

СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА

том XXXIII, кн. 3, 2010 г.

Издание на Съюза на физиците в България

http://old.inrne.bas.bg/wop/wop_3_2010/

(със спомоществателството на Българска академия на науките)

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

ГЛАВЕН РЕДАКТОР

Нъшан Ахабабян <ahabab@inrne.bas.bg>

ЗАМЕСТНИК ГЛАВЕН РЕДАКТОР

Михаил Бушев <m_bushev@abv.bg>

ОТГОВОРЕН СЕКРЕТАР

Милен Замфиров <worldofphysics@abv.bg>

ЧЛЕНОВЕ

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

Георги Граховски <grah@inrne.bas.bg>

Динко Динев <dinnet@inrne.bas.bg>

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

Никола Балабанов <Balaban@pu.acad.bg>

Олег Йорданов <oleg.yordanov@gmail.com>

Светослав Рашев <rashev@issp.bas.bg>

Ганка Камишева <gkamish@issp.bas.bg>

ТЕХНИЧЕСКИ СЕКРЕТАР

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

ВОДЕЩ БРОЯ: Георги Граховски

EDITORIAL STAFF

EDITOR-IN-CHIEF

Nashan Ahababjan

VICE EDITOR-IN-CHIEF

Michael Bushev

EXECUTIVE SECRETARY

Milen Zamfirov

MEMBERS

Valeri Golev

Georgi Grahovski

Dinko Dinev

Liudmil Vatzkitchev

Nicola Balabanov

Oleg Yordanov

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 Bourchier Blvd,

1164 Sofia

ПРЕДПЕЧАТНА ПОДГОТОВКА: Д. Денчева

Дадена за печат на 30 септември 2010 г.

ПЕЧАТНИЦА "ГИТАВА" — СПОНСОР НА "СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА"

бул. Цариградско шосе 72

ISSN: 0861-4210

науката

ФОТОННАТА МЕТРОЛОГИЯ

Иван Николов

1. УВОД

Геометричната и физичната оптика са теоретичната основа на светлинните измервания. Познати са два широки класа измервания: на **геометрични** и на **физични величини**. Към първия клас се отнасят оптичните методи и уреди за измерване на линейни и ъглови размери, както и техниките за анализ на структури и системи, приложени в линейно-ъгловата метрология, структурната механика, изпитването на материали и др. Вторият клас обхваща радиометричните (РМ) и фотометричните (ФМ) методи и средства, колориметрията, спектрометрията, рефрактометрията, образните техники, виброметрията, микрометрията, поляриметрията, микроскопията, муаровата профилометрия, гониометрията, интерферометрията, оптометрията и биометрията. **Светотехническите измервания** са насочени към определяне на ФМ свойства на лампи, светилници, фотоприемници, осветителни уредби и др. **Оптичните измервания** (*optical measurement science and technology*) обслужват прецизните технологии чрез контрол на показатели на пречупване, повърхнини, радиуси, ъгли, дебелини, характеристиките и качеството на образа на оптичните системи и др. Тук изложението е фокусирано върху оптичните измервателни технологии и приложението им в изследванията, изпитванията (*testing*) и производството. **Фотонната метрология** (ИМЕКО – **International Measurement Confederation, TC2 Photonics**) работи в целия оптичен диапазон (ОД). За **оптичната метрология** най-важните модули на уредите са светоизточниците и фотоприемниците, които са свързани чрез оптичните системи. Разглеждат се класическите и най-авангардни (*state-of-the-art*) оптични методи и измервателни инструментални средства. Съвременната оптична метрология обхваща формирането на цветни образи, мониторинг на точни повърхнини, контрол на качеството на мехатронни и оптико-електронни детайли, анализ на деформации и безразрушителен контрол на машини, четири-мерно оптично сканиране на микро- и нано-изменения, хибридни измервателни техники, нови оптични сензори и измервателни системи за индустриални инспекции и др.

Под **физична величина** се разбира свойството, което е общо в качествено отношение за много физични обекти (материални системи, тяхното състояние и протичащите в тях процеси), но от друга страна в количествено отношение то е индивидуално за всяко тяло. **Физичните приемници (детектори)** имат голямото предимство, че могат да бъдат калибрани. **Фотоприемниците** сравняват или измерват различни лъчения в ОД. **Сензор (sensor)** се нарича чувствителният елемент на измервателна система, а **детекторът (detector)** е уред, който показва наличието на феномен, тяло или среда. Визуалните методи са ограничени от диапазона на видимото лъчение. **Оптичните приемници** се класифицират на химични (фотографски филми, фотополимери и т.н.)

