната система в околността на началното състояние? 2) Как да се съгласува същият този втори закон с неизменността на базовите динамични (Нютонови) уравнения на движение относно обръщането на посоката на времето и скоростта на частиците? Изчерпателни отговори на тези въпроси човечеството не е получило и до днес, въпреки че съответните изследвания са довели до създаването на забележителна научна дисциплина – статистическата теория на динамичните системи (Дж. Биркхоф, А. Колмогоров, Я. Синай, В. Арнолд).

Обаче обосноваването на атомно-молекулярната хипотеза за строежа на веществото е било направено значително по-рано и на основата на други съображения. При това са били обяснени не само съществуващите факти, озадачаващи учените, но и предложени нови опити, окончателно погребали аргументите на противниците на кинетичната теория на материята. Освен това в съответствие с теоретичните работи се е появила непротиворечива статистическа интерпретация на втория закон на термодинамиката, като при това са били формулирани и ограничения за неговото приложение – нещо, което е много важно. Има се предвид съвкупността от изследвания на Брауновото движение и теорията на флуктуациите. Автори на тези работи са били двама млади учени, работещи уединено и далеч от водещите научни центрове: сътрудникът на патентното бюро в Цюрих (Швейцария) Алберт Айнщайн, роден през 1879 г., и професорът по теоретична физика в Лвовския университет (Австро-Унгария) Мариан Смолуховски, роден 7 години по-рано, през 1872 г.

Айнщайн и Смолуховски са работили над тези въпроси от началото на XX век до Първата световна война. Те са решили ключовите проблеми, размишлявайки в по-голяма си част независимо, а понякога и опирайки се на резултатите на другия. Известно е, че всеки от тях се е отнасял с дълбоко уважение към постиженията на колегата си и на другите си съвременници, които са внесли принос както в теорията, така и в експерименталните изследвания по въпроса. Сред тях на първо място трябва да изтъкнем такива учени като лорд Рейли, П. Ланжвен, Т. Сведберг и Ж. Перен.

В началото на XX век физиците безусловно са признавали равноправното участие на Айнщайн и Смолуховски в основополагащите открития, направени в областта на статистическата физика и кинетичната теория. Обаче след преждевременната смърт на Смолуховски през 1917 г. фигурата на гениалния Айнщайн, който по това време вече е автор на специалната и обща теория на относителността и един от основателите на квантовата физика, в очите на широката научна общественост излиза на преден план също и в обсъжданата тук област на науката. В резултат се получава така, че личността на Смолуховски отстъпва на заден план. Нека все пак отбележим, че сериозните историци на науката не допускат такава досадна грешка.

Но не това е най-интересното при разглеждане на самата история на теоретичните изследвания върху атомно-молекулните движения, които са провеждали Смолуховски и Айнщайн. Оказва се, че те са използвали съществено различаващи се методични подходи, които въпреки това често са водили до напълно или частично покриващи се

крайни резултати, допълвайки се взаимно. В частност от работите на Смолуховски се е родила теорията за стохастичните процеси – един от разделите на статистическата физика. По-точно казано, Смолуховски внася принос в математичната страна на споменатия процес. Неговите работи стават класически наред с чисто математичните изследвания на руските учени А. Марков и А. Колмогоров. Смолуховски е първият, който използва теорията на вероятностите при анализа на случайните премествания на молекулите на течността, а също и на присъствието на други частици в обкръжението на молекулата, които непрекъснато се движат под действието на топлинната енергия. Наблюдаваните хаотични подскоци на външните частици представляват знаменитото Брауново движение, открито от британския ботаник Р. Браун през 1827 г.

Да се опитаме да разясним същността на явлениято, предизвикано от съществуването на топлинните флуктуации, и да проследим историята на теоретичното им преосмисляне. Разглеждайки тези революционни събития, ние подробно ще се спрем на ролята на единия от двамата главни герои – Мариан Смолуховски, защото животът и творчеството на Алберт Айнщайн са добре известни благодарение на обширната научно-биографична и популярна литература. Разбира се, там където е необходимо за запазване на историческата истина ще бъде анализиран и приносът на Айнщайн, а също и ролята на други учени от началото на XX век. Любопитно е да отбележим, че дълбокото проникване на младия Айнщайн в проблемите на Брауновото движение, макар да са били пионерски и да са позволили получаването на основните формули, в идеен смисъл се оказали доста сложни. В резултат на това всички опити за популярно изложение на тази материя се основават на по-прозрачния подход на Смолуховски.

Добре е известно, че съществуват няколко важни цикъла на изследвания, в които творчеството на Айнщайн се пресича с работите на негови предшественици, съвременници и последователи. Нека си спомним, ако щете, само специалната теория на относителността (СТО), в която освен Айнщайн съществен принос имат Х. Лоренц, А. Поанкаре и Х. Минковски. Обаче авторите на учебници или популярни книги никога не забравят техните приноси, макар че понякога (несправедливо) се отрича и доминиращата роля на Айнщайн. Причината за такава “благосклонност” е разбираема: споменатите автори са широко известни с други свои постижения, така че тяхната интелектуална мощ не предизвиква съмнение всред историците на науката. За Смолуховски постиженията в областта на динамичната теория на флуктуациите и статистическото обосноваване на втория закон на термодинамиката са върхът на творческото му наследство. На него не му е “провървяло” в смисъл, че по-младият му колега след главоземайващо плодотворната за него 1905 г. мълниеносно се превръща в звезда от първа величина.

Както посочва известният математик и физик М. Кац, който се е учил в Лвовския университет през 30-те години на XX век, когато Лвов е принадлежал на Полската република, в случая се проявява ефектът на свети Матей. Този екзотичен термин, въведен от Р. Мертон през 1968 г., се основава на един текст от Евангелието на Матей. Там е казано: “Защото на когото е дадено, то ще се преумножи; а който няма, ще му

се отнеме и това, което има” (гл.13, ст. 12). Формулираният ефект е сработвал много пъти в историята на науката, понякога даже при отсъствие на зла умисъл от страна на обществеността. Особено характерни са случаите, когато откритията е трябвало да се разделят между учени, условно от “Запада” и такива, условно от “Изтока”. Така са пострадали от модните предпочитания А. Попов (радиото), Л. Манделщам и Г. Ландсберг (комбинационното разсейване на светлината), В. Фабрикант (лазерите) и много други забележителни учени и изобретатели. С пълно основание за “лауреат на свети Матей” може да се има и Смолуховски.

Мариан Смолуховски е роден на 28 май 1872 г. в град Вордербрюл, близо до Виена, в семейството на юриста Вилхелм Смолуховски и жена му Теофила Шчепанска. Баща му е заемал високата длъжност секретар в канцеларията на австрийския император Франц Йосиф. Майка му е била културна и музикално надарена жена, благодарение на която Мариан става квалифициран и ентусиазиран пианист (той винаги, намирайки се, макар и за кратко време, във от дома си, е наемал пиано). Освен това майка му е предала на сина си и полските културни традиции. Затова в бъдеще той избира за месторабота провинциалните Лвовски или Краковски университети, единствените по това време, където преподаването се води на полски език, въпреки че тогава тези университети не са били всред водещите в областта на точните науки. Наложило се е Смолуховски да ги направи такива!

Детството на Мариан не е било засенчено нито от материални, нито от морални трудности. Той е учил в знаменитата виенска Терезианска гимназия, която е бил посещавана от деца на аристократи и висши чиновници на Австро-Унгарската монархия. Чудесният учител А. Хьофлер е спомагал за възникване и укрепване на интереса му към физиката и астрономията и въобще към естествознанието. Смолуховски постъпва във Виенския университет, избирайки физика и математика като основни предмети.

Интересно е да се отбележи, че по време на обучението си, а и след това, ставайки професионален изследовател, той се старае да отделя еднакво внимание на експеримента и на теорията. В това отношение Смолуховски напомня своя кумир, великия теоретик Болцман, който наистина е имал “златни ръце”. Смолуховски е имал щастието да слуша непосредствено лекциите на Болцман, както и на други известни физици като Дж. Стефан, Ф. Екснер и Е. Мах. Тези блестящи професори са научили на много неща талантливия си ученик, така че неговата докторска дисертация (в нашите термини) “Акустични изследвания на еластичността на меки материали” е била избрана за публикуване в сборника трудове на Виенската академия за 1894 г. и отбелязана с най-високата награда на името на императора и с пръстен с брилянт.

Няколко от следващите години Смолуховски прекарва в научни командировки. Отначало той работи в Париж в Сорбонската лаборатория на Г. Липман (Нобелов лауреат по физика за разработване на метода на цветната фотография) върху експериментални и теоретични аспекти на топлинното излъчване. След това в продължение на 8 месеца заедно с Дж. Бити и великия английски учен лорд Келвин (един от авторите на втория

закон на термодинамиката, който по-късно намира своята обосновка в работите на Смолуховски) изучава в Глазгоу влиянието на рентгеновото и “ядреното” лъчение върху електропроводимостта на газовете. С колеги Смолуховски подготвя няколко съвместни публикации и през 1901 г. получава почетната степен доктор по право на университета в Глазгоу. Това не трябва да ни удивлява, защото съгласно Британската традиция почетната степен не трябва да съответства на областта на знания, в която действително работи награждаваното лице. През третия етап на плодотворното си трансевропейско турне Смолуховски работи в чудесната берлинска лаборатория на Е. Вартбург, известна със своите постижения в областта на физичната кинетика и физиката на феромагнетизма. Там младият учен изучава експериментално и теоретично вътрешното триене в газовете. Там се оформя и главното направление на творческата дейност на Смолуховски – кинетичната теория, която впоследствие той майсторски прилага при изследвания на различни явления чак до синия цвят на небето.

През 1898 г. Смолуховски става частен доцент във Виенския университет, а през следващата година заема същата длъжност в университета в Лвов. Там става и отначало извънреден професор по теоретична физика (1900 г.), а след това и редовен професор (1903 г.). По това време той е най-младият професор в Хабсбургската монархия. В Лвовския университет Смолуховски работи до май 1913 г. Именно тези 14 щастливи творчески години го довеждат до получаването на научни резултати, които изменят нашите представи за природата на кондензираната материя. Последните години до своята преждевременна смърт, настъпила на 5 септември 1917 г. от дизентерия, Смолуховски прекарва в изследвания в Ягелонския университет в Краков. Неговият интелектуален потенциал става още по-мощен и той си отива от живота в разцвета на силите си.

Годините, прекарани в Лвов, донасят на Мариан и лично щастие. През 1901 г. той се оженва за Зофия Баранецка, дъщеря на професора по математика от Ягелонския университет, от която има дъщеря Алдона (род. 1902 г.) и син Роман (род. 1910 г.), впоследствие станал известен физик, работещ в САЩ.

Смолуховски е обичал много Лвов, макар че се е оплаквал от провинциализма на града и отсъствието на колеги на нужното ниво, с които да обсъжда своите резултати. Този недостатък той е компенсирал с чести пътувания до Виена, където е работил неговият близък гимназиален приятел Ф. Хазенбюрг (загинал през 1916 г. на един от фронтовете на Първата световна война). Смолуховски често е посещавал Гьотинген, Варшава (тогава в състава на Руската империя) и Кембридж, където девет месеца е сътрудничил на Дж. Дж. Томсън (Нобелов лауреат, откривател на електрона) и Ъ. Ръдърфорд (Нобелов лауреат, открил атомното ядро). Той е общувал и с Айнщайн във връзка с Брауновото движение, чиято теория двамата са създали, както и с проницателния физик от Лайден П. Еренфест, специално дошъл в Лвов за обсъждане на актуални научни проблеми със Смолуховски.

Въпреки всички посочени контакти може да се твърди, че Мариан Смолуховски по волята на съдбата и въпреки собствения си характер остава учен-самотник, неработещ в състава на някаква школа и без да създаде своя такава. Обаче неговото зна-

чително влияние върху развитието на физиката се е реализирало по обикновения (за средата на XIX век) начин: с помощта на публикации в научни списания на немски, френски и английски език и изказвания на семинари във водещи научни учредения и на конференции.

Особено значение имат неговите изследвания върху статистическата теория на атомно-молекулното движение. Към обсъждане на съответните работи на Смолуховски в тази област ще преминем и ние сега.

Брауновото движение, за което вече се спомена, отначало се е свързвало със спецификата на прашинките на растенията, чиито частици, потопени в течност, се намират в непрекъснато хаотично движение. Сам Браун изяснява, че и частици от неорганични вещества с размери от порядъка на микрони блуждаят, потопени в течности, не по-лошо от органичните. Във връзка с това от началото на 1877 г. съществува хипотеза, че Брауновото движение възниква вследствие на *топлинното* движение на молекулите на течността. В съответните разсъждения всичко изглежда така, както би трябвало да бъде – когато частицата е малка, резултантната сила от ударите в една или друга посока може да преобладава в малък отрязък от време. Защо тогава с пълно основание ние казваме, че правилното обяснение на явленияето принадлежи на Айнщайн и Смолуховски и е получено едва през 1905–1906 г.?

Работата е в това, че през XIX век учените все още не са могли теоретично да описват процесите на случайно блуждаене, а следователно и наблюдаваните зигзагообразни траектории на Брауновите частици. Господствало заблудението, според което отделните сблъсквания на пробната частица с обкръжаващите я молекули, налитачи от различни страни с *равна вероятност*, се уравновесяват помежду си и в резултат на това средното отместване е *нула*. Затова и научната общественост не приема разумната и както се оказва по-късно, правилна хипотеза, приведена по-горе. В действителност разсъждението за неизбежното осредняване на влиянието на случайните сблъсквания е груба грешка!

Както посочва и Смолуховски, допуснатата грешка е сходна с тази, която правят невнимателните играчи на хазартни игри. На такъв играч му се струва, че при “честна” игра със случайни резултати във всеки кръг (например подхвърляне на монета) и неизменни залагания загубата след достатъчно продължителна игра не може да превишава едно залагане. В действителност тази грешка може да стане съдбоносна за играча. Както следва от теорията на вероятностите, случайната загуба (или еквивалентната печалба) в хазартните игри от такъв вид е пропорционална на квадратния корен от броя на туровете (подхвърляния на монетата). Доказателството на този извод принадлежи на Смолуховски.

Огромната заслуга на Смолуховски е изясняването на аналогията между вероятностните игри, от една страна, и процесите на случайно блуждаене, включващи Брауновото движение и дифузията, от друга. Той е направил революционното предположение, че безнадеждно сложната динамична задача за сблъскването на микрочастиците с обкръжаващите я молекули може да се сведе до относително простото вероятно

разсъждение: следствието на всяко сътъкновение се моделира като подхвърляне на монета, докато динамичните закони на механиката определят само базовите значения на вероятността за прескачане на частицата в друго положение при всеки елементарен акт. От отбелязаната аналогия следва, че амплитуда на средното отместване в резултат на случайния процес ще бъде правопропорционална на *квадратен корен* от времето за наблюдение. Именно тези идеи на Смолуховски лягат в основата на съвременната теория на стохастичните процеси в естествените науки и в икономиката.

Самата формула за зависимостта на отместването на Брауновата частица от времето е получена от Айнщайн година преди Смолуховски, изхождайки от общите принципи на статистическата физика и с помощта на твърде сложни разсъждения. Обаче оригиналният извод на Смолуховски има не само методична ценност. След нагледната демонстрация от Смолуховски на валидността на кинематичната теория на Болцман физиците от началото на XX век се убеждават в правилността на термодинамичната теория на флуктуациите и окончателно се уверяват в топлинната природа на Брауновото движение.

Смолуховски получава своя резултат за най-общия случай на тримерни блуждаещи частици, което е изисквало прилагането на сферична тригонометрия. Обаче за случая на двумерна геометрия, най-важната за осъществяване на практически наблюдения, пресмятанията се опростяват.

Теорията на Смолуховски и Айнщайн е била блестящо потвърдена в експериментите на Перен и Сведберг. Вече не остават никакви съмнения относно съществуването на атомите и молекулите – първичните частици на материята, намираща се в нормални, земни условия. (За големи енергетични и намалени пространствени мащаби тази първичност, както е известно, вече не е валидна и тогава “палмата на първенството” преминава към електроните и ядрата, а след това – към кварките и различните лептони.) Своего идеологическо поражение признава и лидерът на т.нар. “енергетизъм” (термодинамичен подход, основаващ се на непрекъснатостта на материята) и многогодишен критик на Болцман В. Оствалд, който накрая разбира, че съществуването на атомите следва по необходимост от опита. Историческите корени на сразения “енергетизъм”, както посочват Болцман и Айнщайн, се крият в прекомерната “алергична” реакция към неспособността на механичните построения, толкова популярни през XVII–XVIII век, да обяснят електричните, магнитните и топлинните явления.

Работите на Айнщайн и Смолуховски, първоначално целящи да дадат необходимото обяснение на Брауновото движение, впоследствие излизат далеч зад рамките на тази скромна цел. Тези учени създават *теорията на флуктуациите*, радикално разширяваща статистическата термодинамика. Съвременната теория на фазовите преходи е флуктуационна и построената в началото на XX век теория на флуктуациите служи за нейна основа. Важно е да се подчертае, че Болцмановите идеи за статистическия характер на втория закон на термодинамиката са били развити и доведени до съвременно ниво именно от Айнщайн и Смолуховски. Те показват, че вторият закон е валиден само с точност до флуктуации, които в малък пространствен и времеви мащаб

непрекъснато изменят преимуществената посока на кинетичните процеси. Само ако се пренебрегнат флуктуациите или се избавим от тях чрез осредняване по времето и/или пространството, може да се възпроизведат основните направления на тези процеси, които еднозначно и непрекъснато довеждат всяка затворена система в равновесно състояние. Впрочем за т.нар. отворени системи, обменящи си с обкръжаващата среда енергия или частици, това вече не е така. В тях могат да възникват причудливи неравновесни структури, които са предмет на изследване на синергетиката – относително нов раздел на статистическата физика, възникнал през 60-те години на XX век.

Но нека се върнем към преломните години на изграждане на съвременната кинетична теория. Смолуховски дава отговор на по-горе споменатите парадокси, възвръщане на Цермело и “необратимост” на Лошмид, като посочва зависимостта на самото определение за необратимост на дадения процес от реализацията в този конкретен експеримент на някаква йерархия на характерните времена. А именно, ако времето за наблюдение е малко в сравнение със средното време на възвръщане в първоначалното състояние, което се диктува от теоремата на Поанкаре, то процесът може да се счита за необратим въпреки обратимия динамичен характер на основните закони на механиката, описващи елементарните актове на взаимодействие на съставлящите макроскопичната система класически микрочастици. В противния случай (на големи времена на наблюдение) динамичните отклонения от стандартната релаксация към равновесното състояние може да бъдат разграничени. Трябва обаче да се има предвид, че подобни „големи“ времена за обекти с лабораторен размер превишават с много порядъци времето на живот на нашата Метагалактика, така че в действителност вторият закон на термодинамиката определя пълноценно еволюцията на подобна макроскопична система.

На Смолуховски принадлежи и обяснението на невъзможността за “заобикаляне” на втория закон на термодинамиката с помощта на някакво устройство с молекулярни размери, управляващо флуктуационните процеси. Такова устройство, или еквивалентно на него в смисъла на динамиката, като малко разумно хипотетично същество се появява в резултат на фантазията на Максвел и получава названието “демон на Максвел”. Да си представим, че между два съседни съда с газове има малко отверстие с вратичка. Демонът, разположен на този отвор, сортира молекулите по следния начин. Нека от левия съд към отвора достига “бърза” молекула с енергия, превишаваща средната топлинна енергия на молекулите, която определя температурата на този съд. В този случай бдителният демон отваря вратичката и молекулата прелита в десния съд. Тази процедура се повтаря всеки път, когато към отвора достига такава молекула. По аналогичен начин демонът реагира на молекулите, достигащи отвора от десния съд, само че сега пропуска наляво само “бавните” молекули, чиято енергия е под средната (топлинна) за десния съд.

Ясно е, че в резултат на такова целенасочено сортиране след определено време средната енергия на молекулите в левия съд ще се намали, т.е. температурата на газа в този съд ще се понижи. И очевидно температурата на десния съд ще се увеличи. В

резултат на посочения процес в системата, състояща се от съединени съдове при първоначално еднаква температура ще протече *самопроизволно* прехвърляне на топлинната енергия от една негова част към друга без извършването на работа от някакво външно устройство. Такова преразпределение на енергията явно противоречи на втория закон на термодинамиката, защото в затворена микроскопична система се извършва *самопроизволно* отклонение от най-вероятното състояние.

С други думи, наличието на демон води до реализиране на вечен двигател от втори род, което не може да бъде вярно. Допускайки съществуването на демон с описаните качества, ние достигаем до парадокс. Този парадокс е блестящо разрешен от Смолуховски. Според неговите съображения същността на работата е в това, че сортиращото устройство (или, ако искате, демонът) по необходимост трябва да бъде с молекулярни размери или поне да включва в себе си съответстващ фрагмент с такива размери. А такъв обект ще бъде подложен на нерегулярни топлинни флуктуации и поради това няма да бъде способен на целенасочен подбор на необходимите молекули.