и електронни (фотонни и топлинни). Всеки **фотонен приемник (ФП)** може да се калибрира в комбинация с оптични филтри (**сравнителни материали**) и измервателно устройство, за да регистрира РМ единици. При използване на стандартен източник калибровъчната крива е права линия. За ФМ измервания ФП се комбинира с филтри, така че общата спектрална чувствителност на оптичния уред да отговаря на „**стандартното око**”.

В светотехниката оптичните приемници се разделят на *две основни групи*: селективни по дължина на вълната и неселективни (топлинни). *Селективните ФП* работят добре от ултравиолетовата (УВ) до близката инфрачервена (ИЧ) област. *Топлинните приемници* обикновено се използват от видимия до далечния ИЧ спектрален диапазон. Тук се спираме само на някои общи проблеми, възникващи при измерване и анализ на оптичното лъчение. Търсят се и отговори на новите предизвикателства на оптичната метрология чрез авангардни сензорни технологии и обработка на образи, терахерцово изобразяване и спектрометрия на повърхнини, управление на качеството (*quality management*), нано-фотоника и оптична томография, иновационни техники за характеризане на оптични, мехатронни, полупроводникови и нанотехнологични компоненти. Най-новите насоки в метрологичните технологии и развитието на измервателните инструменти обхващат контрола на качеството на оптични повърхнини, характеризането на нано-структурирани елементи, нано-топография и нано-размерен анализ, техниките за измерване на разсейването на светлината, оптичните свойства и изпитване на компоненти в УВ област, детекцията на субповърхностни размери, инспекцията на сферични и асферични детайли, измерването на замърсявания в оптичните системи, оценката за качество на образите, калибрирането на средствата и стандартизацията в светлинните измервания, ограничаването на влиянието на шума в РМ и ФМ уреди и др.

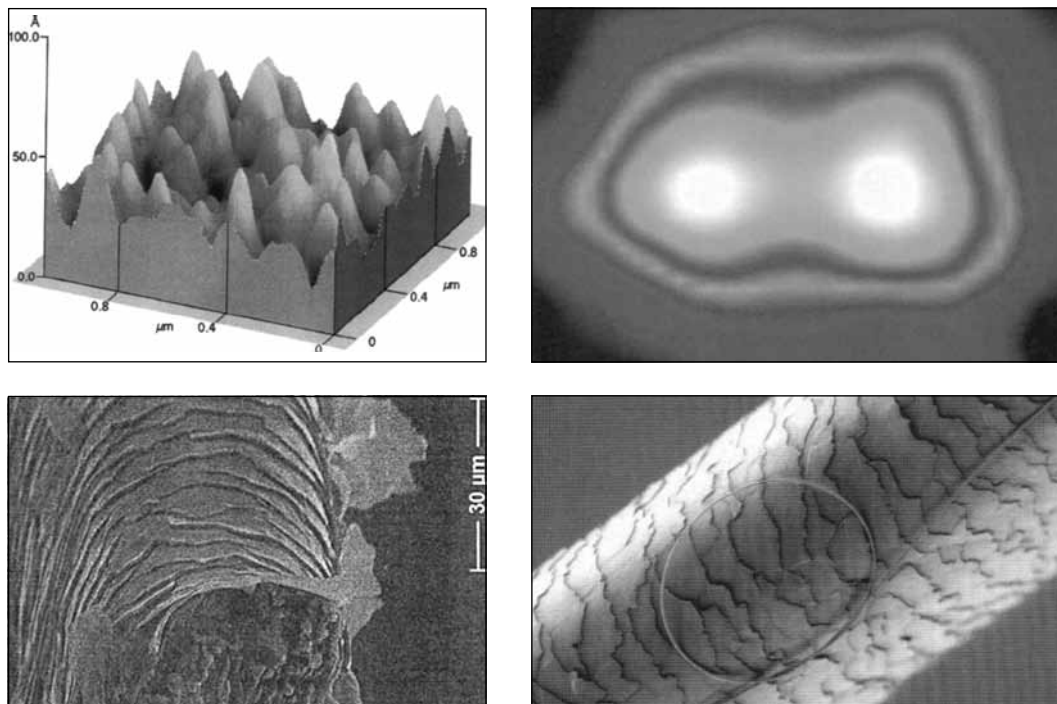
Към областта на *фотонната метрология* се отнасят оптичните, оптико-мехатронните, интерферометричните, дифракционно-холографските, спекъл методите и др. Интерферометричните измервания принадлежат към класа на най-точните оптични методи, тъй като еталонът за сравнение е дължината на вълната: важно е да се отбележи, че **метърът** се определя интерферометрично с точност до 1 nm чрез *дължината на светлинната вълна*. Съществуват **стандарт**и за оптични честоти и дължина на вълната на основата на He-Ne лазер, стабилизирани с J-127, при което възпроизводимостта е не по-лоша от $\lambda=632,991399$ nm. **Фотониката** (*Photonics*) получи мощен тласък за приложение с развитието на лазерите и светодиодите, при което индустриалните измервания достигнаха *нанометрични точности*. **Нанопотониката** се дефинира като модерна техника и технология, обхващаща иновационни методи, материали, инструменти и приложения за изследване на взаимодействието на светлината с оптичните среди на нано-размерно ниво: нанотехнологии, нано-оптика, наноуреди, **нанометрични измервания**, оптични памети за «близкото поле», нано-матрици и нано-сонди, нано-фабрикуване (*nano-fabrication*) и нано-литография, хибридни фотонни модули, нано-размерно производство и бързо прототипиране (*prototyping*), микро/нано-мотори и др. Нанопотониката се разглежда като интердисциплинарна наука за изследване и

развитие на наноструктури и фотонни уреди. **Нанотехнологиите** са фокусирани върху авангардните научно-технически изследвания и производството на интегрални оптико-електронни структури и нови материали: синтез и обработка на материали, проектиране и производство на наноструктурни компоненти, характеризане и приложения на нанофотонни уреди, телекомуникационни мрежи и схеми за предаване на образи, оптични нано-компютри, микродисплеи и нано-сензори, молекулярни машини и нанороботи. Стандартните **светлинни измервания** са насочени към РМ и ФМ, определяне на поток и яркост на лампи, спектрален и гониометричен контрол, калибриране на образцови и стандартни източници, проверка на дифузното отражение на материали и покрития, измерване на контраст и лазерна мощност. **Фотонната метрология** се занимава с измерване на квантовата ефективност на оптико-електронни излъчващи и приемащи модули, *нанофотонни структури*, контрол на пространствените и дълговременните характеристики на фотодиоди, *нанофокусиране*, оптично сондиране на лазерни диоди и матрици с вертикални резонатори (VCSEL) и др. Производството на висококачествена оптика изисква прецизно измерване на повърхностната геометрия и характеристиките на оптичните компоненти, както и контролиране на показателя на пречупване и неговия профил в материали и влакна.

2. НАНОМЕТРИЧНИ ИЗМЕРВАНИЯ

Измервателните оптични уреди от новото поколение са построени на **модулен принцип**: от оптични и оптико-електронни блокове, които представляват външните устройства на компютеризирани метрологични станции, осигуряващи оптична и цифрова обработка на данните и автоматично калибриране на средствата. Автоматизирани системи „производствена машина – оптичен измервателен уред – компютър”, оборудвани с **адаптивно управление** към работните устройства на машината, осигуряват рязко повишаване на качеството на продукцията в прецизната машиностроителна и оптико-електронна промишленост.

Създадени са ултра-прецизни машини за светлинни измервания на базата на ултра-прецизни метрологични оптични системи, които изискват знания едновременно в теоретичното и практическо опериране на **високо прецизната метрология**: контактни, безконтактни, оптико-механични, оптико-електронни, сканиращи, дифракционно-холографски и хибридни измервателни средства. На сн. 1 са показани образи на нано-метрични обекти, измерени с помощта на сканиращи микроскопи. Оптичната морфология изисква прецизно специфициране на обектите, използвайки различни измервателни методологии. AFM методите генерират много по-детайлни снимки на супер-полираните повърхнини. Нано-полираните оптични повърхнини имат най-високо качество, при което повърхностните грапавини могат да бъдат и по-малки от 0,1 nm. Осигурява се визуализация с **висока разделителна способност** и измерване на три-размерната морфология на детайла (сн. 1, а). Най-новите аберационно-коригирани ТЕМ средства измерват индивидуалните атомни колони в силициев (Si) кристал с разделителна способност от 78 pm (сн. 1, б). Сканиращите микростанции се използват за **оптомет-**