Друго забележително постижение на Смолуховски е обяснението на синия цвят на небето. Впрочем подобно обяснение като че ли вече е съществувало. Големият английски учен лорд Рейли още през 1871 г. показва, че интензитетът на светлината, разсеяна от голямо количество странични обекти, малки в сравнение с дължината на светлинните вълни, е пропорционална на четвъртата степен на нейната честота. Затова и в земната атмосфера синята компонента на слънчевото излъчване се разсейва по-интензивно от червената. Тази разсеяна светлина, попадайки върху очната ретина, формира зрителния образ на синьото на цвят небе. (А защо цветът на небето не е виолетов, след като дължината на вълната на тази компонента е още по-малка? Оказва се, че чувствителността на очната ретина намалява за виолетовия спектрален интервал на видимата светлина в сравнение с чувствителността към сините лъчи.)

Но Рейли е грешал относно характера на малките частици, разсейващи светлината в земната атмосфера. Той е смятал, че това са самите молекули, които се движат с различни скорости в различни посоки. Това твърдение се оказва погрешно, както е доказано от известния руския учен Л. Манделщам през 1907 г.: независимо от движението на молекулите разсеяните вълни, изходящи от различни елементарни обеми на газа, се компенсират помежду си. Още през следващата година Смолуховски намира правилното решение, предполагайки *нееднородност* на средата, проявяваща се вследствие на топлинните флуктуации. Тогава за центрове на разсейване може да се смятат флуктуациите на плътността на молекулите на газовете, образуващи атмосферата. Той потвърждава теорията си с помощта на собственоръчно проведен експеримент – наблюдение на синкавия оттенък на чист (филтриран) въздух в тръба, през която преминават лъчите на светлина от изкуствен източник. Окончателната точка поставя Айнщайн, който извежда формулата за интензитета на разсеяната светлина въз основа на идеята на Смолуховски. Интересно е, че пресметнатата зависимост на интензитета на разсеяната светлина от дължината на вълната (честотата) и обема, в който става разсейването, съвпада със съответните зависимости, установени от Рейли, т.е. въпреки

неверните изходни съображения английският учен, ръководейки се от своята фантастична интуиция, получава вярната формула!

На Смолуховски принадлежи също така и качественото обяснение на явлението критична опалесценция, т.е. рязкото усилване на разсейването на светлината от флукуациите в близост до критичната точка (например в система течност-газ). Той показва, че в тези случаи флукуациите се усилват многократно и следователно се усилва и разсейването на светлината от тях. В близост до такава точка, която се достига експериментално чрез подходящо изменение на налягането и температурата, разликата между течност и газ изчезва. Ако налягането е фиксирано, то интензитетът на разсейването излъчване нараства обратно пропорционално на малката разлика между температурата на експеримента и критичната температура. Критичната опалесценция представлява още една нагледна демонстрация за съществуването на флукуации на плътността.

Заслужава да се отбележат още няколко важни направления от дейността на Смолуховски в областта на физичната кинетика: разработването на теорията на утаяването на частиците в полето на силата на тежестта и теорията на коагулацията на колоиди. Освен това в областта на колоидната химия той е един от създателите на теорията на електрофорезата – движението на твърди частици в суспензии или в колоидни разтвори под действието на външно електрично поле. Ключовото уравнение на тази теория носи неговото име.

Във връзка с проведеното дотук обсъждане на най-важните постижения на Смолуховски трябва да се отбележи, че не само неговите конкретни предсказания и обяснения на различни явления са изиграли важна роля за развитието на физиката през XX век. Преди всичко самият дълбок, образен и убедителен стил на неговите работи, използващи математичния апарат на теорията на вероятностите и проникнати от нейния дух, е помогнал да се променят инструментариумът и научният речник на следващите поколения физици теоретици. Приносът на Смолуховски е решаващ за осъзнаването от научната общественост на обективния характер на понятието вероятност. Както е обичал да казва големият руски физик Лев Ландау, методът е по-важен от резултата, защото мощният метод позволява да се получат множество нови ценни резултати.

Заниманията с любимата наука, преподавателските и семейните задължения не изчерпват кръга от интереси на Смолуховски. Освен по музика и акварелна живопис той е бил увлечен и по алпинизма. Това пристрастие възприема от по-големия си брат – Тадеуш, химик, един от знаменитите алпинисти на своето време. Братята са били широко известни като двойка професионални алпинисти. Това напомня аналогичната ситуация с не по-малко известните датски футболисти Бор – братята Нилс (велик физик, създател на теорията на атома) и Харалд (известен математик). През 1911–1912 г. Мариан Смолуховски е бил президент на туристическата секция на Полското общество „Татри“, а през 1916 г. получава “Сребърен еделвайс” от Германско-австрийското алпийско дружество.

Независимо от дълбоката си близост с изкуството и литературата на своето време, изтъкнатият физик най-вероятно би бил удивен, ако беше узнал, че самият той е

станал един от героите на книгата “Inferno” (“Ад”) на шведския писател модернист Ю. Стриндберг. Тази история е известна благодарение на самия автор на романа. Той разказва, че по време на престоя си в Париж случайно обърнал внимание на няколко писма, чакащи своя получател, върху масичката на портиера в хотела. Едно от тях, изпратено от Виена, заинтересувало писателя поради името на подателя “Шмуляховский” (както го прочел той). Славянската фамилия се сторила толкова странна на писателя, та той предположил, че зад нея би могъл да се крие самият преоблечен дявол. В действителност това било писмо до младия Смолуховски, който именно през годините 1895–1896 г. е бил на научна командировка в Париж.

С тази лирична нотка бих искал да завърша разказа си за Мариан Смолуховски, романтик в науката според класификацията на В.Оствалд.

“Квант”, № 6, 2002; превод **Н. Ахабабян**

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

БАНКОВА СМЕТКА НА СФБ
BG82CREX92601013508300
BIC: CREXBGSF
ТОКУДА БАНК АД

РОЛЯТА НА ЧАНДРАСЕКАР В НАУКАТА НА XX ВЕК

Фрийман Дайсън¹

След като общността на астрофизиците приела изчислението, проведено от един 19-годишен студент, който едва бил отплувал към висшето училище, небесата никога повече няма да се разглеждат като идеално и спокойно царство.



През 1946 г. Субраманиян Чандрасекар изнесе лекция в Чикагския университет, озаглавена „Ученият“ [1]. Тогава той беше на 35 години, изживял по-малко от половината си живот и изминал по-малко от една трета от научната си кариера, но вече разсъждаваше задълбочено върху предназначението и смисъла на своята работа. Неговото изложение принадлежеше към серията публични лекции, организирани от Роберт Хътчинс, тогава президент на Университета. Списъкът на лекторите беше впечатляващ и включваше Франк Лойд Райт, Арнолд

Шьонберг и Марк Шагал. Този списък доказва две неща. Той показва, че Хътчинс беше един импресарио със забележителни способности за убеждаване и че той вече беше разпознал Чандра като един художник от световна класа, чиято среда се бяха оказали теориите за Вселената вместо музиката или живописата. Казвам „Чандра“, защото това беше името, което приятелите му използваша за него, докато беше жив.

Фундаментална наука и производна наука

Чандра започна своята лекция с описанието на два вида научно търсене. „Искам да привлека вашето внимание към едно общо разделение на физичните науки, което трябва да се отчита винаги, а именно разделието на фундаментална наука и производна наука. Фундаменталната наука се стреми да анализира основния състав на материята и фундаменталните понятия на пространството и времето. Производната наука, от друга страна, се занимава с рационалното подреждане на разнообразните аспекти на естествените явления в термините на фундаменталните понятия.“

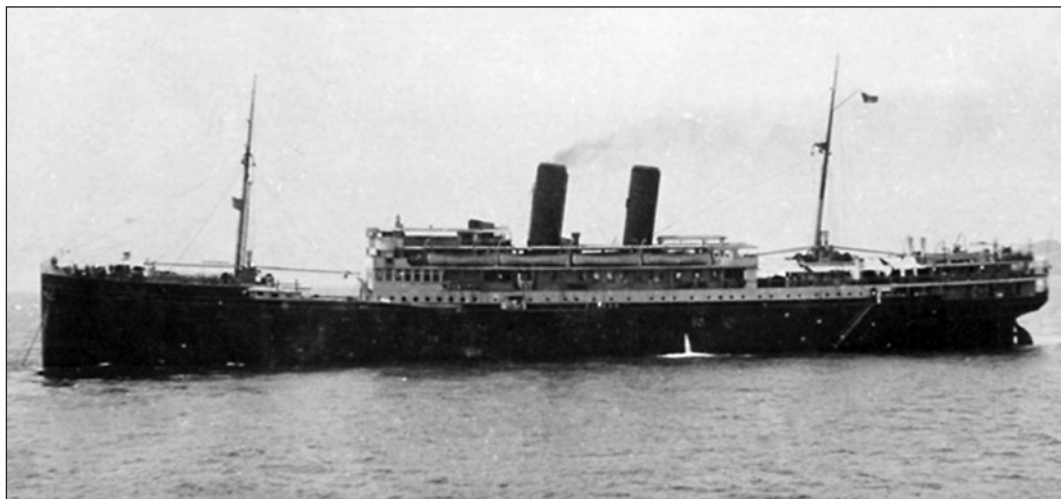
Като примери за фундаментална наука Чандра спомена откриването на атомното ядро от Ърнест Ръдърфорд и откриването на неутрона от Джеймс Чадуик. Всяко от тези открития беше иницирано от един прост експеримент, който разкри съществуването на основен градивен блок на Вселената. Ръдърфорд откри ядрото, обстрелвайки с алфа частици тънко златно фолио и забелязвайки, че част от частиците отскачат назад. Чадуик откри неутрона, обстрелвайки с алфа частици берилиева мишена и забелязвайки, че резултатното излъчване се сблъсква с други ядра по начина, очакван за масивен

неутрален двойник на протона. Като пример за производна наука Чандра отбеляза откритието на Едмонд Халей през 1705 г., че кометата, която сега носи неговото име, се е появявала периодично на небето поне четири пъти според историческите хроники и че нейната елиптична орбита се описва от закона за гравитацията на Нютон. Той също отбеляза откритието на Уилям Хершел през 1803 г., че орбитите на двойните звезди се определят от същия закон за гравитацията, действащ извън нашата Слънчева система. Наблюденията на Халей и Хершел не разкриваха никакви нови гравитационни блокове, но те в голяма степен разшириха обхвата на явленията, които фундаменталната наука на Нютон беше в състояние да обясни.

Чандра също така описа някои примери за фундаментална и производна наука, които са изиграли решителна роля за неговото собствено интелектуално развитие. През 1926 г., когато Чандра бил 15-годишен, но вече студент по физика в Президентския Колеж в Мадрас (сега Ченай, Индия), Енрико Ферми и Пол Дирак независимо един от друг открили фундаменталните принципи на статистиката на Ферми-Дирак: ако група електрони са разпределени по известен брой квантови състояния, то всяко квантово състояние може да бъде заето от не повече от един електрон и вероятността това състояние да бъде заето е проста функция на температурата. Тези фундаментални свойства на електроните станаха крайъгълен камък за новородената наука квантова механика. Те проправиха пътя към решаването на един от прочутите нерешени проблеми на физиката на кондензираното състояние, обясняващ защо специфичните топлини на твърдите материали намаляват с температурата и бързо стават нула, когато температурата се приближава към нулата.

След две години, през 1928 г., прочутият германски професор Арнолд Зомерфелд, един от главните архитекти на квантовата механика, посетил колежа Президънси. Чандра бил добре подготвен за това посещение. Той бил прочел и разбрал класическия учебник на Зомерфелд *Атомна структура и спектрални линии*. Той смело се представил на Зомерфелд, който използвал случая да му разкаже за най-новата работа на Ферми и Дирак. Зомерфелд дал на младия Чандра коректурите на своята готова за публикуване статия върху електронната теория на металите, която давала решителното потвърждение на статистиката на Ферми-Дирак. Статията на Зомерфелд била образец на тълкувателен анализ, показващ как фундаменталните идеи на Ферми и Дирак могат да обяснят защо съществуват металите и какво е тяхното поведение. Индийският младши студент бил един от първите в света, който я прочел.

Две години след срещата си със Зомерфелд, вече на зрялата възраст от 19 г., Чандра отплувал на парахода *Пилсна*, за да се запише като старши студент в Университета Кеймбридж. Той щял да работи там с Ралф Фаулър, който използвал статистиката Ферми-Дирак, за да обясни свойствата на звездите от тип бели джуджета – звезди, изчерпали своя запас от ядрена енергия, превръщайки водорода си в хелий или въглерод и кислород. Белите джуджета колапсират гравитационно до плътности, много хиляди пъти превишаващи плътността на нормалната материя, и след това бавно се охлаждат, излъчвайки своята остатъчна топлина. Този триумф на Фаулър в тълкувателната наука



Корабът Pilsna, член на флотата „Лойд Триестино“, плавал от Индия към Европа в началото на 20-ото столетие. През 1930 г. Субраманиян Чандрасекар заминал с този кораб на обучение при Ралф Фаулър в Университета Кеймбридж. По време на пътуването той прецизирал едно по-раншно изчисление на Фаулър, т.нар. граница на Чандрасекар, която щяла да има дълбоки последствия за бъдещето

включвал пресмятане на съотношението между плътността и масата на белите джуджета и неговият резултат бил в добро съгласие с малкото наблюдения, които били известни по това време. Следвайки окуражителния пример на Зомерфелд и Фаулър, Чандра отплавал за Англия с намерението да даде своя собствен принос към тълкувателната наука.

Морска промяна

На борда на *Пилсна* Чандра бързо открил начин да се отиде по-далеч. Изчисленията на Зомерфелд и Фаулър се градели на допускането, че електроните са нерелативистични частици, подчиняващи се на законите на нютоновата механика. Това предположение със сигурност било валидно при Зомерфелд. При нормални плътности електроните в металите имат скорости, много малки в сравнение със скоростта на светлината. Но при Фаулър допускането за Нютоново поведение не било обосновано. Електроните в централните части на бялото джудже би трябвало да се движат достатъчно бързо, за да се проявят релативистичните ефекти. И така, Чандра прекарал свободното си време на кораба, повтаряйки изчисленията на Фаулър за поведението на белите джуджета, но с електрони, подчиняващи се на законите на специалната теория на относителността на Айнщайн вместо на законите на Нютон. Фаулър бил изчислил, че при зададен химичен състав плътността на бялото джудже трябва да е пропорционална на квадрата на неговата маса. Това изглеждало разумно от интуитивна гледна точка. Колкото по-масивна е звездата, толкова по-голяма е гравитационната сила и толкова по-голяма ще бъдат плътността и компактността на звездата. По-масивните звезди трябвало да бъдат по-

малки и по-малко бляскави, което обяснявало факта, че не са били забелязани никакви бели джуджета, значително по-масивни от Слънцето.

За свое удивление Чандра констатирал, че замяната на Нютон с Айнщайн оказва огромно влияние върху поведението на белите джуджета. То правело материята в звездите по-компресируема и плътността при звезда с дадена маса ставала по-голяма. А с увеличаването на масата плътността не просто нараствала, а се стремяла към безкрайност, когато масата достига определена крайна стойност, границата на Чандрасекар. Ако масата е под тази граница, физиците могат да моделират бялото джудже с релятивистки електрони и да получават уникални съотношения маса-плътност; не са възможни модели за бели джуджета с маси, по-големи от границата на Чандрасекар. Граничната маса зависи от химичния състав на звездата. За звезди, които са изгорили всичкия си водород, тя е около 1.5 слънчеви маси.

Чандра завършил своите изчисления, преди да пристигне в Англия, и нямал никакви съмнения, че изводите му са правилни. Когато пристигнал в Кеймбридж и показал резултатите си на Фаулър, Фаулър бил добронамерен, но не и убеден и не бил склонен да спонсорира статията на Чандра за публикуване в списанието на Кралското общество на Лондон. Чандра не изчакал одобрението на Фаулър, а изпратил съкратена версия на статията до *Astrophysical Journal* в САЩ [2]. Списанието я изпратило за рефериране на Карл Екарт, прочут геофизик, който не разбирал много от астрономия. Екарт препоръчал статията да бъде приета и тя била публикувана една година по-късно. Чандра запазил хладнокръвие. Той нямал никакво желание да се впуска в публична полемика с британските елитарни научни кръгове, които не съумели да разберат неговата аргументация. Той спокойно публикувал своята работа в уважавано астрономично списание и търпеливо зачакал следващото поколение астрономи да оценят нейното значение. Междувременно той запазил приятелски отношения с Фаулър и останалата част от Британската академична общност и намерил други проблеми на производната наука, които неговото майсторство в математиката и физиката му позволявало да решава.



Ралф Фаулър на снимка от 1931 г. Той написал основополагащата статия, обясняваща свойствата на белите джуджета, която пък вдъхновила Субраманиян Чандрасекар за неговото революционно пресмятане. Но Фаулър, както и някои други видни английски астрофизици, не признали валидността на тази нова работа

Упадък и отхвърляне на Аристотел

През 1930 г. астрономите имали всички основания да погледнат скептично на твърденията на Чандра. Последствията от откриването на граничната маса били напълно объркващи. Навсякъде по небето ние виждаме изобилие от весело светещи звезди, чиито маси били по-големи от граничната. Според изчисленията на Чандра, когато тези звезди изгорели своето ядрено гориво, нямало да съществуват равновесни състояния, до които те биха могли да се охладят. Тогава какво би направила една масивна звезда, когато остане без гориво? Чандра нямал отговор на този въпрос, нито пък някой друг имал, когато той го повдигнал през 1930 г.

Отговорът бил открит през 1939 г. от Дж. Робърт Опенхаймър и неговия ученик Хартланд Снайдер. Те публикували своето решение в статията „Върху прогресиращото гравитационно свиване” [3]. По мое мнение това е най-важният принос на Опенхаймър за науката. Както и работата на Чандра от преди девет години, това бил един шедьовър на производната наука, вземайки някои от основните уравнения на Айнщайн и показвайки, че те водят до поразителни и неочаквани следствия в реалния свят на астрономията. Разликата между Чандра и Опенхаймър била, че Чандра тръгва от специалната теория на относителността от 1905 г., докато Опенхаймър тръгнал от Айнщайновата обща теория на относителността от 1915 г. През 1939 г. Опенхаймър бил един от малкото физици, които гледали сериозно на общата теория на относителността. По това време това била една непопулярна тема, от която се интересували главно философи и математици. Опенхаймър знаел как да я използва като работен инструмент за търсене на отговори относно реални обекти в небето.

Опенхаймър и Снайдер възприели заключението на Чандра, че не съществува статично равновесно състояние за студена звезда с маса, по-голяма от границата на Чандрасекар. Поради това поведението на една масивна звезда в края на живота ѝ би трябвало да е динамично. Те намерили решенията на уравненията на общата теория на относителността за масивна звезда, колапсираща под влияние на собственото си тегло, и открили, че звездата е в състояние на непрекъснато свободно падане – т.е. звездата продължава безкрайно да пропада навътре към своя център. Общата теория на относителността позволява такова парадоксално поведение, защото времето, измерено от наблюдател извън звездата, тече по-бързо от времето, измерено от наблюдател, намиращ се вътре в звездата. Измереното отвън време трае от настоящия момент до края на Вселената, докато времето, измерено във вътрешността, трае само няколко дни. По време на гравитационния колапс вътрешният наблюдател вижда звездата да пада свободно с голяма скорост, докато външният наблюдател я вижда силно да се забавя. Състоянието на свободно падане, доколкото ни е известно, е истинското състояние на всеки масивен обект, останал без гориво. Знаем, че има много такива обекти във Вселената. Наричаме ги черни дупки.

Ако погледнем няколко десетилетия назад, виждаме, че откритието на Чандрасекар за граничната маса и откритието на Опенхаймър-Снайдер за перманентното свободно падане са основни повратни точки в историята на науката. Тези откри-

тия отбелязаха края на Аристотеловия възглед, който господстваше в науката в продължение на 2000 години: небесата като царство на мира и съвършенството контрастираха със земята като царство на непрекъснати борби и промени. Чандра и Опенхаймър демонстрираха, че Аристотел е грешал. Във Вселената, доминирана от гравитацията, не е възможно мирно равновесие. През 30-те години в периода между теоретичните прозрения на Чандра и Опенхаймър систематичните наблюдения на Фриц Цвики върху взривовите на Свръхновите потвърдиха, че живеем в бурна Вселена [4]. През същото десетилетие Цвики откри тъмната материя, чиято гравитация

определя динамиката на едромасштабните структури. След 1939 г. астрономите бавно и неохотно изоставиха Аристотеловата Вселена след натрупването на все повече и повече данни за бурни събития, протичащи в небесата. Радио- и рентгенови телескопи разкриха, че Вселената е пълна с ударни вълни и високотемпературна плазма, с взривове с изключителна мощност, свързани по един или друг начин с черните дупки.

Всяко дете, което изучава наука в училище, и всеки зрител, който гледа популярни научно-документални предавания по телевизията, вече знае, че живеем в бурна и неспокойна Вселена. „Бурната Вселена“ се е превърнала в част от общата ни култура. Знаем, че един астероид се е сблъскал със Земята преди 65 милиона години и е предизвикал изчезването на динозаврите. Знаем, че всеки тежък атом на златото или среброто е бил синтезиран в ядрото на някоя масивна звезда, а после е бил изхвърлен в Космоса при взрив на Свръхнова. Знаем, че животът се е съхранил на нашата планета в продължение на милиарди години, поради това че живеем в един спокоен ъгъл на една спокойна галактика и сме далеч от експлозивната активност, която наблюдаваме навсякъде около нас в по-турбулентните части на Вселената. Астрономията напълно

THE MAXIMUM MASS OF IDEAL WHITE DWARFS

By S. CHANDRASEKHAR

ABSTRACT

The theory of the *polytropic gas spheres* in conjunction with the equation of state of a *relativistically degenerate electron-gas* leads to a *unique value for the mass of a star* built on this model. This mass ($=0.91\odot$) is interpreted as representing the upper limit to the mass of an ideal white dwarf.