Сн. 1. Образи на нано-метрични обекти: а) микроизображение ($1 \times 1 \mu\text{m}$), генерирано от сканиращ микроскоп тип AFM (Atomic Force Microscope), което представлява топографията на нано-градини върху оптична повърхнина с измерени неравности до 1 nm RMS ; б) изображение от TEM (Transmission Electron Microscope) с високо коригиране на сферичната аберация, при което разстоянието между атомите на Si кристална решетка е $0,078 \text{ nm}$; в) биомедицинска SEM (Scanning Electron Microscope) снимка с мащаб от $30 \mu\text{m}$, изобразяваща сечение на човешки косъм, който има нано-структурни рогови елементи с размери от 150 nm ; г) SEM микрография на оптично нано-влакно с диаметър от 400 nm , разположено върху човешки косъм ($\phi 80 \mu\text{m}$).

рия на различни биомедицински структури (сн. 1: в, г). Глобалните направления на нанотехнологиите са: нано-композитни материали, индустрия, фотоника, медицина, военно производство, аерокосмически изследвания, микро-електро-механични системи (MEMS), селско стопанство и козметика.

Развиват се фундаменталните методи за измерване и интерпретация на взаимодействието на светлината с веществата: спектрофотометрични, влакнесто-оптични, оптико-химични, оптико-електронни, оптико-профилометрични, нано-метрични и др. Миниатюрните влакнесто-оптични спектрометри работят в УВ, видимата и близката ИЧ област от спектъра, при което в полеви условия могат да се измерват абсорбция, трансмисия, отражателност, облъченост, флуоресценция, раманово разсейване, спектро-радометрични коефициенти, цветове, инжекционни потоци, химични агенти, лазерно-индуцирани въздействия и др. Бързо се развиват оптичните телекомуникации:

създадени са оптични мрежи за скорости 80 Gb/s и оптични демултиплексирани линии за предаване на данни със скорост 160 Gb/s , при което оптичните компоненти на кабелите се подлагат на прецизни измервания. В огромните градове като Нюйорк, Чикаго, Токио, Лондон и др. са изградени оптични комуникационни пръстени и оптични линии през въздушното пространство за свързване на високите сгради в метрополиите, при което се използват адаптивни метрологични средства. Развиват се многовъълнови мултиплексирани и фотонни мрежи. Разработени са видео изобразяващи системи, ендоскопски фиброскопи и влакнесто-оптични уреди за биометрични медицински и телемедицински приложения.

Нанотехнологичните приложения покриват четири главни области и всяка от тях е свързана с нано-фотониката: нано-материали, нано-медицина, нано-електроника и нано-енергетични уреди. Информационните питове в оптични дискове от $300\text{--}400 \text{ nm}$ се фокусираха до диаметри 80 nm в DVD устройствата, като вече се записват нано-питове с размери около 40 nm в оптичните памети със свръхвисок капацитет. Създават се нови компютърни системи, използващи „read/write/save“ процес, който функционира върху единичен чип. Методите на микроскопията с магнитни сили (MFM) осигуряват визуализация и манипулиране на магнетизирани информационни структури с разделителна способност от десетки нанометри. За комуникационните системи се изработват нано-фотонни уреди с дебелини на оптичните модулатори от $15\text{--}20 \text{ nm}$. Компаниите, развиващи нано-фотонни продукти, инвестират десетки милиарди в този бързо развиващ се пазар. Свръхпрецизната метрология се използва за технологичен контрол и характеризиране на нано-фотонните уреди. Широко се внедрява SEM метрологията, сканиращата сондова микроскопия, спекъл и холографската интерферометрия, рефлектومتрията и елипсометрията.