In a paper appearing in the *Philosophical Magazine*,¹ the author has considered the density of white dwarfs from the point of view of the theory of the polytropic gas spheres, in conjunction with the degenerate non-relativistic form of the Fermi-Dirac statistics. The expression obtained for the density was

$$\rho = 2.162 \times 10^6 \times \left(\frac{M}{\odot}\right)^2, \quad (1)$$

where $M/\odot$ equals the mass of the star in units of the sun. This formula was found to give a much better agreement with facts than the theory of E. C. Stoner,² based also on Fermi-Dirac statistics but on uniform distribution of density in the star which is not quite justifiable.

In this note it is proposed to inquire as to what we are able to get when we use the relativistic form of the Fermi-Dirac statistics for the degenerate case (an approximation applicable if the number of electrons per cubic centimeter is $> 6 \times 10^{29}$). The pressure of such a

Откритието на Субраманян Чандрасекар за граничната маса на идеално бяло джудже излиза в статия от две страници [7], публикувана през 1931 г. Граничната стойност от 0.9 слънчеви маси е различна от съвременната стойност, която е около 1.5 слънчеви маси. Разликата се дължи на остаряла оценка за химичния състав на звездата, използвана от Чандра

е променила своя характер през последните 100 години. Преди век основната задача на астрономията е била да изучава един спокоен и неизменен пейзаж. Днес главната цел е да се наблюдават и обясняват небесните фойерверки, които са свидетелство за бурни промени. Тази радикална трансформация на нашата картина на Вселената започнала на добрия кораб *Пилсна*, когато 19-годишният Чандра открил, че не може да съществува стабилно равновесно състояние за масивните звезди.

Нови идеи се изправят срещу стария ред

Винаги ми е изглеждало странно, че работите на тримата главни пионери на бурната Вселена – Чандра, Опенхаймър и Цвики – са получили толкова малко признание и възхвала, когато са били публикувани. Тези открития са били пренебрегвани отчасти защото и тримата пионери били външни за професионалната астрономия. Професионалните астрономи от 30-те години са били консервативни в своите възгледи за Вселената и в социалната си организация. Те са гледали на Вселената като на мирна територия, която знаели как да изследват, използвайки стандартните инструменти на своя занаят. Не били склонни да приемат сериозно претенциите на външни лица с нови идеи и нови инструменти. За астрономите било лесно да игнорират натрапниците, защото новите открития не хармонизирали с общоприетите начини на мислене и откривателите не се вмествали в установената астрономична общност.

В допълнение към тези общи съображения, които се отнасяли до тримата учени, други индивидуални обстоятелства също допринасяли за пренебрегването на тяхната работа. За Чандра специалните обстоятелства били личностите на Артър Едингтън и Артър Милн, които били водещите астрономи на Англия, когато Чандра пристигнал от Индия. Едингтън и Милн имали своите собствени теории за строежа на звездите, в които твърдо вярвали; и двете теории били несъвместими с пресмятанията на Чандра за граничната маса. Двамата астрономи бързо решили, че тези пресмятания са погрешни, и никога не приели физичните факти, на които Чандра се основавал.

Цвики се сблъскал с още по-лоша ситуация в Калтех, където астрономическият департамент се оглавявал от Едуин Хъбъл и Валтер Бааде. Цвики принадлежал към физическия факултет и нямал официални правомощия като астроном. Хъбъл и Бааде смятали, че Цвики е луд, а той смятал че те са глупави. И двата възгледа имали известно основание. Цвики бил победил астрономите на тяхното собствено поле за наблюдение на небесата, използвайки широкополева камера, която можела да огледа небето 100 пъти по-бързо от другите телескопи, които съществували по това време. Цвики си създал враг в лицето на Бааде, обвинявайки го, че е нацист. В резултат на всичко това, а и на други инциденти, откритията на Цвики били почти напълно пренебрегвани през следващите 20 години.

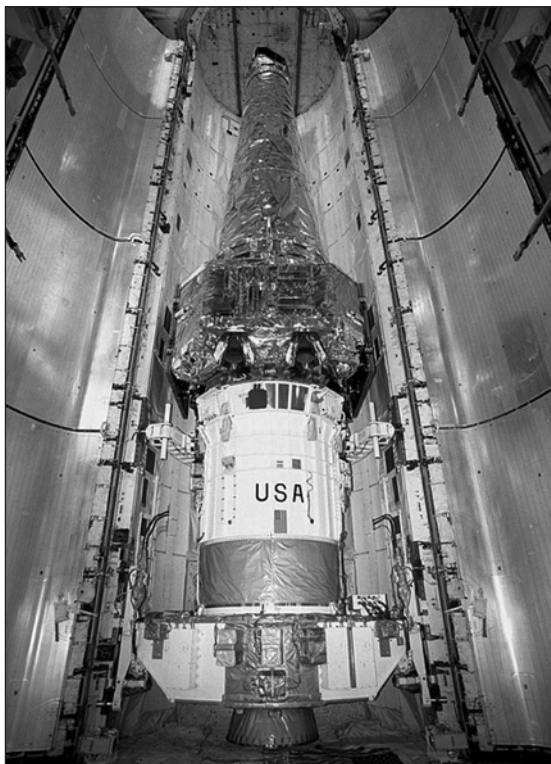
А пренебрегването на най-значителния принос на Опенхаймър към науката бил в голяма степен резултат от едно историческо обстоятелство. Неговата статия със Снайдер, установяваща на четири страници физичната реалност на черните дупки, била публикувана в *Physical Review* на 1 септември 1939 г. – денят, в който Адолф Хит-

лер изпратил своите армии в Полша и започнал Втората световна война. В допълнение към суматохата, предизвикана от Хитлер, същата книжка на *Physical Review* съдържала монументалната статия на Нилс Бор и Джон Уилър върху теорията термоядрения синтез – една статия, която буквално формулирала за всички, които могли да четат между редовете, възможностите на ядрената енергия и ядрените оръжия [5]. Не е учудващо, че разбирането на черните дупки било оставено за по-късно под влияние на по-императивните предизвикателства на войната и ядрената енергия.

Всеки един от тези пионери след един къс период на революционно откритие и една кратка публикация загубил интерес към борбата за тази революция. Чандра прекарал седем мирни години в Европа, преди да се премести в Америка, работейки без никакви революционни претенции главно върху теорията на нормалните звезди. Цвики, след като приключил с обзора на небето, разкрил тъмната материя и няколко типа Свръхнови, бил въввлечен

във военни задачи с напредването на Втората световна война; в крайна сметка той станал специалист по ракетите². Опенхаймър, след като открил най-важните следствия от Общата теория на относителността, насочил своето внимание към рутинните ядрени експлозии и станал директор на Лос Аламоската лаборатория.

Когато в по-късните години съм се опитвал да започна с Опенхаймър разговор за важността на черните дупки и еволюцията на Вселената, той имаше толкова малко желание да говори за това, колкото и за своята работа в Лос Аламос. Опенхаймър страдеше от остра форма на предрасъдка, разпространен сред физиците теоретици, да надценяват чистата наука и да подценяват производната наука. Според Опенхаймър единствената дейност, достойна за таланта на първокласния учен, е търсенето на нови закони на природата. Изучаването на следствията от старите закони било занимание за студенти или за третокласни бездарници. Той нямаше желание в по-късните години да се връща към изучаването на черните дупки, областта, в която



Рентгеновата обсерватория „Чандра“ е един от множеството телескопи, позволяващи да се погледне към бурната Вселена. Тук се вижда обсерваторията в товарния отсек на космическата совалка Колумбия няколко дни преди нейното изстрелване на 23 юли 1999 г.

беше направил своя най-важен принос в науката. Действително Опенхаймър можеше да продължи да прави важни приноси през 50-те години, когато черните дупки не привличаха особен интерес, но той предпочете да следва най-новата мода. Опенхаймър и Цвики, за разлика от Чандра, не живяха достатъчно дълго, за да видят приемането на техните революционни идеи от младото поколение и абсорбирането им в основното русло на астрономията.

От строежа на звездите до Шекспир

Чандра посвещавал по 5–10 години на всяка област, която желаел да изучи в дълбочина. Отнемало му около една година, за да овладее предмета, още няколко години, за да публикува серия статии, които изчерпвали проблемите, които бил в състояние да реши, и след това още няколко години за написване на основополагаща книга, съдържаща преглед на предмета такъв, какъвто той го оставял на следващите изследователи. След като книгата била завършена, той изоставял това поле и търсел нова тема за изследване.

Тази последователност била повторена осем пъти и е съхранена в датите и заглавията на книгите на Чандра. *Въведение в изследването на звездната структура* (University of Chicago Press, 1939) прави преглед на неговата работа върху вътрешния строеж на белите джуджета и други типове звезди. *Принципи на звездната динамика* (University of Chicago Press, 1942) описва неговата изключително оригинална работа върху статистическата теория на движението на звездите в звездните купове и в галактиките. *Радиационен пренос* (Clarendon Press, 1950) дава първата точна теория на радиационния транспорт в звездните атмосфери. *Хидродинамична и хидромагнитна стабилност* (Clarendon Press, 1961) представя теорията на всякакви видове астрономични обекти – включително звезди, акреционни дискове и галактики – които могат да станат нестабилни в резултат на диференциалното си въртене. *Елипсоидални фигури на равновесие* (Yale University Press, 1969) решава една стара задача, намирайки всички възможни равновесни конфигурации на несвиваема течна маса, въртяща се в своето собствено гравитационно поле. Задачата е била изучавана от големите математици на XIX век Карл Якоби, Ричард Дедекин, Петер Лъожон Дирихле и Бернхард Риман, които не били в състояние да определят кои от многото конфигурации са стабилни. В увода към своята книга Чандра отбелязва:

„Тези въпроси оставаха без отговор в продължение на повече от сто години. Причината за това пълно пренебрежение трябва отчасти да се отдаде на впечатляващото откритие на Поанкаре, насочило всички по-късни изследвания в направления, които изглеждаха пълни с възможности; но дългото търсене, което последва това откритие, в края на краищата се оказа преследване на една химера“.

Опусът с елипсоидалните фигури беше последван от интервал от 15 години, преди да се появи следващата книга *Математичната теория на черните дупки* (Clarendon Press, 1983). Тези 15 години бяха времето, когато Чандра работи най-усилено и най-напрегнато върху предмета, най-близък до сърцето му: точното математично описание

на черните дупки и техните взаимодействия със заобикалящите ги полета и частици. Книгата му за черните дупки беше неговото последно сбогуване със специалните изследвания точно както *Бурята* беше последното сбогом на Уилям Шекспир с писането на театрални пиеси. След публикуването на книгата Чандра изнася лекции и пише върху неспециализирани теми, върху трудовете на Шекспир, Бетовен и Шели и върху близостта между изкуството и науката. Сборник с негови лекции за широката публика беше публикуван през 1987 г. под заглавието *Истина и красота* [1].

През тези години на своето оттегляне той използва голяма част от своето време, за да си проправя път през *Принципите* на Нютон. Чандра реконструира всяко твърдение и всяка демонстрация, превеждайки геометричните аргументи на Нютон на алгебричния език, познат на съвременните учени. Резултатите от това негово историческо изследване бяха публикувани непосредствено след неговата смърт в последната му книга *Нютоновите принципи за широката публика* (Clarendon Press, 1995). За да обясни защо е написал книгата, той казва: „Убеден съм, че познанието за физичните науки е непълно без изучаването на *Принципите* по същия начин, както познаването на литературата е непълно без запознаването с *Шекспир*” [6].

Работата на Чандра върху черните дупки е най-драматичният пример за неговата отдаденост на производната наука като средство за разгадаване на природата. Нашето фундаментално разбиране за природата на пространството и времето се основава на две предпоставки: първо, уравненията на общата теория на относителността, открита от Айнщайн, и второ, решенията на тези уравнения за черните дупки, намерени от Карл Шварцшилд и Рой Кер и изследвани в дълбочина от Чандра. Да се напишат основните уравнения, е голяма крачка към разбирането, но само тя не е достатъчна. За да се постигне истинско разбиране за пространството и времето, е необходимо да се конструират решенията на тези уравнения и да се изследват всички техни неочаквани следствия. Чандра никога не е казвал, че е разбрал по-добре от Айнщайн пространството и времето, но беше така. Доколкото Айнщайн не приемал съществуването на черните дупки, неговото разбиране за пространството и времето съвсем не било пълноценно.

Когато бях студент в Кеймбридж, аз се обучавах при приятеля на Чандра Годфри Харди, чист математик, който споделяше възгледите на Чандра за британския империализъм и за индийската политика. Когато постъпих, Харди беше вече възрастен и прекарваше голяма част от времето си в писане на книги. С арогантността на младостта аз го попитах защо си губи времето да пише книги, вместо да провежда изследвания. Харди отговори, „Младите хора трябва да доказват теореми. Старите хора трябва да пишат книги”. Това беше добър съвет, който аз никога не забравих. Чандра също го следваше. Не знаех дали го беше научил от Харди.

Тази статия е основана на лекцията, която изнесох на Симпозиума за 100-годишнината на Чандрасекар в Университета на Чикаго на 16 октомври 2010 г.

¹ Freeman Dyson, “Chandrasekhar’s role in 20th—century science”, feature article, *Physics Today*,

December 2010. Фрийман Дайсън е бивш професор в Института по авангардни изследвания в Принстън, Ню Джърси.

² Тук авторът е неточен. Цвики до края на живота си не изоставя работата си като астроном главно като откривател на свръхнови и специалист по т.нар. пекулярни галактики и купове от галактики. Последният му труд, публикуван посмъртно през 1974 г., е посветен на поредното обзорно търсене на свръхнови в Паломарската обсерватория. – *Бел.ред.*

Литература

[1] S. Chandrasekhar, *Truth and Beauty: Aesthetics and Motivations in Science*, U. Chicago Press, Chicago (1987).

[2] S. Chandrasekhar, *Astrophys. J.* **74**, 81 (1931).

[3] J. R. Oppenheimer, H. Snyder, *Phys. Rev.* **56**, 455 (1939).

[4] See, for example, F. Zwicky, *Morphological Astronomy*, Springer, Berlin (1957), sec. 8 and 9.

[5] N. Bohr, J. A. Wheeler, *Phys. Rev.* **56**, 426 (1939).

[6] S. Chandrasekhar, *Curr. Sci.* **67**, 495 (1994).

[7] Ref. 2, reprinted in K. C. Wali, *A Quest for Perspectives: Selected Works of S. Chandrasekhar, with Commentary*, vol. 1, Imperial College Press, London (2001), p. 13.

Превод: **С. Рашев**

**Посетете нашия сайт
WOR.COINTECH.NET**

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

НАИСТИНА ЛИ ИМАТ МЯСТО НЕСТАНДАРТНИТЕ ЗАДАЧИ В ОБУЧЕНИЕТО ПО ПРИРОДНИ НАУКИ В БЪЛГАРИЯ

Георги Семовски

Прочетох вашата статия „Имат ли място нестандартните задачи в обучението по природни науки в България” (Светът на физиката 1/2013) с интерес. Тя ме накара да се замисля за образованието като цяло. Безспорен факт е, че без знанията, които природните науки ”дават”, човек трудно би оцелял в днешния забързан свят. Най-малкото, те развиват логическото мислене, значението на последователността от събития, които ще доведат до някакво друго по-грандиозно събитие, и пр. Статията също ме накара да се замисля върху няколко въпроса, които искам да споделя с вас.

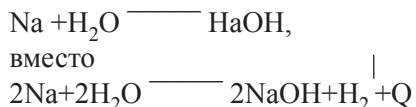
Наблюдавайки учениците от по-долните класове, та дори и от моя (аз съм в 12-и клас), разбирам, че нищо не ги мотивира да учат, нищо не ги интересува. Като че ли знанието за тях е нещо, което не би им помогнало в живота. А това наистина ли е така? Давам ви пример. Наскоро по математика преговаряхме логаритмуване. Почти никой от класа (в това число и аз) не знаеше какво е това (а това е нещо, което сме го изучавали в предишните години). Преподавайки ни логаритмуването, госпожата забрави да ни обясни за какво се използва. След като ѝ зададох въпроса „Къде в практиката можем да използваме тези знания”, тя отговори, че с тях можем да пресмятаме по-лесно дълги разстояния (и даде устния пример, че чрез логаритмуването можем по-лесно да пресметнем разстоянието от Земята до Луната, като не го подкрепи с математически израз). В задачите, които решавахме, за да упражним и затвърдим „новото” знание, никъде не срещнахме задача, чрез която можем на нейна база да пресметнем нещо практически. Излиза, че в часа научих нещо ново, което и да искам да го приложа в живота си, няма да мога, и то не защото не искам, а защото не знам как, следователно този час ми беше напълно безполезен. Интересното, което искам да отбележа, е, че госпожата се ръководеше по учебника ни. В него също, предполагам, не е имало такива задачи (от сорта на какво е разстоянието от Земята до „алфа от Центавър”...), иначе защо би ги пропуснала? Подобни примери мога да ви изброя много.

Искам да уча медицина, а за нея ми трябва биология и химия. Учебниците, които са написани за ученици, по мое мнение са предназначени за учители. Един ученик трудно би разбрал същината на даден процес (независимо по биология или химия, или от другите природни науки) само от написаното в учебника. По-скоро тези учебници са ръководства за учителя или са написани така, че да ни информират, че има такива процеси, но не и да ни научат на нещо по-подробно за процеса (най-малкото да помислим защо е така). Все пак природните науки се основават на реални, а не на имажинерни неща. По този признак учебниците по психология са написани по-добре,

защото там, малко или много, можеш да си представиш изложеното и да помислиш защо е така или иначе. Нещо, което е абсурдно. Ясен ми е фактът, все пак тези учебници са написани за ученици и трябва изложеното да е написано кратко, точно и ясно (без много фактология и терминология, каквато присъства в учебници за студенти и научни статии, които предполагат да я има). Но тогава какъв е смисълът да учим нещо което... не можем да си представим, трудно бихме го запомнили (зазубрили) и обяснили. Пък и често в час не ни се обяснява по-обстойно с цел по-лесно заучаване.

От друга страна, материално-техническата база в училищата не е в добро състояние или, както в моето и в повечето училища – липсва, или често това, което е налично, се държи по складове и не се изнася пред учениците. Природните науки като че ли са второстепенни – не се инвестира в материали, реактиви, препарати и прочие да подпомагат учебната дейност. Сега се инвестира само в мултимедийните технологии (прожектори, компютри, интерактивни дъски и пр.). И като че ли няма хора, които да могат да боравят с тях, не се използват пълноценно. На повечето учители учениците им пускат мултимедията, практика – често срещана в моето училище. Наскоро обновиа компютърния кабинет, сложиха нова мултимедийна дъска, прожектори в почти всички кабинети (и в някои класни стаи), а в същото време училището няма елементарни консумативи. Например, когато изучавахме AL (това беше единственият елемент, който ни се показва как изглежда), шишенцето беше пълно до половината със стърготини, които, както се майтапехме в класа, бяха най-вероятно събрани от майстора, когато е пробивал някакъв алуминиев детайл. Колкото и да сме в криза и да няма пари в държавата, алуминиеви фрагменти има под път и над път, та той е, както пише в учебника по химия, третият по разпространение елемент на Земята. Трагичен е фактът, че нямаме физкултурен салон, кабинет по музика. Кабинетите по природните науки по нищо не се различават от обикновените класни стаи. Да, съгласен съм, че не могат да построят адронен колайдер в мазето, ама нямането на елементарни неща е неприемливо.

Отделен е въпросът, кои учители могат да преподават и кои – не. Трудно обясним е фактът, че при един учител класът (ни) се държи по един начин и дисциплината е завидна, а при друг не е така. При един учител и „най-простият” (този, който дори не присъства редовно) изкарва едни оценки (които дават обективна представа за знанията му), а при друг – други, които драстично се различават. Също така няма как на учител по химия да не му прави впечатление, че е написал



Освен че уравнението не е написано правилно, не е и изравнено правилно. Написано само по себе си (неизравнено и без отделящия се водород) учителите ми по химия и проверяващите (когато се готвех за КСИ) го взимат за груба грешка (каквато в действителност е) и направо драската цялата задача и съответно може да бъде прова-

лен целият КСИ. Не мога да не си задам въпроса „Как учениците не могат да научат тази химия?“.

Моля, не ме разбирайте погрешно! Че не учим, е вярно – факт, който няма как да оспоря. Но третият въпрос, който си задавам, е „Системата ли е объркана, или проблемът е в нас?“ (то едва ли не всички сме дебили?!). Искам да вметна, че това не е само в училищата. В курса, където ходя, имам една съкурсничка, която е учила в химическо училище и после четири години в ХТИ. Та тя предлага метод за получаване на NaOH чрез взаимодействието на $\text{NaCl} + \text{HON}$ (нещо, което е невъзможно, а това уравнение е най-често срещаното в бита на хората). Примери още много мога да опиша.

Че ИМАТ МЯСТО НЕСТАНДАРТНИТЕ ЗАДАЧИ В ОБУЧЕНИЕТО ПО ПРИРОДНИ НАУКИ В БЪЛГАРИЯ, спор няма. Но обучението в България има място и за много други работи. Би трябвало да се направи системата така, че да е по-приложима. Интересен е моментът, че в България учим повече неща (по някои предмети и спрямо някои държави) от учениците в Европа, но какво научаваме, е нещо съвсем различно.

Хареса ми статията ви. Може би, ако знаех, че участвам в такова проучване, щях да подхожда по-отговорно към домашните, които ни давахте. Извинявам се, ако съм станал отегчителен в старанието си да изложа всичко, което мисля, възможно най-кратко и ясно. Горенаписаното е мое мнение, с което не целя да zlepоставя някого. Надявам се тази статия да я прочетат хора, които също да се замислят като мен и да се опитат да променят нещата, защото в Европа вече няма места за нискоквалифицирани работници.

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

“ПРОФ. Д-Р ЕЛИСАВЕТА КАРАМИХАЙЛОВА – ПЪРВИЯТ БЪЛГАРСКИ ЯДРЕН ФИЗИК” БИОГРАФИЧНА КНИГА ОТ П. ЛАЗАРОВА И Н. БАЛАБАНОВ*



Елисавета Карамихайлова е светъл образ в българската физика. През най-романтичната епоха на ядрената физика – 20-те и 30-те години на миналия век, тя работи в два от световните ядрени центрове – Виена и Кавендишката лаборатория в Кеймбридж. Със своите изследвания тя е според точното определение на авторите на книгата първият български ядрен физик. След конкурс и с решение на Академичния съвет на Софийския университет тя е избрана през 1939 г. за доцент по “Опитна атомистика с радиоактивност” и е първата българка – хабилитирано лице в Софийския университет. Още по-силни са впечатленията и емоциите на нейните сътрудници и колеги, които са имали непосредствен контакт с нея по време на работата ѝ във Физико-математическия факултет на Софийския университет и във Физическия институт на БАН. В своите спомени, част от които са поместени в книгата,

те говорят не само за ярката ѝ личност, но и за високото ѝ чувство за морал и отговорност пред страната и обществото. При честването на 80 години от рождението ѝ в Големия салон на БАН една от нейните “подчинени” от ръководения от нея сектор говореше за “уроците, които тя ни даваше”, като имаше предвид действията ѝ за запазване здравето на хората и бъдещето на България.

Пътят на Е. Карамихайлова е типичен за учените от нейното поколение. По характеристиката, дадена от нейния пръв асистент акад. Хр. Христов: “Животът на проф. Карамихайлова бе един живот за науката. Тя живя с нея, за нея и чрез нея”. Но също – човек с голяма духовна сила и висока етика, която “носеше достойно, стоически и героически принадлежащата ѝ част от човешката неволя”. Всичко това е изразено в двете части на книгата, първата посветена на нейния жизнен път и втората, в която се разглеждат научните ѝ занимания и резултати, постигнати във Виена, Кеймбридж и София. Според мен българската наука се нуждае от изследвания и книги за живота

и делото на свои знаменити дейци. Безспорно постижение на авторите е обективното и съдържателно изложение на научните резултати, нейната жизненост (както съм я запомнил и аз при някои епизодични срещи) и “неволите”, съпътстващи живота ѝ, които не пречупват нейния дух.

В тези бележки бих искал да засегна два възлови пункта, разгледани от авторите на книгата. Първият се отнася до изследванията ѝ в съавторство с М. Блау, на т.нар. “берилиево лъчение”, довело Чадуик до откриването на неутрона и до Нобеловата премия (1935 г.). Моето убеждение е, че никой български учен не е бил по-близо до тази премия от Е. Карамихайлова, “държала физическото явление в ръцете си”. Авторите на книгата подробно анализират научната ситуация и изследванията на няколко научни групи в Германия, Франция, Австрия и Великобритания. Три от тях, вкл. Ирен и Жолио-Кюри и Карамихайлова-Блау, не успяват да разберат, че при тези експерименти се проявяват и регистрират реакции с неутрони, все още хипотетични частици, предсказани през 1920 г. от Ръдърфорд. Точната интерпретация се намира от ученика на Ръдърфорд – Чадуик, и това демонстрира решаващата роля на научната школа за прогреса на науката. Заслужава още веднъж да се подчертае точното излагане на фактите в книгата, от което се вижда, че Карамихайлова-Блау получават правилни експериментални резултати, но които се отнасят до друг канал на реакцията берилий- α -частици, при която се излъчват не неутрони, а гама лъчи. Да се надяваме, че обясненията в книгата ще сложат край на недоразуменията в българската научна и културна общност, че Е. Карамихайлова се е разминала случайно с Нобеловата награда. Действителната причина е по-дълбока – двете именити физички Карамихайлова и Блау не достигат до адекватното разбиране на явлението, в което участват неоткритите все още неутрони.

Вторият пункт се отнася до приноса на Е. Карамихайлова за обучението и научните изследвания в Софийския университет. Тя пренася своя опит от работата в западни научни центрове в обучението, като организира лабораторен практикум по атомна физика, издава записки на лекциите си, а от 1945 г. е първият ръководител на новосъздадената катедра по атомна физика. Спомените на нейните студенти и сътрудници показват колегиалност и отношение, които възпитават интерес към науката, творческа атмосфера и демократични порядки – всичко толкова характерно за европейските университети. Нямам впечатление от нейните лекции (нито авторите на книгата имат), които вероятно не са били от най-високо качество. Но едва ли само тези лекции са причина за нейното отстраняване от Университета през 1955 г. и преминаването ѝ във Физическия институт на БАН. Част от причините са политически – т. нар. буржоазен произход и възможни връзки със западни колеги, към общността на които Е. Карамихайлова, естествено, е принадлежала. Един косвен знак за влиянието на политическата обстановка е, че наследилият я лектор – проф. Л. Митрани, който ни четеше блестящи лекции, няколко години по-късно също бе отстранен от Физическия факултет на Софийския университет. Силата на характера на Карамихайлова се проявява (и това много добре се вижда в книгата) в организацията и успешната активност

на нейната група в БАН, включена във важни изследвания на радиоактивността на въздуха, почвите, минералните води и др.

Към достоинства на книгата бих добавил великолепно описание на научната и колегиалната атмосфера във Виенския радиов институт и в Кавендишката лаборатория, а също – приложените спомени за Карамихайлова и списък на нейните трудове.

Не бих нарекъл книгата ”Проф. д-р Елисавета Карамихайлова – първият български ядрен физика” монография. Но по своето съдържание, емоционална заинтересованост на авторите, по своето луксозно оформление книгата има монографична структура и се явява важен източник на информация за житейската и научната съдба на една бележита българка. Авторите П. Лазарова и проф. Н. Балабанов заслужено получават нашите поздравления и благодарност за резултатите от техния труд.

Проф. дфн Иван Лалов

* Издателска къща ”Тип-топ Прес” ООД, С., 2013.

**Присъединете се към групата на списанието във facebook –
<http://www.facebook.com/worldofphysics>
за да научавате веднага новините, свързани с физиката**

АТОМНАТА ФИЗИКА НА СОЦИАЛНИЯ ЖИВОТ

„Физикът, който е само физик, може да бъде първокласен физик и особено ценен член на обществото. Никой обаче не може да бъде голям икономист, ако е само икономист – изкушавам се дори да добавя, че икономистът, който е само икономист, вероятно ще се превърне в напаст, ако не и в истинска опасност.”

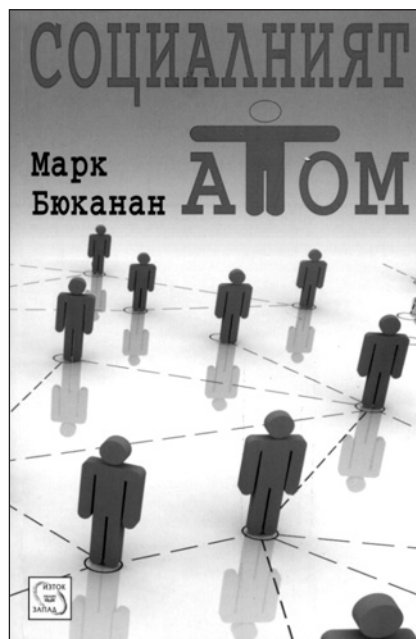
Фридрих фон Хайек,

Нобелов лауреат по икономика, 1974 г.

Преди (доста) време, когато с интерес четях за необикновения и трагичен живот на един от стожерите на „квантовата епоха” Паул Еренфест, силно впечатление ми направи неговата роля при пренасочването на своя талантлив аспирант Ян Тинберген (1903–1994 г.), защитил блестящо дисертацията си на тема „Минимум проблеми във физиката”, към... икономиката, където впоследствие (1969 г.) заради приносите си „за създаване и прилагане на динамични модели и използването им за анализ на икономически процеси” той (заедно с Рагнар Фриш) е удостоен с току-що учредената Нобеловата награда за икономически науки [1].

А когато неотдавна се натъкнах на „Социалният атом”, Марк Бюканан, Изток-Запад, С., 2011; превод от английски Мина Цонева (*The Social Atom*, Mark Buchanan, 2007), бях заинтригуван, независимо от предпазливото ми отношение към заиграванията със социалната тематика. Уви, пак в период на световна икономическа регресия, когато най-често свързването с наука звучи повече като оправдание или обвинение. Но авторът Марк Бюканан, физик-теоретик, дългогодишен авторитетен редактор на *Nature* и *New Scientist*, твърди, че „Днес ние сме свидетели на нещо като „квантова революция” в социалните науки. Законите на физиката предлагат неочаквана картина на „социалния атом”: и точно както хаосът отстъпва пред точността на часовников механизъм, така и свободните човешки индивиди се вписват в предсказуеми схеми. Затова разглеждат схемите, а не хората...”.

Френският физик Жан-Филип Бушо, изявен специалист в областта на спиновите стъкла и зърнести вещества, изследва модели за колебанията на пазарите и управлението на парите при глобални социални и икономически процеси. Например процентът на „разпространение на влияние” следва точно математическата схема, описваща



магнитните явления, както въпрочем и начина, по който започват и стихват аплодисментите в концертна зала... Пак физик, италианецът Гуидо Калдарели, анализирайки топографията на наблюдаваната част от повърхността на Марс, показва, че тя е подобна на водосборните басейни на повърхността на Земята – двете картини са резултат от действието на гравитацията върху движеща се течност. А след това, че... богатствата се натрупват в ръцете на хората по същия начин, по който водата тече през сегментите на даден водосборен басейн. А по-късно физикът Марк Мезар (заедно със споменатия вече Ж-Ф. Бушо) моделира процесите на натрупване на богатства и установява, че повечето богатства се натрупват автоматично в ръцете на незначително малцинство, че огромни разлики в постиженията често произтичат по-скоро от прости логически процеси, отколкото от вродени разлики в дарбите, и че, не на последно място, късметът играе важна роля! Неравенството, изглежда, няма нищо общо с готовите политически отговори. В началото на 90-те години физиците Чън Джан и Деймиън Чалет на основата на теорията на „фазовите преходи“ във физиката развиват модела за преходи от предсказуем в непредсказуем режим на поведение на пазара, както и съществуването на „зони на непредсказуемост“. През 2005 г. Нобеловата награда по икономика е присъдена на „Башата на атомно-физичния подход“ – професора от Харвардския университет Томас Шелинг (съвместно с Роберт Ауман) „за приносите им за разбиране на конфликтите и сътрудничеството чрез методите на теорията на игрите“. Той стига до извода, че „...в края на краищата, не съперничеството и конкуренцията решават проблема, а социалната кохезия, създадена от сътрудничеството, е главният фактор за успеха“. А съвсем неотдавна Оксфордският университет избра младия физик Нийл Джонсън за ръководител на престижната Катедра по изчислителни финанси...

Всъщност това научно направление отдавна си има име: *Иконофизика* – използване на математически идеи, вдъхновени от физиката, за решаване на проблеми от икономиката и финансите. И няма съмнение, че в последно време се засилва обвързаността между социалните науки и физиката: отдавна физиците с успех изучават различни схеми и видове организации, образувани от атоми, които водят до безкрайните форми на света около нас – от всевъзможни вещества до живи организми, от снежинки до дървесни листа, до звезди, галактики и черни дупки... На практика дълго време цялата икономическа наука, втрънчена в една неправдоподобно статична и равновесна картина на света, и до неотдавна е почивала върху идеята за равновесие и баланса на силите. Понастоящем тя се доминира от схващането за голямата динамика на процесите, непрекъснатото изменение на това равновесие, когато по силата на обратната връзка възникват нови схеми, които изместват старите, за да бъдат в бъдеще на свой ред изместени... Зад безредния и често много различен външен вид социални процеси съществува скрита единна организация: установените математически закономерности се проявяват в съвсем различни области и за съвсем различни явления, макар и от по-прост вид. Имаме основание да смятаме, че след като едни и същи математически закономерности се проявяват в различни области, съществува и дълбока свързаност между математическите закони на човешкия свят и тези на останалата природа. Разбира

се, за да се стигне до същината на сложни неща посредством крайно прости модели, е необходимо да се уловят точно онези няколко подробности, които са от съществено значение. Защото, въпреки че в схемите участват хиляди фактори, те чувствително зависят само от няколко решаващи. Така или иначе, *„Все повече се убеждаваме, че всички физични закони, които са ни известни, имат колективен произход, не само някои от тях. С други думи, разграничаването между фундаменталните закони и законите, произлизащи от тях, е мит... Онова, което физичната наука има да ни каже, е, че цялото, което представлява повече от сбора на съставлящите го части, не е просто концепция, а физично явление. Природата се регулира не само на база правила на микроскопично ниво, но и от мозъци, всеобщи принципи на организация”*, казва Робърт Лафлин, Нобелов лауреат по физика за 1998 г., „за обяснението на дробния ефект на Хол”.

Наистина, безспорен е Коперниковият принцип: човек е интегрална част от природата, но не и неин център – човечеството има естествено място в естествения свят, но не и специално място. И ние, човечите, сме най-сложните известни ни нам същества във Вселената – „социалният атом”, а той е по-сложен от всичко, което познаваме във Вселената. Но ние не разсъждаваме съвсем самостоятелно. Не сме изолирани като атоми в чист вакуум, а сме изцяло взаимно зависими и вкоренени в плътна социална тъкан с други като наситена течност, където почти няма как да помръднем, без да се сблъскаме с другите. А вече отдавна идеологията не е ключ за разбирането на социалните и икономическите процеси. В книгата на Бюканан Карл Маркс (заедно с Хегел и Тойнби) се споменава само като несполучлив пример за търсене на глобални закони или цикличности в историята: повечето съвременни историци оприличават такива усилия с усилията да гониш вятъра... Съмненията са в „рационалните решения” в икономиката, пък и в живота: преди всичко, ние не винаги можем да бъдем рационални, колкото и да се опитваме; след това, даже когато можем да бъдем рационални, повечето от нас не са...; и накрая – това не пречи, защото има и други начини за вземане на решения, които са също толкова добри, а често и по-добри. Защото човешкият ум не е свръхмощен компютър, който може всичко, а е продукт на милиони години еволюция и носи в своята структура и функции следите от нея. Както е установил психологът от Принстън Даниел Канеман (Нобелова награда по икономика за 2002 г. „за психологията на разсъжденията при вземане на решения”), нашият умствен апарат е съставен от две системи: едната част е рационална, но „възседнала” другата част, по-инстинктивната... Така че ние не сме рационални изчислители, а „ловки комарджии”, и основно – „адаптивни опортюнисти”: съзнателната част от нашия могъщ „рационален” ум не е логиката, а способността да се адаптира. Но веднага след адаптивната ни способност може би нищо не е изразено в човешкото поведение така ярко, както нашата способност да подражаваме. И нещата, към които се приспособяваме най-често, са другите хора. Затова и тенденцията към конформизъм в нашето общество е толкова силна. *„Обаче когато хората имат свободата да правят, каквото им е угодно, те обикновено се имитират едни други... Обществото, което дава на индивида неограничена свобода,*

най-често стига до объркваща еднаквост”, казва философът Ерик Хофер.

Един от основните фактори в социалния живот е самоорганизацията. И нейната същина е, че една схема възниква от само себе си и по начин, който има малко общо с детайлните особености на съставлящите я части. Ако приемем, че хората са „атомите” или елементарните строителни блокове на социалния свят („социалните атоми”), то можем с основание да очакваме на групово ниво да възникват мащабни схеми, които имат много малко общо с характера на самите хора в групата. Затова, за да се разбере характерът на социалния атом, когато множество такива атоми си взаимодействат, създавайки един богат свят на колективни схеми и резултати, обратната връзка често е от решаващо значение, обаче тя става ясна едва когато по-скоро мислим за взаимодействията между различните части на някоя система, отколкото когато се вглеждаме твърде отблизо в самите части. Обаче трябва да се подчертае, че предсказуемите закономерностни схеми се проявяват не на ниво единично събитие, а на ниво множество събития. Но съществува и... закон за непредвидимите последици. Непредвидимите последиствия трябва да се очакват навсякъде, където се намесваме в една комплексна система, без да я разбираме напълно. Такава е ориса на човечеството при опитите му да управлява социалния и икономическия свят в течение на цялата своя история. Нашето колективно поведение следва математически схеми, изненадващи със своята прецизност. Въпросът е да се разбере произходът на колективните схеми – към които физиката е причастна от векове.

Идеите на социалната физика, признавайки важността на схемите, обратната връзка и самоорганизацията в социалната действителност, започват да обясняват и поведението на човешките общности и психологията на индивида. Например силната привързаност на „социалните атоми” към собствената им група и враждебността към външните елементи. И мнозина от нас филтрират емоционално реалността, за да запазят и поддържат групата, с която са свързани. Оттук лесно следва и се обяснява както възникването и ролята на предубеденостите и предразсъдъците, така и появата на етническата омраза и крайната ѝ проява – геноцида (опровергават се конспиративните обяснения, колкото и психологично да са привлекателни те). Самопожертвователност, алтруизъм..., но когато се моделират процесите на взаимодействие на *малък брой* „социални атоми”, се оказва, че всъщност до голяма степен алтруизмът се свежда до реципрочен алтруизъм: прикрита себичност – хитра стратегия да извлечеш максимум за себе си от непроста ситуация... Потопеността в „среда на еволюционна адаптивност”, в която човешките са живеели през 99% от своята история, е оформила в нас този инстинкт. Обаче този тесногърд собствен интерес съвсем не е достатъчен за поддържането на устойчивостта на сътрудничество в *големи групи* „социални атоми”: точно „реципрочният алтруизъм” е „социалното лепило”, позволило възникването на кохезивни групи и спомогнало на нашите предци да оцелеят и побеждават в суровата борба... А по-късно конкуренцията между такива групи осигурява мащабното развитие на човечеството: човешката история може най-добре да се разбере като дълга борба между групи с по-големи или по-малки умения за сътрудничество, в която по-умеещите

побеждават. Защото онова, което представляваме като индивиди, зависи не толкова от това, как нашето поведение ни помага като индивиди, а от това, как то влияе върху колективното поведение на групите, от които сме част.

Признавам, че насочвам вниманието на колегите към тази книга повече „за честта на пагона”: и ние (физиците) сме дали нещо на света, даже на икономистите! И все пак, за да не бъдем обвинени в тясно-професионален шовинизъм, нека отдадем заслуженото признание на нашите братовчеди – математиците отдавна преди нас са завоювали значителни територии и придобили неоспорим авторитет сред икономистите. Математическата статистика, времеви редове, всемогъщите закони на разпределения при големите числа и почти „универсалният” закон на Парето описват икономически закономерности толкова точно, колкото и законите при физичните процеси.

И след като с такъв ентузиазъм нахвърлих тези бележки, стреснат, си спомних един друг епизод. Когато преди десетина години предлагам на вниманието на любознателни колеги новопоявилият се превод на „Видни икономисти. Жизнената им философия” (Академично издателство „Проф. Марин Дринов”, 1998 г.), срещнах доста хладно, резервирано отношение – „много повърхностни им са моделите”, „много елементарни им са закономерностите”, „абе това наука ли е?”... Разбирах, че в това има голяма доза тесногърд професионален шовинизъм и необосновано самочувствие. Но пък по ония времена и „икономическото ни положение” беше на такъв хал, че да го свързваме с науката, беше съвсем неуместно. Но аз с дилетантските си познания и наивитет си останах с възхищението си от техните разкази... и продължавам да ги препоръчвам... [2]

Това ми дава основание да завърша моя (пре)разказ с цитат от Готхолд Ефраим Лесинг (1778 г.), с който завършва и самата книга на Марк Бюканан: *„Не истината, която човек притежава или си мисли, че притежава, а честното усилие, което той е положил да открие истината, съставляват неговата ценност. Защото неговите сили се разгръщат не като притежава, а като дири истината и единствено в това се състои нарастващото негово съвършенство”*.

Н. Ахабабян

Бележки

[1] Нобеловата награда по икономика е учредена от Централната шведска банка през 1968 г., тоест близо 70 години след учредените класически награди по природни науки от Алфред Нобел и за пръв път присъдени през 1901 г. Повече или по-малко оспорвани от представителите на другите области на знанието, от 1969 г. насам са били удостоени 71 души с 44 Нобелови награди по икономика. В случая с Ян Тинберген заслужава да се отбележи, че след пет години и пет години по-малкият му брат Николас Тинберген също получава (поделена с друг Фриш (Карл фон) и Конрад Лоренц) Нобеловата награда по физиология и медицина „за техните открития относно организацията на индивидуални и обществени модели на поведение”.

[2] Разказват, че веднъж Макс Планк признал пред колегата си големия икономист Джон Кейнс (вж. „Светът на физиката”, кн. 1, 2013 г., стр. 39), че навремето имал намерение да се занимава с икономика, обаче решил, че тя е много сложна...

ПЪТЕШЕСТВИЕ В СВЕТА НА СЪВРЕМЕННАТА ФИЗИКА



Книгата „Основни на съвременната физика“ на известните преподаватели от Физическия факултет на Софийския университет „Св. Климент Охридски“ проф. Стефан Т. Иванов и доц. Явор Шопов (Издателство „ТИТА-Консулт“, София, 2013) предлага на своите читатели интересно пътешествие в света на физиката на отминалия 20-ти век. Това е първата книга по съвременна физика на български език (в съвременната физика се излагат на физическо ниво сложните физически достижения на 20-ти век).

И двамата автори имат богат опит в написването на университетски учебници и учебни помагала. С голяма популярност сред студентите физици и химици се ползва курсът по квантова механика на проф. С.Т. Иванов: *Иванов С.Т. Основни на теоретичната и квантовата механика.* (Университетско издателство „Св. Кл. Охридски“, София, 2001). В него с голямо

педагогическо майсторство проф. С.Т. Иванов излага основните принципи и приложения на квантовата механика. Голямо признание за автора и за българската наука е издаването на този учебник от световно известното издателство „Шпрингер“: *Ivanov S.T. Theoretical and Quantum Mechanics, Foundations for Chemists.* (Springer, 2006). От своя страна доц. Я. Шопов е член на научния комитет на престижната енциклопедия „Gale Encyclopedia of Sciences“, издание на Thomson Reuters.

В първите пет глави на книгата се излагат основите на две от най-фундаменталните физически теории създадени през 20-ти век: теорията на относителността и квантовата механика. В следващите четири глави (6-9) тези две фундаментални теории се прилагат за обяснение на наблюдаваните свойства на атомите, молекулите, твърдите тела и полупроводниците. Изясняват се също принципите на работа на лазерите и на различните типове транзистори.

Глава 10 представлява въведение във физиката на атомното ядро, а глава 11 е посветена на радиоактивността и ядрените реакции. Накратко се описва работата на ядрените реактори и ядрените електроцентрали. Отделен параграф е посветен на идеите на управляемия термоядрен синтез и на устройствата за магнитно удържане на плазмата от тип токамак.

Глава 12 е посветена на загадъчната вселена на елементарните частици. Излагат се основните положения на съвременната теория на микросвета – Стандартния модел. Отделен параграф осветлява идеите на съвременната космология.

Всяка глава на книгата започва с подробно съдържание и завършва с резюме, в което са сумирани най-важните положения на разглежданата тема. В края на всяка глава са дадени контролни въпроси, от отговора на които може да се прецени степента на усвояване на материала. Към всяка глава има списък от допълнителна литература. Всичко това активно стимулира самостоятелната работа на студентите и заедно с приложенията прави книгата един съвременен учебник.

Около една четвърт от обема на книгата съставляват приложенията, общо 21. Част от тях имат справочен характер (кратък математически справочник, обзор на системите от измерителни единици и др.). Друга част имат информационен характер (ускорители, експериментални методи в ядрената физика и др.). А третата част от тях са насочени към най-добрите студенти и представляват развитие на темата на университетско ниво, надхвърлящо физическото ниво, прието в книгата (математически основи на квантовата механика, представяне на вълнови функции и оператори и др.).

Книгата „Основи на съвременната физика“ е написана живо и увлекателно. Авторите представят по един разбираем и нагледен начин идеите, лежащи в основата на модерната физика, а не се стремят да „блеснат“ с използването на впечатляващ математически формализъм. Книгата е богато илюстрирана, което също допринася за яснотата на изложението.

В основата на книгата са залегнали лекциите, прочетени от проф. С.Т. Иванов във Факултета по математика и информатика на Софийския университет „Св. Климент Охридски“.

Книгата „Основи на съвременната физика“ може да служи като учебник за студентите от Физическите и Химическите факултети на Университетите. Аз горещо я препоръчвам и на вече завършилите физици и химици, които ще намерят в тази книга повод да опреснят и задълбочат своите знания в разнообразни области като: теория на относителността, квантова теория на атомите и молекулите, физика на твърдото тяло и полупроводниците и физика на атомното ядро и елементарните частици.

доц. д-р Динко Динев



СЪЮЗ НА ФИЗИЦИТЕ В БЪЛГАРИЯ

1164 София, бул. Джеймс Баучер 5

тел. +359 2 62 76 60

e-mail: upb@phys.uni-sofia.bg

Благодарствено писмо

Съюзът на физиците в България изказва гореща благодарност на ръководителите, учителите и учениците – участници в Националния отбор по физика за 44-ата Международна олимпиада по физика (4–15 юли 2013 г., Копенхаген, Дания). Благодарим на проф. Мирослав Абрашев и доц. Виктор Иванов, преподаватели във Физическия факултет на Софийския университет “Св. Климент Охридски”. Благодарим и на учителите Теодосий Теодосиев от МГ Казанлък, Снежана Павлова от 1 АЕГ София и Петя Костадинова от МГ Варна.

Поздравяваме с победата медалистите в отбора:

Златен – Катерина Найденова, 11 клас, ПМГ – Казанлък;

Сребърен – Йордан Йорданов, 12 клас, ПМГ – Казанлък;

Бронзов – Калоян Методиев, 12 клас, I АЕГ – София;

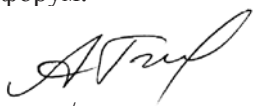
Бронзов – Калоян Дърмонеv, 12 клас, МГ – Варна;

Бронзов – Иван Порязов, 11 клас, ПМГ – Казанлък;

Отборът се представи достойно, като спечели един златен, един сребърен и три бронзови медала! Това е най-доброто представяне на български отбор в последните 16 години! С това представяне България се нарежда в челните места сред европейските отбори. Без съмнение, успехът на нашите олимпийци се дължи на всеотдайния труд на техните учители и на отличната им подготовка във Физическия факултет на СУ.

Съюзът на физиците в България високо оценява резултатите на учителите и ръководителите, като им пожелава бъдещи успехи в откриването, подготовката и представянето на български ученици в този сериозен международен форум.

19 юли 2013 г.

Председател на СФБ: 
/акад. Александър Петров/

90 ГОДИНИ ОТ РОЖДЕНИЕТО НА ДОЦ. АНТОНИЯ ПЕЕВА

Антония Пеева, или Нина, както я наричахме всички, е родена на 16 април 1923 г. в гр. Асеновград в семейството на интелектуалци. Здравите ѝ родови корени са от будни възрожденски фамилии. От предците си тя наследява изконните български добродетели на християнска смиреност, добронамереност, всеотдайност и обич към всичко, до което се е докоснала в живота, както и подчертаната си склонност към точните науки.

По бащина линия родословието на Нина Пеева е от борческо Панагюрище. Прадядо ѝ – свещеник Тодор х. Пеев, е заклан и изгорен в олтара на Панагюрската черква по време на погрома на Априлското въстание. Годици преди това неговият син Петър Тодоров Пеев със съдействието на Найдено Геров е изпратен заедно много будни български младежи да учи в Русия. Там той получава своето средно образование, а по-късно завършва математическия отдел на Московския университет. През тези години го свързва близко приятелство с връстниците му от Панагюрище Марин Дринов и Нешо Бончев. След Освобождението на България 40-годишният Петър Феодорович Пеев напуска професорската си кариера в Харковския университет и се завръща в България по настояване на М. Дринов. Той обаче, отказва да заеме предлагания му пост в София и се посвещава на образователното дело, като учител и директор на току-що откритата I-ва гимназия в родното му Панагюрище. Тук среща и се задомиава с Донка Тутева. Тя е дъщеря на известния поборник Иван Тутев, в чиято къща е бил щабът на Г. Бенковски и от която е пукнала първата панагюрска пушка възвестяваща началото на Априлското въстание в IV-ти революционен окръг. Донка и Петър Пееви дават живот на две деца – Тодор, бащата на Нина и Пенка. Тодор П. Пеев, роден и израстнал в Панагюрище, започнал кариерата си като банков чиновник, се издига до директор на Народна банка в Асеновград.

Майката на Нина Пеева – Добра, гимназиална учителка по математика, е най-голямата дъщеря на Мария Ст. Стояновска и видния родопски книжовник, учител и етнограф Стою Н. Шишков. Дядо ѝ по майчина линия – Стоян Стояновски, е един от радетелите за самостоятелна българска църква и българско училище, като е поддържал ревностно борбата срещу гръцките домогвания в Устово (сега квартал на Смолян),



която по-късно успешно се разпростира и утвърждава българщината из цялата Родопска област.

Нина завършва Асеновградската смесена гимназия “Св. Димитър” през 1941 г. с пълно отличие. След дипломирането си е приета за студентка по физика във Физико-математическия факултет на Държавния университет “Св. Климент Охридски”. Завършва висшето си образование през 1946 г. след 3-месечен следдипломен стаж и държавен изпит, който се провежда върху 5 теми по избор на комисията. Същевременно тя завършва и педагогическия курс в Института за гимназиални учители към III-та мъжка гимназия “Уилям Гладстон”, София. Като пълноправен учител известно време е преподавател по физика в Асеновградската гимназия.

През есента на 1947 г. Нина Пеева е избрана единодушно от Факултетния съвет за асистент по “Опитна физика”. Тя започва университетската си кариера като асистентка на проф. Е. Карамихайлова, която я заразява със своята всеотдайност към физиката. С идеализъм и ентузиазъм Нина се включва активно в научните изследвания на проф. Карамихайлова и нейното младо обкръжение. Тя участва в първите тогава за страната проучвания върху съдържанието на радон във водните ресурси около София, а през летните ваканции е постоянен член в океанографски и хидроложки експедиции за изследване водите на Черно море и Варненското езеро.

Натрупаният опит и познания в екипа на проф. Карамихайлова подбужда Нина Пеева да потърси своя област в проблематиката на атомната физика и насочва усилията си върху газовите разряди, предизвикани от елементарни частици. В средата на 50-те години тя намира бъдещата си тематика и своя дългогодишен изследователски интерес в загадъчните самогасящи се процеси в газов разряд, на които почива основният принцип на Гайгер-Мюлеровите броячи. Най-съществените ѝ приноси са свързани с подробното изследване на влиянието на газовата смес върху ефективната работа на броячите, както и в изясняване водещата роля на прианодното пространство при процесите на самогасене. Това я импулсира да приложи резултатите от своите изследвания и съвместно със Стефан Рижиков създават прототип на усъвършенстван Гайгер-Мюлеров брояч с подобрени параметри чрез подбор на подходяща газова смес и електроди. Успехът им в тази приложна област става причина по-късно заедно с Щилиан Кавлаков да участват в разработката на Гайгер-Мюлеровите броячи, с които е оборудвана Космическата станция на вр. Мусала.

А. Пеева специализира през 1962 г. при проф. Миесович в Института по ядрена физика на Ягелонския университет в Краков, Полша. Това води до повече от петгодишно сътрудничество с колегите ѝ от Краков, където често е канена да участва в съвместни експерименти и да предава своя опит. Станала известна с изследванията си, А. Пеева получава покана да специализира за обмяна на опит и във Францисканския университет във Франция, но като неблагонадеждна не ѝ разрешават да замине.

По време на своята университетска кариера Нина Пеева се изявява не само като вещ и задълбочен експериментатор, но и като добър и обичан от студентите преподавател. Научното ѝ израстване преминава през всички степени на университетската

йерархия – старши асистент, главен асистент и доцент в катедра “Обща физика” на вече обособения като самостоятелен Физически факултет на СУ ”Св.Кл.Охридски”. На тази длъжност Антония Пеева се пенсионира през 1988 г.

Доцент Пеева обаче не напуска Факултета. Повече от десетилетие преди това тя развива неуморна дейност по укрепването и развитието на Дружеството на физиците в България, чийто активен член е още от студентските си години – тогавашното Физико-математическо дружество. Години наред Нина Пеева е сред уважаваните ръководители на Дружеството, тя е и един от инициаторите за превръщането му през 1992 г. в Съюз на физиците в България (СФБ). Тя беше зам.-председател на Софийския клон, почетен член на СФБ и член на редколегиите на печатния му орган „Светът на физиката” и неговия предшественик – Бюлетин на Дружеството на физиците в България. Неуморен организатор на всички прояви на съюза доц.Пеева е в центъра на всички събития и прояви на СФБ – от научни конференции и колоквиуми до традиционните Пролетни балове на физиците. Радетел за жизнено необходимата връзка училище–университет и с дълбокото убеждение за значението на физиката в развитието на българската промишленост и здравеопазване Антонина Пеева е сред главните организатори на регулярните симпозиуми “Обучението по физика”, на колоквиумите “Физика-производство” и “Медицинска физика”. Далеч преди масовото навлизане на компютрите в нашето ежедневие тя създаде и поддържа пълна картотека на физиците от София, благодарение на която много и не само млади физици успяха да постъпят и да се развият като добри учени и преподаватели в научните звена на БАН, университетските катедри и столичните училища.

Особени заслуги тя има и за поемането на шефството от Софийския клон на СФБ над училището-интернат за деца без родители с увреждания “Райна княгиня” в гр.Роман, за които постоянно се събират парични помощи, дрехи и обувки. За тези изоставени дечица с нейно пряко участие се организират и празненства за Коледа, Баба Марта, Деня на детето 1-ви юни и др. Нина Пеева е и инициатор за създаването на Софийския Клуб на физиците. И до днес членовете му редовно се срещат на вечери с тематичен характер, тъй като по неин замисъл основната цел на клуба е той да бъде мост между изявените членове на физическата колегия – учени, преподаватели и учители, и интелектуалците от всички творчески области, обществения живот и политиката в България. За нейните заслуги доц. Антония Пеева бе шеговито, но напълно заслужено кръстена “човекът-съюз” и е избрана за Почетен член на Съюза на физиците в България.

Доц. Антония Пеева беше истински интелектуалец, човек с широки интереси – участваше активно в културния център “Дени дьо Ружмон”– София, свиреше на пиано, рисуваше графики и акварели, интересуваха се от изкуство. Нейното приятелско обкръжение се състоеше не само от представители на точните науки, но и лекари, юристи, писатели, музиканти и художници, за които домът ѝ беше винаги отворен. Шаржовете на видни академични и университетски учени, които беше правила по време на факултетни съвети като секретар през 50-те години на XX век, бяха показани

на изложба по време на Нощта на учените 2007 г. и предизвикаха много вълнения сред посетителите от областта на природо-математическите науки, които още пазят жив спомена за своите преподаватели физици, химици и математици. Навремето си, тези графични портрети така силно впечатляват нейните колеги, че те стават инициатори на “куриозен експеримент” без прецедент във физико-математическата колегия. Поразени от таланта ѝ, те подтикват Нина Пеева да премери сили в конкурсите на Държавното рисуwalно училище – по-късно Художествената Академия. След пет изпита: графика, архитектурен детайл, голо тяло, свободна тема – “обич към земята” и акварел – “на полето”, тя е приета в Академията, класирана 5 по ред. Разбира се, Нина не се записва и я извикват, при което ѝ се налага да обяснява “Аз съм завършила физика и сега съм асистентка на проф. Наджаков...”. Изумен деканът по учебната част ѝ казва, че си погубва таланта и дълго я увещава да се обади на проф. Наджаков, с когото добре се познава, с молба да я освободи от длъжност. Не е известно дали проф. Наджаков е научил за “експеримента” на своята асистентка в Художествената академия и каква е била реакцията му, но А. Пеева остава непреклонна в своето желание да посвети творческите си сили на физиката.

Днес, във връзка с 90-годишнината от нейното рождение ще споменем само, че тя остави след себе си трайна дия и нейната кончина през 2006 г. беше голяма загуба не само за нашата физическа колегия. За повечето физици, химици и математици тя беше просто „Нина”, заради изключителните грижи, усилия и любов при подпомагане на децата сираци от училище „Райна княгиня” в гр. Роман я наричаха „Майка Тереза”, а за децата от дома тя беше просто любимата „леля Нина”. Правеше всичко от сърце – с усмивка и доброжелателност. Талантите и многостранната ѝ дейност бяха оценени при честване на нейната 70-годишнина. В едно „*радостно важно съобщение*”, публикувано в сп. „Светът на физиката”, беше предложено въвеждане на мярка, характеризираща ентузиазма във физиката, носеща нейното име – “един *Nin*”, като за редовите физици се употребяват подпроизводните от нея.

За физиката и за физиците – така извървя житейския си път уважаваната и обичаната от физическата колегия и от бившите си студенти доц. Антония Пеева!

Н. Щърбов

ПРОФ. ДФН НИКОЛА СТЕФАНОВ НИКОЛОВ **(14.02.1930–25.06.2013)**

Напусна ни доайенът на астрономията в Софийския университет професор дфн Никола Стефанов Николов.

От 1953 г. Никола Николов е асистент в Катедрата по астрономия, а от 1967 г. в продължение на 22 години е ръководител на Катедрата. В периода 1974–1978 г. 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.

Проф. Никола Николов създава специализацията по астрономия при Физическия факултет на СУ “Св. Климент Охридски”, което има 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.

Астрономическите изследвания на проф. Николов са отразени в повече от 150 научни публикации в международни и наши издания, 2 монографии и множество доклади, цитирани многократно. Той винаги е отдавал голямо значение на преподаването по астрономия в средното училище. Автор и съавтор е на редица учебници по астрономия за средния курс.

Проф. Никола Николов е известен популяризатор на астрономическата наука у нас. Написал е самостоятелно и в съавторство повече от 15 научно-популярни книги, множество брошури и статии. 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 астрономически институции у нас.

Българската астрономия загуби един виден учен и забележителен преподавател. Ще го помним с признателност.

СРЕЩИ В НЕБЕСАТА

Произход на хаоса и устойчивостта

Флорин Диаку и Филип Холмс

Част трета

Гл. 2. СИМВОЛИЧНА ДИНАМИКА

„Важността, която Биркхоф придавал на символизма в динамиката, става очевидна с това, че последните му статии са посветени на търсене на общия символизъм, характеризиращ динамичните системи“

Марстън Морс [1]

При пристигането си във факултета Джордж Биркхоф намери писмо в пощенската си кутия. Той го очакваше от известно време и гореше от желание да го прочете веднага. Демонстрирайки сдържаност, той напусна факултетската канцелария и отвори пощенския плик едва след като се усамоти в кабинета си. С треперещи ръце разгърна писмото и прочете първото изречение.

Едва се сдържа да не извика от радост. Беше му провървяло. Харвардският университет му предлага професорско място. От тук нататък неговото бъдеще е материално осигурено и той ще има достатъчно време и спокойствие да продължи своите изследвания. Той се надяваше на това от няколко години и сега мечтата му се сбъдна – беше му трудно да повярва.

Джордж Дейвид Биркхоф е на двадесет и седем години, когато получава това писмо в Принстън. Макар и по това време той да работи в Принстън на временна длъжност, ръководството на Университета никак не иска да загуби такъв обещаващ млад човек. След като разбира за проявения към него интерес от Харвардския университет, деканът на факултета, в който работи Биркхоф, му предлага (постоянно) асистентско място. Две години преди това, през 1909 г., Биркхоф е постъпил в Принстън като наставник – длъжност, аналогична на длъжността инструктор в други университети. Така с това повишение той получава заслужено признание. За момента решава да остане в Принстън. А предложението от Харвард ще обмисля отново през следващата година. В края на краищата през 1912 година Биркхоф се премества в Кеймбридж, щата Масачузетс.

Начало на кариерата на неподвижната точка

Биркхоф е роден в семейство на холандски емигранти в градчето Оверизел (щата Мичигън) през 1884 година. От 1896 го 1902 г. учи в колежа Люис, а след това – още една година в Чикагския университет. Степента „бакалавър“ получава през 1905 г. в Харвард. Две години след завръщането си в Чикаго получава и докторска степен (с

отличие). Докторската му дисертация е върху асимптотичните свойства на някои класове диференциални уравнения, зависещи от параметър. Тези изследвания не само са положили началото на забележителната кариера на самия Биркхоф, а са поставили основите на цяла научна школа по динамични системи в САЩ.

Биркхоф е изпитвал огромен респект към достиженията на Поанкаре. Той внимателно е изучил работите по динамика на френския математик. Първият важен резултат на Биркхоф, който му донесъл световна известност, е мотивиран от последната статия на Поанкаре, публикувана през 1912 г.: «Sur un théoreme de géométrie» в италианското научно списание *Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo*.

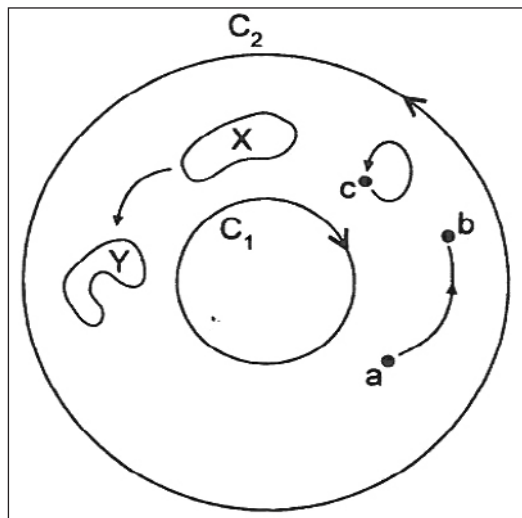


Джордж Дейвид Биркхоф

След прекарана хирургическа операция през 1908 г. изглеждало, че Поанкаре е оздравял и се е възстановил напълно. Но през 1911 г. у него се появило предчувствие, че крайт му наближава. На 9 декември той представил за публикуване в *Rendiconti* незавършен ръкопис. В съпровождащото писмо Поанкаре изразява опасенията си относно задачата, върху която е работил през последните две години: «На възраст като моята аз най-вероятно няма да успея да реша задачата, а получените дотук резултати, които могат да изведат изследователите на напълно неочаквани пътища, ми се струват толкова обещаващи въпреки заблудите, до които ме докараха, и заради които ги оставих настрана».

В тази последна работа Поанкаре е формулирал (без доказателство) следния резултат: *Всяко запазващо площта изображение на пръстен, пренасящо точките от ограничаващите пръстена кръгове в противоположни направления, има поне две неподвижни точки*. За да обясним това твърдение, нека разгледаме пръстен A – област в равнината, разположена между две концентрични окръжности C_1 и C_2 , като пръстенът в равнината, показан на Фиг. 1. Ще дефинираме изображението на пръстена A в себе си като функция, която съпоставя на всяка точка от A друга, единствена точка от A . Например на Фиг. 1 на точката a може да се съпостави точка b . Може също така да се случи дадена точка c да се изобрази в себе си – в такъв случай казваме, че c е *неподвижна точка*, тъй като тя не се премества под действието на изображението. Под действието на това изображение на всяка точка от A се съпоставя нейният образ. Поанкаре е предположил, че даденото изображение е *непрекъснато* в смисъл, че образите на близки точки също са разположени недалече една от друга. Нагледно можем да си представяме пръстена A като лист от гума – изображението само го деформира, без да го разкъсва.

Върху даденото изображение са наложени две допълнителни условия. Първо, то трябва да *запазва площта*, т.е. образът на всяка област да е друга област със същата площ като изходната. На Фиг. 1 например областта X се изобразява в областта Y , като



Фиг. 1. Теорема на Биркхоф
за неподвижните точки

при това двете области са с равни площи. Това е в сила за произволна област от A . Изискването площта да се запазва може да изглежда силно рестриктивно, но класическата и небесната механика изобилстват от такива примери, тъй-като това свойство е свързано със запазването на такива физични величини, като енергията и импулса. Ние вече видяхме каква важна роля е изиграло въпросното свойство в наградения научен труд на Поанкаре. Второто изискване се състои в това, че ако точките от C_1 се пренасят около C_1 в една посока (да кажем, по часовниковата стрелка), то точките от C_2 се пренасят около C_2 в противоположната посока (в случая – обратно на часовниковата стрелка), както са показани

стрелките на фигура 2: в двата случая граничните точки остават по границата. При тези предположения, които казват много малко за това какво точно прави изображението с точките от пръстена, Поанкаре заявява, че съществуват поне *две неподвижни точки*.

По същество Поанкаре е знаел как да покаже, че ако дадено изображение има една неподвижна точка, то непременно съществува и втора, но той не можел да докаже, за начало, съществуването на поне една такава точка. Тази на пръв поглед абстрактна задача е тясно свързана с небесната механика. Съществуването на неподвижни точки, ако изобщо ги има, би му помогнало да установи, че съществуват безкрайно много периодични орбити в задачата за трите тела. Той е изучавал това, което днес наричаме изображения на Поанкаре [1], породени от диференциалните уравнения, описващи задачата (вж. Част 1).

Темата за периодичните орбити е предизвикала у Поанкаре особен онтерес. Тяхното изучаване се явява косвен подход към задачата за устойчивост [2] и начин да се разберат близките орбити. Той е смятал тази тема за изключително важна и се е връщал към нея през целия си живот. В своите «Нови методи ...» [3] той прави следния коментар: «Като цяло изглежда, че този факт не може да представлява практически интерес. Наистина вероятността за това началните условия на движението да съвпадат с тези за периодична орбита, е практически нула. Но може да се случи така, че те да се различават съвсем малко, и това се случва точно тогава, когато старите методи са неприложими. В такъв случай периодичните решения могат успешно да се приемат като първо приближение или, ако се изразим с езика на Гилден, като промеждутъчни траектории». В контекста на периодичните решения хипотезата за неподвижните точки е била единствената естествена стъпка в тази посока, тъй-като (вж. Част 2) неподвижните точки на изображенията на Поанкаре съответстват на периодични орбити на лежащото в основата диференциално уравнение.

Поанкаре умира през юли 1912 година, а неговата последна работа достига до Принстън през същото това лято. За няколко месеца Биркхоф не само успял да разбере изложените в статията идеи, но и да докаже хипотезата на Поанкаре. В края на октомври Биркхоф изнася доклад пред Американското математическо дружество на тема: «Доказателство на геометричната теорема на Поанкаре». В наши дни този резултат носи името *теорема на Поанкаре-Биркхоф за неподвижната точка*.

Биркхоф неведнъж се връща към идеите и статиите на Поанкаре, в частност на тези, свързани с хомоклините траектории. В своята книга «Динамични системи», публикувана през 1927 г., той доказва съществуването на безброй много периодични орбити в добавка към безкрайно многото хомоклини точки (вж. Част 2 от Четивото). Неговите аргументи се отличават с тънкостта си, поради което е трудно да се проследяват. Тук ние няма да се спираме на тях, а ще се прехвърлим направо във втората половина на XX век, за да опишем хубавата идея, която значително е опростила изучаването на плетеници от траектории и е дала възможност по-дълбоко да разберем представата на Поанкаре за хаос.

На плажа в Рио

Нобелова награда по математика не съществува. Алфред Нобел, изобретателят на динамита, е бил практик, ценящ науката и литературата; даже самият е автор на литературни произведения. Изглежда, той не е ценял чак толкова чистата математика, предпочитайки да награждава постижения в по-приложни области. Слуховете за това, че Гьоста Митаг-Лефлер е имал връзка с жената на Нобел, което довело до изключването на математиката от областите, в които се присъжда Нобелова награда, са безпочвени, тъй-като самият Нобел никога не е бил женен. Но все пак съществуват редица свидетелства за личната неприязън между двамата.

Най-голямото отличие в математиката е медалът на Фийлдс, учреден от канадския математик Джон Чарлс Фийлдс – бивш почетен президент на Международното математическо дружество и професор в университета в Торонто, който завързал близко приятелство с Митаг-Лефлер по време на едно от посещенията си в Европа. Именно благодарение на Фийлдс ние разполагаме с информация за този математик и шведския индустриалец. Важна роля при учредяването на тази награда след смъртта на Фийлдс през 1932 г. изиграва и Дж. Л. Синдж [4], негов колега от университета в Торонто (и племенник на ирландския драматург Дж. М. Синдж). По отношение на изключването на математиката от списъка с предмети, за постижения в които се присъжда Нобелова премия, четиридесет години по-късно той пише: “Тук трябва да спомена какво ми каза Фийлдс, в истинността на което се убедих впоследствие при посещението ми в Швеция, а именно: Нобел е ненавиждал Митаг-Лефлер и решил да изключи математиката от списъка с области, за изключителни постижения в които се присъжда Нобелова премия”.

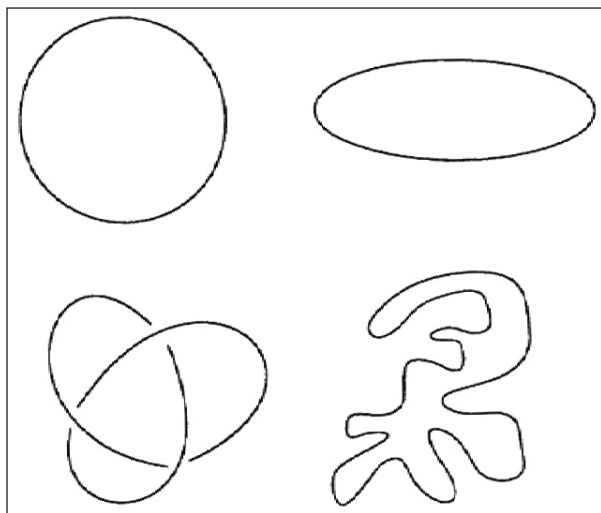
Обикновено премии много рядко се появяват от области, в които се присъждат: като правило даренията, от които се натрупват самите премии, идват от далечни по област



Фиг. 2. Фийлдсовият медал

грес. Съществува широко разпространено убеждение, че ако даден учен не е постигнал изключителни резултати в математиката до четиридесетгодишна възраст, то едва ли би ги постигнал впоследствие. Разбира се, има и изключения: Карл Вайерщрас, един от хората, на които дължим математическия анализ в съвременния му вид и с когото се запознахме в първата част, в течение на четиринадесет години е работил като гимназиален учител. Признание в математическата общност е получил едва през втората половина на своя дълъг живот.

През 1966 г. един от четиримата медалисти, обявени на Международния математически конгрес в Москва, е Стивън Смейл от Калифорнийския университет в Бъркли. Той е получил своя медал за доказателството на една от топологичните хипотези на Поанкаре. Топологията, в която Поанкаре има значителен принос, е област от математиката, работеща с геометрични обекти, които остават инвариантни под действието на *хомеоморфизми*. Какво означава това? Да вземем един геометричен обект, например кръг. Топологията на прави разлика между кръгове, елипси и всякакви други *прости затворени криви* („проста“ означава, че кривата не се самопресича). Всички те пред-



Фиг. 3. Четири топологични „кръга“

източници, какъвто е и случаят с Нобел. Затова не случайно финансовата премия, която лауреатите получават заедно с Фийлдсовия медал, е доста скромна, особено в сравнение с Нобеловите премии. Медалът се присъжда на всеки 4 години, започвайки от 1936 г., на лица, ненавършили 40 години, на Международния математичен кон-

ставляват един топологичен обект. В топологията обектите могат да се разтягат, свиват, огъват или деформират, но като правило не могат да се разрязват или залепят един с друг. Ако се допуска правенето на разрез, например в случая на кръг, то е само за образуването на *възел*, който не може да бъде получен по друг начин и при условие че краищата на разреза ще бъдат залепени отново. От топологична гледна точка кръгът, елипсата и нишка с възли, чиито краища са съединени – това са все „кръгове“ (вж. Фиг. 3).

Тополозите са като мравки:

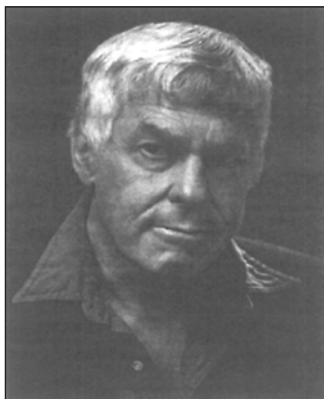
движейки се по кръга, те виждат само локалната структура и не са способни да оценят по какъв начин всичко това е потопено в тримерното пространство. Но в същото време кръгът, който няма начало и край и отсечка, която има, *се смята* за различни топологични категории. Аналогично, двумерната сфера се различава от двумерната равнина. По принцип може да бъде описана сфера с произволна размерност. Хипотезата на Поанкаре (която има прекалено технически характер, за да бъде описвана тук) се отнася до n -мерните сфери и Смейл успял да я докаже за произволни размерности, по-големи или равни на пет. Доказателството в четиримерния случай е получено съвсем наскоро, а за тримерния случай тази хипотеза не е доказана до ден днешен. Това е основната недоказана хипотеза в топологията, ако не и в цялата математика.

Но все пак нашият разказ е за динамиката и хипотезата за сферите я споменаваме само за да илюстрираме как в главата на един човек могат да се срещнат различни области от математиката. Факт е, че когато Смейл е получил наградата, той вече не се интересувал от топологията като такава. Преди това той сменил тематиката си, преминавайки към теорията на динамичните системи, и е работел върху итерации на изображенията. Тази теория била смятана от него за важна не само заради ролята, която играе изображението на първото връщане в изучаването на диференциалните уравнения, но и затова, че изучаването на изображенията позволява да се създаде теория, паралелна на теорията на диференциалните уравнения и в известен смисъл по-проста. Той се надявал да намери начин за пренасяне на резултатите от едната теория в другата. В по-общ смисъл, благодарение на своята ранна, чисто топологична работа той получил нов и мощен поглед над старите задачи от динамиката.

В края на декември 1959 г. Смейл напуснал временната си длъжност в Принстън и заминал за Бразилия заедно с жена си Клара и двете им деца: Лаура, тогава на две години и половина и шестмесечния Натан. Той бил поканен от Маурицио Пейксото [5] да прекара част от втората година на следдокторската си специализация в IMPA – Института по чиста и приложна математика в Рио де Жанейро. Работата на Пейксото по структурна устойчивост още не е била широко известна, пък и самият институт по това време бил съвсем скромнен и се помещавал в неголямата си стара сграда в предградието Ботафого (в следващите години там ще настъпят значителни промени особено когато в Бразилия се връща Жакоб Палис [6], бивш аспирант на Смейл).

Когато семейството се устроило в Рио в квартирата на офицер от военновъздушни сили, който избягал от страната след неуспешния опит за държавен преврат, Смейл започнал да прекарва сутрините из плажовете на Рио с тетрадка и химикалка в ръце. Най-често ходел на плажа Леме, намиращ се в съседство със знаменитата Копакабана. Често към него се присъединявал и Елон Лим – негов приятел от IMPA. Много хора не са способни да работят на обществени места, но Смейл открил, че за него не представлява трудност да се съсредоточава над своята работа. Освен това възможността от време на време да се изкъпе в океана и атлантическият бриз му позволявали дълго време да остане свеж.

Той още не бил запознат с “Новите методи ...” на Поанкаре и не знаел, че ще се



Стивън Смейл (снимка:
Х. Пол Бишоп (мл.)

заинтересува от хомолкинните области, описани в края на книгата. В него момент той работел над едно диференциално уравнение. Малко по-рано той изказал хипотеза относно структурата на неподвижните точки, периодичните орбити и техните устойчиви и неустойчиви многообразия за “структурно-устойчивите” или “типични” диференциални уравнения и изображения. В частност, струвало му се, че такива системи би трябвало да имат само крайни множества от периодични орбити за всяка ограничена област на съответното фазово пространство. Ако в крайна област се съдържат безброй много периодични точки, то част от тях би трябвало да запълват областта достатъчно плътно и тогава всяко малко изменение на изображението безусловно би разрушило тази толкова деликатна структура.

Наистина, Пейкото вече бил доказал това за диференциални уравнения с двумерно фазово пространство.

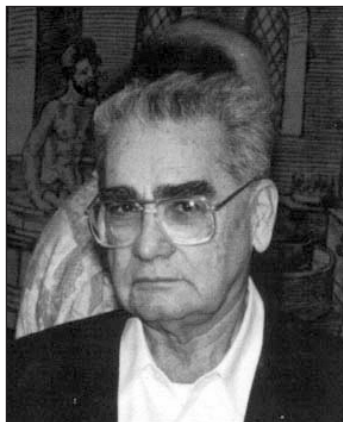
На този етап Норман Левинсън от Масачузетския технологичен институт предложил на Смейл да изучи уравнението на Ван дер Пол, описващо трептенията на електрична верига под действието на периодически променящо се с времето входно напрежение. Това уравнение, наречено в чест на холандския учен, работещ в Електрическите лаборатории на компанията Филипс, в някои отношения напомня уравнението, моделиращо махало под действието на периодична външна сила, което може да има и хаотични решения.

Мери Картрайт и Джон Литвууд от Кеймбриджкия университет, които по времето на Втората световна война се занимавали с разработване на радара, показали, че уравнението на Ван дер Пол може да има безкрайно много едновременно съществуващи периодични решения, както и решения, които Биркхоф нарекъл „разрывно-рекурентни“. В техния подход присъствали и физика, и математика; в статията, описваща получения от тях математически резултат, те отбелязват, че за известно време тяхната вяра в него се е опирала единствено на експерименталните данни, получени при изпитания на електрични вериги, проведени от Ван дер Пол и неговия колега Ван дер Марк. Левинсън опростил тази задача и продължил изследването ѝ в статия, публикувана през 1949 г. в списанието *Annals of Mathematics*.

Още повече това уравнение е частен случай, при това много особен, а хипотезата на Смейл може да се окаже валидна за “болшинството случаи”, но Левинсън смятал, че тя може да доведе и до намирането на контрапример. В края на краищата, ако Смейл е знаел за работата на Поанкаре, то той вече би имал в ръцете си контрапример. Но диапазонът на областта на изследване е толкова богат, че ако човек чете всички статии по даден въпрос, то не би останало време за самото изследване. На учените често се налага да се доверяват на случайни разговори и намеци, изпуснати по време на конференции, за да изберат правилната посока в своите изследвания. Във всеки случай на

Смейл му се наложило да се запознае и с “Новите методи”, и с работите на Биркхоф през следващите няколко години.

Бидейки тополог по образование, Смейл е свикнал да разбира отношенията между дадени математически обекти чрез картинки. Като стимул за неговата интуиция са служили рисунките, които той впоследствие превеждал на строг аналитичен език. В статията на Левинсън, където по същество се разглежда изображението на Поанкаре за уравнението на Ван дер Пол, но в която почти няма картинки, станала за него стимул за рисуване на ивици, за тяхното свиване, разтягане, огъване, а впоследствие и за тяхното пресичане и наслагване, точно както в детска игра. Това не било никак просто, но той с радост се потопил в това занятие.



Маурицио Пейксото (1921)



Жакоб Палис (1940)



Норман Левинсън (1912–1975)

Учените често изпадат в такова настроение по време на решаването на трудна задача. Научната работа изисква изразходването на колосална енергия, време и посвещение. С това не е възможно човек да се занимава дълго време при отсъствие на ентузиазъм. Ако от процеса на откритие се махнат ентузиазмът и радостта, то не остава почти нищо. Преимуществото на математиката се състои в това, че тя е неизчерпаем източник на задачи, с които човек може да се заеме подред, образувайки мост към неизменната недостижима цел. Възможно е, както самата цел прави човека щастлив, така и достиженията, до които той се е добрал по пътя към нея. От такава гледна точка чувството на учения, посветил се на математиката, много прилича на чувството, което изпитва човек, дълбоко вярващ в Бог.

Трептения и въртене

Между времето на Поанкаре и това на Смейл най-известният математик в областта на динамичните системи бил Джордж Биркхоф. След преместването си в Харвард той се захванал с още по-трудна задача от тази за неподвижните точки. Ставайки експерт по работите на Поанкаре по динамика, той се захванал да разбере най-тънките моменти,

с които неговият предшественик не успял да се справи. Между тях са и загадъчните явления, протичащи в околност на трансферзално пресичащи се устойчиво и неустойчиво многообразия за изображението на първия възврат [7]. Както беше описано в първата част, Поанкаре е осъзнавал, че това води до хомоклини множества, но по неговото собствено признание в “Новите методи ...” той не можел нито да ги нарисува, нито да опише свойствата им.

През 1927 г. Биркхоф публикува своя шедевър “Динамични системи”. Както вече отбелязахме, в своята книга той доказва, че в произволна околност на трансферзална хомоклини точка съществуват безкрайно много хомоклини орбити. В символичното описание, измислено от Смейл, това съответства само на *част* от безкрайно множество от периодични редици. Вследствие на това в някои статии и книги включително и в текста [8], един от авторите на който се явява и автор на тази книга, свойствата на хомоклините множества се цитират като *теорема на Смейл-Биркхоф*. Но да не се спомене името на Поанкаре, е все едно да се откъсне дървото от корените му и да се възхваляват само плодовете. В редица по-нови текстове този резултат носи името *теорема на Поанкаре-Смейл*. Но все пак на нас ни се струва, че ще бъде най-справедливо да се цитират и трите имена, както и направихме.

В края на краищата, приносят на Биркхоф в решаването на тази задача е доста по-голям, отколкото си представят болшинството специалисти по динамични системи. През 1935 г. той публикува още една книга със заглавие *Nouvelle recherches sur les systèmes dynamiques* [9]. В четвъртата глава на тази книга той разглежда по-нататъшни следствия от трансферзалното пресичане на инвариантните многообразия. Въпреки това тази книга някак си попада в сянката на предната и затова са малко хората, които са я чели. Фактически Смейл е преоткрил и формализирал много от резултатите, съдържащи се в тази по-късна работа на Биркхоф.

Този факт обаче ни най-малко не намалява забележителния принос на Стивън Смейл по темата. Въоръжен с правилно избрания формализъм и “език” на символичната динамика, Смейл успял да се придвижи много по-напред от предшественика си. За откритието на *подковата* ние сме задължени преди всичко на Смейл независимо от това, че някои идеи, стоящи зад това изображение, както и опити за намиране на символичен език, могат да се видят и в работите на Биркхоф, но последният не успял да намери правилните (математически) думи, за да я опише напълно.

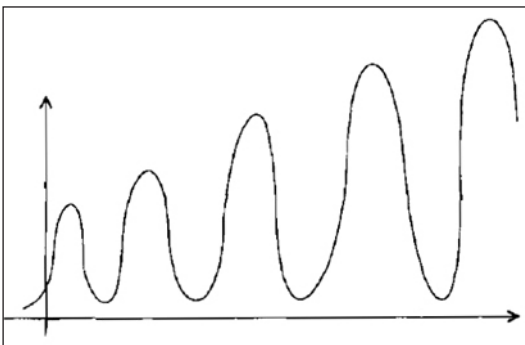
Символичната динамика се оказва полезна далеч не само в този конкретен случай. Сега ще приведем пример за това, как тази техника се използва непосредствено в задачата за трите тела, която, малко или много, е била основният стимул за Поанкаре. В продължение на много дълго време изследователите, занимаващи се с небесна механика, са търсили пример за т.нар. осцилиращи решения, т.е. орбити, които почти успяват да избягат до безкрайността, но непрекъснато се връщат. Да се построи графика на такава функция, не е сложно; една такава графика е изобразена на Фиг. 4. Нека просто разгледаме трептения, които се усилват на всяка стъпка. Тъй като съответната функция приема както малки, така и произволно големи стойности, то тя няма граница, когато

времето клони към безкрайност. Казано просто, тя не може да реши какво в края на краищата иска да направи. Без съмнение, ние можем да нарисуваме всичко, каквото пожелаем, но въпросът: “Съществуват ли орбити в задачата за трите тела с такова безумно поведение”, остава без отговор.

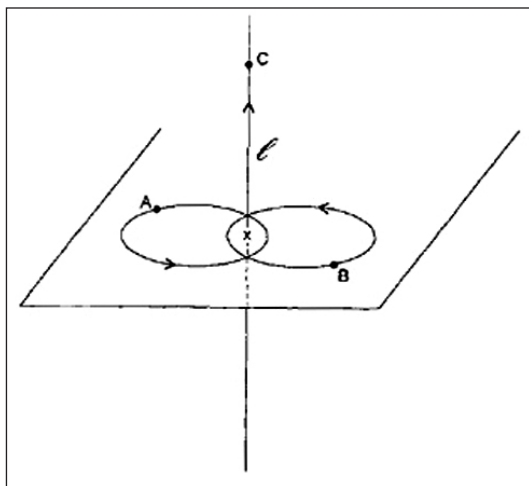
Този въпрос може да изглежда глупав, но неговият отговор би бил доста важен за класификацията на решенията на задачата за n -те тела по тяхното асимптотично поведение. Всяка наука се стреми към класификация и организиране на своите знания и тук математиката не е изключение. Асимптотичните свойства на решенията на диференциалните уравнения (т.е. поведението на системата след много дълго време) може да се разглежда само на теория. Нито един компютър не е способен да следи за орбитите безкрайно дълго, затова само нашата мисъл може да ни отнесе в безкрайността. Специалистите по небесна механика искали да знаят дали такива осцилиращи зверове живеят сред другите, по-нормални типове решения, за които вече знаели.

През 1961 г. руският математик К. Ситников доказал, че такова решение наистина съществува. Вероятно той е узнал за тази задача от А. Н. Колмогоров, макар и по това време Ситников да се занимавал с топология и не бил ученик на Колмогоров. Ситников разгледал две частици, A и B , с равни маси, наречени основни, движещи се в равнината по елипси една около друга, подчинявайки се на законите на Кеплер. След това той взел трета частица C с много малка маса, толкова малка, че нейното гравитационно поле не оказва влияние на движението на A и B . Началните условия са избрани по такъв начин, че C да е ограничена да се движи нагоре-надолу по правата l , перпендикулярна на равнината на двете основни тела и минаваща през центъра на масите им, както е показано на Фиг. 5. В такъв случай хоризонталните компоненти на гравитационното действие на A и B върху C се компенсират точно, така че C може да се движи само нагоре и надолу по вертикална права. Това е още един вариант на *ограничената задача за трите тела*, различна от тази, над която работил Поанкаре.

Ситников показал, че при избор на



Фиг. 4. Осцилираща функция



Фиг. 5. Задачата на Ситников

подходящи начални условия движението е такова, че частицата отначало се издига над равнината на основните тела, а след това се спуска надолу под равнината, увеличавайки всеки път изминатото разстояние. При всяко преминаване през равнината нейната енергия малко се увеличава поради движението на A и B , така че тя може да измине по-голямо разстояние, преди да се върне назад. Основните тела през цялото време се движат по несмутени (непертурбирани) неподвижни елипси, даващи неизчерпаем запас от енергия, който позволява трептението нагоре-надолу да расте неограничено. При това C се връща всеки път, вследствие на което движението ѝ няма граница, когато времето стане безкрайност.

Няколко години по-късно друг руски математик – В. М. Алексеев, ученик на Колмогоров, се върнал към примера на Ситников и с помощта на символичната динамика показал, че в тази задача може да се получи *произволно* решение в зависимост от избора на начални условия. Освен това той показал, че това е в сила и ако частицата C има крайна маса.

Гл. 3. СТЪЛКНОВЕНИЯ ДРУГИ СИНГУЛЯРНОСТИ

Интелектуалната дейност на Поанкаре се отличава с изключителна широта, сила и ефективност в услуга на почти пророческия му ум. Бяха му необходими само няколко години, за да преусее в математиката, механиката и политиката.

Рене Гарние

Камериерът влезе в аудиторията и обяви: „Негово Величество кралят!“. Присъстващите станаха на крака, техният тих шепот притихна. Всички впериха поглед към вратата. Никой не мърдаше.

Тишината бе нарушена от тежките стъпки на висок побелял човек и цялата зала избухна в ръкопляскания. Кралят на Швеция и Норвегия Оскар II влезе в една от най-големите аудитории на Стокхолмския университет. Забележително събитие: кралят присъстваше на уводна лекция в едно от най-престижните учебни заведения на своята страна.

Колко президенти, министър-председатели или държавни глави – бивши или настоящи – са обръщали внимание на публични лекции в някакъв университет? (Тук не става дума за политически кампании или събития от високата научна политика като връчването на почетни степени и подобни, а за обикновени лекции за студенти.) Трудно би се намерил дори един. Дали Негово величество е дошъл него ден за такова обикновено събитие? В някакъв смисъл – да, в друг – не. Един от мотивите за присъствието на краля се крие в собствената му личност, а друг – в личността на лектора: предстоящият доклад представлява нещо повече от една *обикновена* лекция.

Кралят на Швеция и Норвегия Оскар II е един от най-забележителните управници в Скандинавието. Получил образованието си при историка Ф. Ф. Карлсон, Оскар

се качил на престола през 1872 г. след смъртта на по-големия си брат Карл XV. Той бил прекрасен оратор, поет и покровител на изкуствата и науката. Неговото дълбоко уважение към културата, което вероятно е наследил от бившия си наставник, било главната причина за учредяването на премия като тази, която получил Поанкаре, както вече описахме в Глава 1 (вж. Част 1). Освен това през 1882 г. Оскар осигурил финансовата поддръжка за основаването на списание *Acta Mathematica*, в което се появила статията на Поанкаре, и за присъждането на награди на отделни математици. Кралят също така имал навика да кани от време на време в Стокхолм някои от най-известните европейски художници и учени. В този ден, 2 октомври 1895 г., крал Оскар е трябвало да изслуша първата от серията лекции на гостуващия математик.

Когато аплодисментите притихнаха, председателят започна представянето. След обичайните приветствия, адресирани до краля, той представи своя важен гост: “Професор Пол Пруден Пенлеве от Парижкия университет!”. Залата избухна в аплодисменти, когато към катедрата се доближи млад човек и се изправи с лице към аудиторията. През есента на 1895 година Пенлеве още не бе навършил тридесет и две години. Той бил известен като превъзходен оратор. Лекциите, които четял във факултета по естествени науки, нерядко били в препълнени зали. Неговата ерудиция се съчетавала с естествен и директен маниер на изложение на материала, което не се променяло даже в официалния контекст на публична лекция. Да го слуша човек, било остинско удоволствие.

“Ваше Величество – започнал Пенлеве, – тъй-като Ваше Величество бе така добър да почете с присъствието си тази лекция, първият ми дълг е да изразя своята почит и благодарност към Ваше Величество за огромната чест да бъда поканен в Стокхолм да разкажа за последните постижения в анализа. ...Както отбеляза Ваше Величество, главна цел на този курс се явява теорията на трансцендентите и в частност формалните трансценденти, дефинирани чрез диференциални уравнения. Искане ми се да опиша централното място, което тази теория заема през последните години. Това би ми позволило в някаква степен да обясня духа и посоката на съвременната математика”.

Уводните формалности бяха изпълнени и Пенлеве се потопи в света на науката. Той започна с Нютон и Лайбниц, след това мина към законите на Кеплер и показа как идеята за диференциране е довела до създаването на закона за гравитацията и появата на задачата за n -те тела. Накрая той кратко описа работите на Бернули, Ойлер, Клеро, Даламбер и другите пионери в областта на диференциалните уравнения.

В огромната претъпкана аудитория малцина от слушателите имаха някакви познания в тази



Пол Пенлеве (любезно предоставена от Националния център за научни изследвания, Париж)

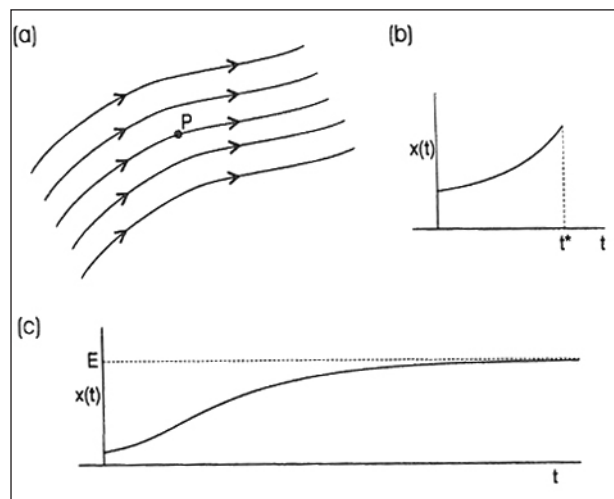
област. Но въпреки това уравновесеният и изящен стил на Пенлеве заплени всички слушатели. Не беше трудно човек да разбере. Той представи същината на трудния материал без скучни математически детайли. В залата не се чуваше ни шепот, ни дъх, слушателите се стараеха да попият всяка дума и да се насладят на всяко изречение. Те бяха просто очаровани.

Взрив от аплодисменти изпълни залата, когато Пенлеве свърши. Самият крал изрази своето възхищение: горд от своето решение да покани Пенлеве в Стокхолм, той се надигна и доволно се усмихна, демонстрирайки своето одобрение. Уводната лекция мина блестящо, както и двадесетте и две следващи лекции.

Исключителен човек

Както гласи второто изречение от първата лекция на Пенлеве, целта на неговия курс е изучаването на така наречените трансценденти, дефинирани с диференциални уравнения. За да разберем тази доста техническа формулировка, преди всичко трябва да обясним понятието *сингулярност (особеност)* на решенията на диференциални уравнения. За това, ще се върнем към метафората с течащата вода, описана в предната глава (вж. Част 1). Там ние предположихме, че векторното поле, определено от диференциалното уравнение, напомня на течението на река, носеща по повърхността си плуващи дървета (отделните решения). Понякога пръчка или клонче може да се доближи до брега или да бъде изхвърлена на него; аналогът при векторното поле се

състои в това, че в даден момент от време решението напуска фазовото пространство – то буквално спира да съществува. С прости думи в такъв случай казваме, че то се *взривява (отива в безкрайност)* за *крайно време*, тъй като често престава да съществува, става безкрайно голямо: просто отива в безкрайността. Освен това то може да срещне препятствия във фазовото пространство. В нашия пример с падащото топче (вж. Част 1, стр. 119) физическо препятствие се явява земната повърхност при $h=0$ (Фиг. 1.1, Част 1). Освен това се допускат само положителни стойности на височината (положението), затова фазовото пространство се състои не от цялата равнина, а само от дясната си полуравнина,



Фиг. 6. Орбитата C се спира в точката P . На точката P съответства сингулярност t^* . На фиг. (a) е изобразен фазов портрет, а на фиг. (b) – сингулярно решение като функция на времето. На фиг. (c), напротив, е изобразено друго решение, което се доближава до положението на равновесие

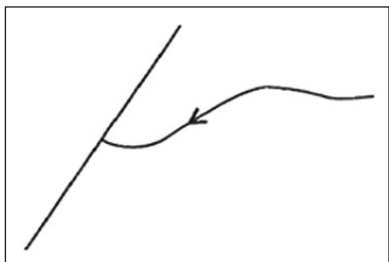
съответстваща на произволни скорости (положителни и отрицателни) и само на положителни стойности на височината. В дадения случай линията $h=0$ играе ролята на брега на реката, когато при падането си топчето я достига, решението престава да бъде определено. (Ние бихме могли да добавим модел, описващ как топчето отскача от Земята. Това обаче би изисквало разглеждането на въпроси, свързани с еластичността на топчето и динамиката на удара, и биха ни извели извън рамките на нашият “прост” Нютонов свят.)

Сингулярностите също могат да възникнат в отделни точки на фазовото пространство, както е показано на Фиг. 6. Изобщо казано, ако решението не е дефинирано за всички стойности на времето t и заедно с това спира в някакъв краен момент от време t^* , то ще наричаме t^* *сингулярност* на съответното решение.

Преди да продължим обсъждането, ще се спрем на съществена разлика между решенията, имащи сингулярности, и решенията, които клонят към точката на равновесие на потока (вж. Част 1). Фигури 8 и 1.6 от част 2 ни показват, че и двете решения свършват в определена точка, но тези изображения на фазовото пространство не показват явно факта, че първото решение спира за крайно време, а на второто е необходимо безкрайно време за да достигне границата си в точката на равновесие. За да се почувства разликата, са необходими графики на решенията като функция на времето, показани на Фиг. 6 (b) и (c). В единия случай кривата спира в момента от време t^* , а в другия е дефинирана през цялото време.

За да обясним какво е разбирал Пенлеве под трансцендент, първо следва да отбележим, че могат да се появят и “илюзорни” сингулярности. В нашето метафорично равнение пръчката може да се доближи до брега само за да се отхвърли мигновено от него поради някаква особена форма на самия бряг. Такава сингулярност математиците наричат регуляризуема, подразбирайки под това, че решението може да се продължи след момента от време t^* . В този случай казваме, че сингулярността може да се отстрани. Пръчката продължава отново да плува по течението, докато не срещне ново препятствие: нова сингулярност. Съществена (трансцендентна) сингулярност Пенлеве нареклъ неотстраняемата сингулярност. По определение едно решение не може да бъде продължено зад неотстраняемата сингулярност t^* . В задачата за n -те тела сингулярности възникват, когато се случат удари между две и повече частици, както ще видим съвсем скоро. Ако движението на сблъскващите се частици може да се продължи по смислен начин след удара, то сингулярността е отстраняема, в противен случай тя е трансцендентна.

В своите стокхолмски лекции френският математик представил сложната тема за сингулярностите и в частност за трансцендентите. При аналогията с река всичко изглежда просто, но в случая на диференциални уравнения сингулярностите могат да създадат немалко проблеми. Пенлеве класифицирал много различни случаи, създал нови методи за тяхното изучаване и получил множество интересни резултати. В качеството на централна област на приложение той разгледал задачата за n -те тела. Естествено, първо възниква въпросът: “Наистина ли в тази класическа задача възникват сингулярности и ако да, какъв им е физическият смисъл?”.



Фиг. 7. Орбита, достигаща хиперравнина, която задава ударите в задачата с праволинейно действаща централна сила

Очевиден пример за сингулярност в задачата за n -те тела е *двойният сблъсък*. В момента от време t^* двете частици съвпадат, имат еднакви координати. Множеството от точки във фазовото пространство, имащи общи координати, се нарича *хиперповърхнина*. В частност, когато фазовото пространство е равнина, хиперравнината е просто права като тази, за която $h=0$ на Фиг. 1.1а от Част 1. Такъв прост случай е възможен само в задачи с праволинейно действаща централна сила, когато едно от телата се движи към/или от центъра по неподвижна права линия. Колкото до падащото топче, двете координати във фазовото пространство са положението и скоростта на движещата се частица относно центъра. Тъй като в закона на Нютон за гравитацията силата е обратнопропорционална на квадрата на разстоянието, а при сблъсъци разстоянието между частицата и центъра става равно на нула, то силата става безкрайна, а уравненията, описващи движението, повече нямат смисъл. Следователно линията с нулева координата на положението, определяща сблъсъка, служи за препятствие пред орбитите във фазовото пространство. Когато орбитата я достигне, няма очевиден начин как да продължи или да се хлъзне по нея (Фиг. 7).

Същото се случва и при двойни удари между частици, както и при тройни, четворни и пр. удари. Препятствия във фазовото пространство създават също така и *едновременните удари*. Пример за такъв сблъсък е *свързаният двоен удар*, когато в една точка от фазовото пространство се удрят две частици и едновременно с това в друга точка на фазовото пространство се удрят други две. Макар и такива събития да са много малко вероятни, ние сме длъжни да ги разбираме, ако искаме да получим *пълно описание на задачата за n -те тела*. Освен това подобно на камъка, хвърлен във вода, от който се разпространяват кръгове, така и сблъсъците влияят на структурата на фазовото пространство в цяла околност на сингулярните точки.

Ние отчасти отговорихме на поставените по-горе въпроси. Приведохме примери за сингулярности и разбрахме физическия им смисъл. Но както обикновено се случва в науката, всеки отговор поражда нови въпроси. Сега трябва да попитаме дали ударите се явяват съществени или само отстраними сингулярности. Освен това можем да се поинтересуваме явяват ли се ударите единствените възможни сингулярности в задачата за n -те тела. Това е доста сложна задача и Пенлеве не успял да я реши в хода на своите лекции. Той отчасти отговорил на втория въпрос, доказвайки, че *в задачата за трите тела единствените сингулярности се явяват сблъсъците*. Той опитал да обобщи този резултат за повече от две тела, но претърпял неуспех.

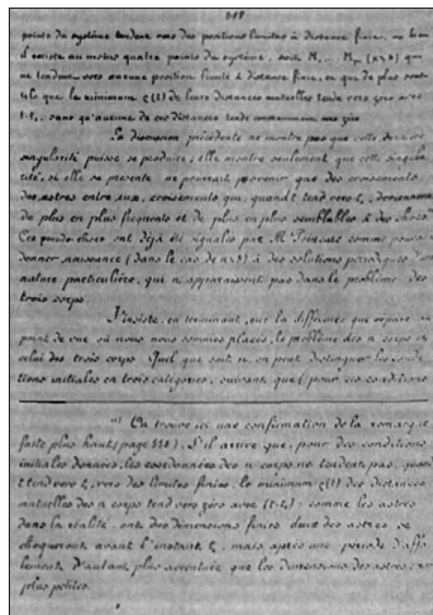
Хипотезите стимулират развитието на математиката. В своите изследвания математиките понякога интуитивно чувстват, че знаят правилния отговор на даден въпрос, но въпреки продължителните опити не могат да го докажат. Тогава като правило те изказват

хипотеза, т.е. ясно формулират какъв трябва да бъде правилният отговор по мнението на автора. Колкото по-дълго време една хипотеза остане без доказателство или опровержение, толкова по-известна може да стане. Хипотезите са особено важни, ако от тяхното изясняване зависят ключови резултати в дадена област. Опитите да се решават такива задачи може да стимулират ръста на цели раздели от математиката или да доведат до появата на нови. Ние вече споменахме за хипотезата на Поанкаре за n -мерните сфери, отбелязвайки, че главната нерешена хипотеза в топологията си остава тримерният случай.

Може би най-знаменитата хипотеза в цялата математика е последната теорема на Ферма, наречена в чест на Пиер дьо Ферма – френски юрист, който я записал в полето на книга (и заявил, че я е доказал) преди повече от 300 години. Ферма твърди, че не съществуват (ненулеви) цели числа a , b и c , удовлетворяващи: $a^n + b^n = c^n$, ако n е цяло число, по-голямо от две. През 1993 г. цялата математическа общност била възбудена от заявлението на Ейндрю Уайлс от Принстънския университет за това, че той доказал теоремата на Ферма, но в хода на болезнения процес на рецензия и проверка е намерен пропуск в доказателството. През 1994 г. Уайлс и неговият бивш ученик Ричард Тейлър успели да запълнят този пропуск. За осемте години, проведени в борбата с тази задача, Уайлс въвел нови идеи, които отиват далеч извън рамките на частния случай на Ферма. Правейки това, той приближил геометрията към теория на числата. Този факт свидетелства за още една ценна особеност на хипотезите: те привличат вниманието към отделни области, концентрирайки върху тях усилията на талантиливи хора, но светлината, с която сияе полученото от тях решение, нерядко осветява значително повече, отколкото конкретната задача.

Хипотезата на Пенлеве е за сингулярностите, различни от сблъсъци. Тя гласи, че за n , по-голямо от три, съществуват решения със сингулярности, които не са породени от удари. На последната, петстотин петдесет и осма страница от своя ръкопис на стокхолмската си лекция, написан с доста скрупулозен почерк, Пенлеве изразил в едно изречение своята идея за това, как може да се появи такова решение. Частиците биха извършвали резки трептения, приближавайки се към сблъсък, след което се разсейвали, за да дойдат обратно и още по-близо до точката на сблъсък, и този процес се повтарял отново и отново за краен интервал от време. Но все пак той не могъл да докаже, че такъв сложен танц е възможен в задачата за n -те тела.

Пенлеве нищо повече не казал за такова



Фиг. 8. Хипотезата на Пенлеве в ръкописа на Стокхолмските му лекции (любезно предоставена от Националния център за научни изследвания, Париж)

движение и добавил само, че по-рано Поанкаре е споменавал за такива възможни *псевдоудари*; но нито къде, нито в какъв контекст не е ясно, тъй-като никакъв цитат по този въпрос не е даден. Възможно е тази идея никога да не е била публикувана, а само да е възникнала при разговорите на двамата парижки математици. При това днес тази хипотеза носи името на Пенлеве и за изминалото столетие оттогава тя послужила като стимул за много достижения, които ще разгледаме в тази глава.

Скоро след стокхолмската си лекция Пенлеве се отдалечил от математическата си дейност. През 1897 г., когато се гледало делото на капитан Драйфус, той влязал в политиката и без да забравя за математиката, достигнал до най-високите нива на френското правителство. Избран за депутат от пети Парижки район и преизбран през 1914 г., той станал министър на общественото образование в периода 1915–1916 г. в правителството на Аристид Бриан. На 20 март 1917 г. Пенлеве получил длъжността военен министър и през септември същата година станал министър-председател. През ноември същата година му се наложило да напусне поста си заради конфликт с „левите“. През 1924 г. в качеството си на председател на депутатската палата след оставката на Александер Милиеран Пенлеве се възкачил на поста президент на Франция. Той не е бил избран, но в периода от април до ноември 1925 г. отново станал министър-председател. През октомври и ноември същата година заемал и длъжността министър на финансите. Между 1926 г. и 1929 г. длъжността военен министър отново попаднала в ръцете на Пенлеве в правителствата на Аристид Бриан и Раймонд Поанкаре (по-млад братовчед на Анри). През 1927 г. е награден от Кеймбриджкия университет със званието *Doctor Honoris Causa*. През 1933 г. Пенлеве отново бил избран за депутат, преизбран още веднъж през 1932 г., а от 1930 г. до самата си смърт през 1933 г. той служил като министър на въздушните сили при три различни правителства. Гробът му се намира в Пантеона заедно с гробовете на други политически, военни и научни лидери на Франция.

Стълкновения или отиване в безкрайността

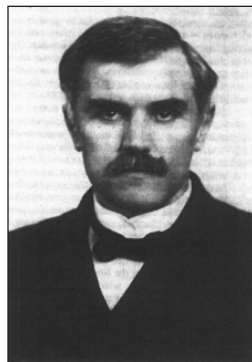
По време на уводната лекция на Пенлеве в ъгъла на аудиторията седеше два-сетгодишен студент. Видяното и чуто му направиха силно впечатление. Макар и да не разбираше изцяло лекцията, това събитие се оказа решаващо за целия му по-нататъшен живот. Младият човек се нарича Едуард Хуго фон Цейпел. Внук на немски емигрант, роден в Швеция, той обичаше математиката и астрономията, а курсът на Пенлеве беше удачно съчетание и на двете. Напълно възможно е идеята да изучава задачата за n -те тела да го е посетила по време на визитата на Пенлеве в Стокхолм. След няколко години, през 1904 г., Фон Цейпел получил степента доктор на науките в университета в Упсала, защитавайки дисертация на тема периодичните решения на задачата за трите тела. След това му се удала рядка възможност: бил поканен да учи в Париж – по това време научната Мека. През юни 1904 г. той пристигнал в разкошната френска столица, където успял да прослуша курса на Поанкаре по небесна механика и този на Пенлеве по рационална (аналитична) механика. Тези курсове възродили неговия интерес към сингулярностите в задачата за n -те тела. Заинтригувала го възмож-

ността за съществуване на сингулярности, които не са обусловени от сблъсък. Как би изглеждала съответната траектория? Какво са мислили неговите учители, изказвайки хипотеза за такова бурно поведение.

Научното изследване започва, когато нещо не е ясно. През по-голямата част от живота си ние вървим по утъпкани пътеки и узнаваме само това, което са изпитали и обяснявали други хора. Но природата ни е надарила с безценно качество – любопитството и родовият стремеж към неизвестното. За два милиона години еволюция хората са трансформирали този дар от природата във високоорганизирана интелектуална дейност, която днес наричаме изследване. Ние сме се научили да намираме различни методи, да ги прилагаме в различни области на живота и от сравнително скоро и в науката, стремейки се да разберем всяка тънкость. Освен това именно първичният стимул – любопитството, ни дава сила да преодолеем трудните моменти в нашето търсене на разбиране. Точно тази сила е движела и Едуард фон Цейпел в първите десет години на XX век.

През септември 1906 г. Фон Цейпел напуснал Париж и се върнал в Швеция. Той се прибрал у дома набрал научен опит и готов за сражение с трудни задачи. Искал да стигне по-далече от Поанкаре и Пенлеве, възнамерявайки да доведе до край решението на въпроса със сингулярностите. Две години след връщането си, през май 1908 г., той публикувал статия на френски език със скромното заглавие „Върху сингулярностите на задачата за n -те тела”. На по-малко от четири страници той твърди и доказва, че *за да има решението сингулярност, необусловена от сблъсък, е необходимо движението на дадена система да стане неограничено за крайно време*. Грубо казано, полученият резултат означава, че ако решението е сингулярно, то би довело до сблъсък или до отиване в безкрайността за крайно време.

За да се проясни това, нека го обясним по друг начин. Фон Цейпел заявил, че ако всички разстояния между частиците останат крайни, то единствените възможни сингулярности се явяват ударите. Затова за възникването на сингулярности, необусловени от сблъсък, разстоянието между (поне) две частици трябва да стане неограничено. То не трябва да е безкрайно в смисъл, че частиците са разделени завинаги; те могат да извършват трептения напред-назад, така че с всяко следващо трептение амплитудата да се увеличава, ставайки неограничена, почти както в ограничената задача на Ситников за трите тела, описана във втората глава. Но за да бъде сингулярност, всичко това трябва да се случи в краен интервал от време. Следва да отбележим, че Фон Цейпел не е доказал, че сингулярности, необусловени от сблъсък, *наистина съществуват*. Той само описал какво би се случило, ако те съществуваха. Неговият резултат казва, че при отсъствието на гореописаното поведение всички сингулярности са непременно удари. Прогресът в математиката обикновено се случва на малки стъпки, точно както тук. Фон Цейпел е установил връзка между



Хуго фон
Цейпел (любезно
предоставена от
библиотеката на
Университета в
Упсала)

сингулярностите, необусловени от сблъсък, и осцилиращите решения, показвайки, че те са неразделно свързани, и затова е достатъчно да се изучи само едно от тези явления.

Този резултат има интересна история. През 1920 г. френският астроном Жак Шази публикува в *Comptes rendus hebdomadaires* статия, в която претендира за същия резултат, без доказателство и без да цитира Фон Цейпел. В първото издание от 1941 г. на книгата на Аурел Уинтнер „Аналитични основи на небесната механика“ статията на Фон Цейпел се цитира, но е казано, че в доказателството има бели петна и неговата справедливост е съмнителна. Подробно доказателство се появи през 1970 г., когато Ханс Шперлинг от центъра за космически полети „Маршал“ в Хънтсвил преодолява всички трудности в задачата, използвайки идеи, подобни на тези на Фон Цейпел. Изглеждаше, че този въпрос е приключил. Но през 1985 г. Ричард Мак-Гихи от университета в Минесота провел своя творчески отпуск в института „Митаг-Лефлер“ в Стокхолм. Той намерил статията на Фон Цейпел, публикувана в малко известно шведско списание и пазаща се в библиотеката на института, и внимателно я прочел. Мак-Гихи разбрал, че доказателството на Фон Цейпел наистина е правилно, и го превел на съвременен математически език, по-достъпен за днешните специалисти. През 1986 г. той публикувал статия, в която установил истината и приоритета на Фон Цейпел в получаването на този резултат.

След 1910 г. интересите на Фон Цейпел леко се изместили към по-практични аспекти на небесната механика, свързани с астрономията. Той написал статия за методите на теория на пертурбациите, приложил знанията си в изучаване на движението на астероиди и комети и накрая се захванал с астрофизически изследвания на строежа и еволюцията на звездите. През 1915 г. Фон Цейпел е избран в Шведската кралска академия на науките, а четири години след това – за професор по астрономия в университета в Упсала. През 1920 г. Митаг-Лефлер помолил Фон Цейпел да напише статия за специалния том на *Acta Mathematica*, посветен на живота и работата на Поанкаре. Фон Цейпел написал статия от седемдесет и пет страници за работите на Поанкаре по небесна механика. Този факт свидетелства за високата репутация на Фон Цейпел, тъй като статиите в този том на списанието са писани само от избрани хора: Апел, Адамар, Лоренц, Пенлеве, Планк и Вин. От 1926 г. до 1935 г. Фон Цейпел е бил председател на Шведското астрономическо дружество, а от 1931 г. до 1948 г. оглавявал националния комитет по астрономия. През 1930 г. неговата кариера се увенчала с връчването на Морисънова награда от Нюйоркската академия на науките за приноси в теорията за строежа и еволюцията на звездите.

Теоремата на Фон Цейпел изиграла фундаментална роля в историята на хипотезата на Пенлеве, въпреки че била негова ранна работа и се намирала извън областта му на научни интереси в по-зрелия му период. Много хора вярвали, че тази теорема служи за добър аргумент *против* съществуването на сингулярности, необусловени от сблъсък. По какъв начин „затворена“ система може да получи достатъчно енергия, за да стане неограничена за крайно време? (Тук има една важна разлика с ограничената задача на Ситников за трите тела, в която за неизчерпаем източник на енергия служат устойчиво въртящите се по орбитите си основни тела, тъй като сме предположили, че третото, малкото тяло не влияе на движението им.) Да се отговори на този въпрос,

било сложно и вниманието, отделяно на тази задача, се преместило на други задачи. През шестдесетте години на тази тема отново обърнаха внимание двама американски математици: Доналд Саари (понастоящем професор в Северозападния университет) и неговият бивш научен ръководител Хари Полард (от университета в Пурду). Приблизително по същото време група учени, занимаващи се със съвсем други въпроси, направили числени експерименти. Ще опишем тези опити, а след това ще се върнем към работата на Полард и Саари.

Бележки:

[1] Изображението на Поанкаре е известно още като изображение на първото връщане. Вж.: Част 2. – *Бел. прев.*

[2] Задача за устойчивост тук се разбира в нейния широк смисъл: да се определи дали и колко дълго с времето две близки в даден момент решения (орбити) биха останали достатъчно близки. – *Бел. прев.*

[3] Henri Poincaré, *Les methodes nouvelles de la mécanique céleste*, t.1-3, Paris, Gauthier-Villars et fils, 1897-99. Руски превод: А Пуанкаре – *Новые методы небесной механики*, тт. 1-3, в: А Пуанкаре, *Избранные труды*, тт. 1-2, Москва, Наука, 1971-72. – *Бел. прев.*

[4] Джон Лайтър Синдж (1897–1995) – ирландски физик и математик, получил важни резултати по класическа механика, геометрична оптика, механика на флуидите, кинетична теория на газовете и обща теория на относителността. Той е един от първите учени, изучавали вътрешността на черните дупки (Шварцшилдов вакуум). – *Бел. прев.*

[5] Маурисио Пейксото (р. 1921) – бразилски инженер и математик с важни резултати по теория на динамичните системи. Негови са основополагащите работи по т.нар. структурна устойчивост на динамичните системи. – *Бел. прев.*

[6] Жакоб Палис (р. 1940) – бразилски математик, работещ в областта на динамичните системи и теорията на диференциалните уравнения. Основните му резултати са за устойчивост на динамичните системи, теория на бифуркациите и теория на хаоса. Президент на Международния математически съюз (1999–2002). Тук в оригинала е допусната неточност – написано е, че Палис е състудент на Смейл вместо негов докторант. – *Бел. прев.*

[7] Тук под трансферзално се разбира пресичане в общо положение: казваме, че една права пресича трансферзално дадена равнина, ако я пробоща (под произволен ъгъл). Например допирателните към равнината я пресичат, но не трансферзално (т.е. не я пробощат). – *Бел. прев.*

[8] Става дума за книгата: J. Guckenheimer and P. Holmes, *Nonlinear Oscillations, Dynamical Systems and Bifurcations of Vector Fields*, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New-York, 1994 // Руски превод: Дж. Гукенхеймер, Ф. Холмс, *Нелинейные колебания, динамические системы и бифуркации векторных полей*. Ижевск, Изд. „РХД“, 2002 – *Бел. прев.*

[9] Нови изследвания по динамични системи, *фр.* – *Бел. авт.*

Превод със съкращения: **Георги Граховски**
(Florin Diacu and Philip Holmes, **CELESTIAL ENCOUNTERS – The Origins of Chaos and Stability**, Princeton Univ.Press. Princeton, New Jersey, 1996)

ИЗИСКВАНИЯ КЪМ ПОСТЪПВАЩИТЕ МАТЕРИАЛИ

Изпращането на статиите до редакцията става на адрес: worldofphysics@abv.bg с прикачени файлове. Получаването на файловете се потвърждава с обратен и-мейл. При условие че не сте получили потвърждение до 10 дни, съществува възможността Вашата статия да не е получена и следва да изпратите файловете отново.

Редакционната колегия може да откаже да публикува или да върне за неизбежни корекции статиите, които по преценка на представящия редактор или главния редактор не отговарят на основните изисквания за научност, оригиналност и стил на изложението.

Материали, които вече са публикувани някъде или са под печат в друго списание, няма да бъдат публикувани.

Публикуването на представените материали се определя от препоръките на рецензентите.

Редакторите могат да редактират ръкописите, когато това е необходимо.

Публикуването в това списание е безплатно за авторите.

УКАЗАНИЯ КЪМ АВТОРИТЕ

Статиите да не надхвърлят 10–15 страници (респективно снимки, фигури).

За текста и таблиците може да се използва Word или Writer.

1. Текстът да няма специално оформление (освен болдове, курсиви и главни букви):

– да е **без колони**, да няма **нищо в табличен вид** (освен ако не става въпрос за таблици);

– да няма табулации за нов ред;

– разделянето примерно на формула и след нея номер да става с табулация, а не с многобройни интервали;

– изобщо да не се използват интервалите като средство за някакво оформление.

2. Задължително целият текст да е **редактиран и веднъж коригиран** с нанесени корекции във файла (което означава внимателно прочетен, в резултат на което да няма печатни и правописни грешки).

3. **Бележките под линия** да не са оформени като footnote, а да са накрая на съответния материал.

4. **Фигурите** да са на отделен файл с отбелязано място в самия файл за местоположението им. Ако са сваляни от интернет, да бъдат с голям размер. Снимките и фигурите да са в Grayscale, резолюцията им да е поне 250 пиксела.

5. **За отстъп** при нов ред да се използва First line Indent, а не табулация. Отстъпът да е 1 см.

6. **Заглавието** на статията да е преведено на английски.

7. Материалът да е придружен с **информация за автора** (на отделен файл) – име, длъжност, месторабота, академично звание, научна степен, контакти.

8. **Използваната литература** трябва да съдържа литературни източници, които са достъпни за проверка.

**ИЗДАВАНЕТО НА НАСТОЯЩИЯ БРОЙ ОТ СПИСАНИЕТО ПРЕЗ 2013 Г.
Е С ФИНАНСОВАТА ПОДКРЕПА НА
ФОНД „НАУЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ“
ПРИ МИНИСТЕРСТВОТО НА ОБРАЗОВАНИЕТО,
МЛАДЕЖТА И НАУКАТА**

Нашите автори:

Ив.Тодоров – академик, ИЯИЯЕ, БАН

Д.Динев – доц., д-р, ИЯИЯЕ, БАН

Фр.Дайсън – И-тут за авангардни изследвания, Принстън, САЩ

Р.Дж.Глаубер – У-тет Харвард, САЩ

Ж-М. Леви-Люблан – У-тет Ница, Франция

В кн. 4/2013 г. на “Светът на физиката” четете:

Ив.Тодоров – Л. Болцман и втория закон на термодинамиката

С.Кирилова, Ю.Генова – Методи за формиране на липидни везикули

Н.Балабанов – От лейтенант в армията до маршал в науката

В.Борисов – Дж.Кистяковски: в Харвард, Лос-Аламос и Белия дом

К.Ясперс – Из „Духовната ситуация на времето”: Науката

Ф.Диаку, Ф.Холмс – Среци в небесата, четиво с продължение – IV част

СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА 3'2013

СЪДЪРЖАНИЕ

НАУКАТА

- И. Тодоров – Лудвиг Болцман и вторият закон на термодинамиката
- Д. Динев – Радиоактивните снопове – нов мощен инструмент на ядрената физика

НОБЕЛОВИ ЛЕКЦИИ

- Р. Дж. Глаубер – 100 години кванти на светлината

НАУКА И ОБЩЕСТВО

- Ж. Леви-Льоблон – Да върнем науката на мястото ѝ в културата: от епистемологичната криза към изискванията на етиката
- Л.И.Пономарьов – Атомната енергия и човекът
- Наградите за фундаментална физика на фондация „Милнер“ за 2013 г.

НАУКА И МЕТАФИЗИКА

- Б. Паскал – Несъразмерността на човека

ИСТОРИЯ

- А. Габович – Мариан Смолуховски и Брауновото движение
- Ф. Дайсън – Ролята на Чандрасекар в науката на XX век

ФИЗИКА И ОБУЧЕНИЕ

- Г. Семовски – Наистина ли имат място нестандартните задачи в обучението по природни науки в България

КНИГОПИС

- И. Лалов – „Проф. д-р Елисавета Карамихайлова – първият български ядрен физик“
- Н. Ахабабян – Атомната физика на социалния живот
- Пътешествие в света на съвременната физика

СЪЮЗЕН ЖИВОТ

- А. Петров – Международна олимпиада по физика, благодарствено писмо

PERSONALIA

- 90 години от рождението на доц. Антония Пеева

IN MEMORIAM

- проф. Никола Ст. Николов

ЧЕТИВО С ПРОДЪЛЖЕНИЕ

- Фл. Диаку, Ф. Холмс – Среци в небесата – част трета

THE WORLD OF PHYSICS 3'2013

CONTENTS

THE SCIENCE

- I. Todorov – Ludwig Boltzmann and the second law of thermodynamics257
- D. Dinev – Radioactive beams – new powerful instruments270

NOBEL LECTURES

- Roy J. Glauber – One hundred years of light quanta281

SCIENCE AND SOCIETY

- J. M. Lévy-Leblond – To revert culture to its former position in science291
- L. Ponomariov – Atomic energy and humankind303
- The 2013 „Milner“ reward for fundamental physics.....314

SCIENCE AND METAPHYSICS

- B. Pascal – The disproportionate man318

HISTORY

- A. Gabovitch – Marian Smoluchovski and the Brown motion.....323
- F. Dyson – Chandrasekhar's role in 20th century science.....334

PHYSICS AND EDUCATION

- G. Semovski – Really is there room for non-standard problems in the natural science education?345

BIBLIOGRAPHY

- I. Lalov – Prof. Elisaveta Karamikhajlova – the first Bulgarian nuclear physicist.....348
- N. Ahababian – The atomic physics of the social life.....351
- A travel in the world of modern physics356

UNION LIFE

- A. Petrov – International Olympiad in Physics, thank-you letter.....358

PERSONALIA

- 90th anniversary of associate professor Antonia Peeva359

IN MEMORIAM

- Prof. Nikola St. Nikolov363

SERIAL

- F. Diacu and Ph. Holmes – Celestial encounters – part III364

СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА

ТОМ XXXVI, кн. 3, 2013 г.

Издание на Съюза на физиците в България

<http://old.inrne.bas.bg/wop/>

(със спомоществателството на Българска академия на науките)

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

ГЛАВЕН РЕДАКТОР

Нъшан Ахабабян <nashan.ahababian@gmail.com>

ЗАМЕСТНИК ГЛАВЕН РЕДАКТОР

Михаил Бушев <m_bushev@abv.bg>

Олег Йорданов <oleg.yordanov@gmail.com>

ОТГОВОРЕН СЕКРЕТАР

Милен Замфиров <worldofphysics@abv.bg>

ЧЛЕНОВЕ

Валери Голев <valgol@phys.uni-sofia.bg>

Георги Граховски <grah@inrne.bas.bg>

Людмил Вацкичев <Lyuvats@phys.uni-sofia.bg>

Никола Балабанов <balabanov_n@abv.bg>

Светослав Рашев <rashev@issp.bas.bg>

Ганка Камишева <gkamish@issp.bas.bg>

ТЕХНИЧЕСКИ СЕКРЕТАР

Снежана Йорданова <upb@phys.uni-sofia.bg>

ВОДЕЩ БРОЯ: Валери Голев

EDITORIAL STAFF

EDITOR-IN-CHIEF

Nashan Ahababjan

VICE EDITOR-IN-CHIEF

Michael Bushev

Oleg Yordanov

EXECUTIVE SECRETARY

Milen Zamfirov

MEMBERS

Valeri Golev

Georgi Grahovski

Liudmil Vatzkitchev

Nicola Balabanov

Svetoslav Rashev

Ganka Kamisheva

TECHNICAL SECRETARY

Snejana Iordanova

АДРЕС НА РЕДАКЦИЯТА:

1164 София,

Бул. Джеймс Баучер № 5

☎ 862 76 60

e-mail: worldofphysics@abv.bg

EDITORIAL OFFICE ADDRESS:

5, James Bouchier Blvd,

1164 Sofia

ПРЕДПЕЧАТНА ПОДГОТОВКА: Д. Денчева

КОРЕКТОР: Нина Джумалийска

Дадена за печат на 15 октомври 2013 г.

ПЕЧАТНИЦА „ГИТАВА“ — СПОНСОР НА „СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА“

бул. Цариградско шосе 72

ISSN: 0861-4210