Преди около 50 години е създаден цезиевият атомен часовник. Метрологичният стандарт за време трябва да бъде точен и високо стабилен. Оптичният часовник използва светлина и фемтосекундни честотни гребени вместо микровълни. Този нов уред се използва за прецизно измерване на физични константи, в системите за интернет и технологията GPS (Global Positioning System). Оптичният часовник се състои от атом с тясна оптична абсорбция, локален лазерен осцилатор и фемтосекунден гребен, създаващи тримерна оптична решетка. Оптичните памети с висока плътност на записа и огромни скорости за предаване на данните изискват най-прецизни измервания на всички оптоелектронни компоненти и фотонни наноструктури. Поляризацияната метрология има много модерни приложения при качествения контрол на оптични материали и фотонни компоненти. Мехатрониката и MEMS се използват в некохерентната интерферометрия, оптичната профилометрия и микроскопията на атомни сили (AFM), при което се определят нано-размери, качества на прецизни повърхнини и нано-премествания. Нобеловата награда по физика за 2005 година бе дадена на трима учени за създаването на квантовата оптика и пикометричната метрология. С помощта на уникалната нано-метрологична апаратура се изследва работата на атомните часовници, качествата на оптичния часовник и времевите вариации на фундаменталните физични

константи. Ултра високопрецизната оптика (в астрономията, гравитационните лаборатории и космоновтиката) се контролира с помощта на *субнанометрична оптична метрология*. Достигната е чувствителност $\lambda/1000$ и средно квадратично отклонение 0,27 nm RMS (1,9 nm от пик до пик) при контрола на равнинност. Масовите комуникации се превърнаха във *видео-мобифонни и оптико-интернетни* средства за предаване на цветни образи и използване на неотложни данни. В реално време и „он-лайн“ хората работят с линиите за оптичен интернет, телемедицина, телеконференциране и др., при което се използват максимално *информационните възможности на зрението*.

3. ДИСПЕРСИОННА МЕТРОЛОГИЯ

Фотонната метрология е база за анализиране и измерване на микро– и нано-структурни материали, *нано-оптични модули* и системи като *нано-полимери*, нано-размерни органични филми, *нано-фокусиращи компоненти* за близкото оптично поле, комуникационни хибридни и нано-композитни елементи, *нано-фотонни уреди*, нано-фабрикуващи и нано-манипулиращи машини и др. Традиционно оптичните свойства на стъклата и полимерите се характеризират с помощта на техните показатели на пречупване във функцията от дължината на вълната. **Дисперсионметричните характеристики** на оптичните полимери могат да се оценят чрез адитивните моларни свойства. Лорентц и Лоренц формулират теоретично *моларната рефракция* като материална характеристика на *оптичните рефракционни свойства*, която не зависи от плътността, температурата и физичното състояние на веществото. Свойствата на оптичните стъкла се дефинират с помощта на технологически полезни комбинации на показателя на пречупване за 4 дължини на Фраунхофер. Числото на Абе е една алтернативна измервателна величина за оптичната дисперсия. Във **фотонното инженерство** се използват различни оптични материали като стъкла, полимери, кристали, органични среди, полупроводници, тънки филми, фотонни нано-структури, нано-композити, мета-материали и др.

Въвеждаме **оптико-рефрактометричен параметър** (ОРП) като обща връзка между всички рефрактометрични формули във вид на

$$OR = \varepsilon - 1 = n^2 - 1 = E (E_0 E_d) / (E_0^2 - E_p^2), \quad (1)$$

където ε е диелектричната константа в уравненията на Максвел (физична характеристика), n е показателят на пречупване за преминаващата електромагнитна вълна (оптична характеристика), E_0 , E_d и E_p са осцилаторната, дисперсионната и *фотонната* енергии, които са свързани със строежа на веществата и *химичните структури* на оптичните среди. Взаимодействието на светлината с веществото зависи от неговата плътност и индивидуалните свойства на молекулите от една страна и от излъчваната дължина на вълната λ от друга страна. Използваме ОРП за свързване на формулите на Зелмайер и Коши-Шот при **метрологичните изчисления** на дисперсионните коефициенти чрез три измерени показатели на пречупване като

$$OR = (B1 \lambda^2) / (\lambda^2 - C1) = A1 - 1 + A2 \lambda^2 + A3 / \lambda^2, \quad (2)$$

където $B1$ и $C1$ са коефициентите на Зелмайер, а $A1$, $A2$ и $A3$ – изчисляваните дисперсионни коефициенти на Коши.

Въвеждаме **молекулярен структурен параметър** (МСП) за провеждане на рефрактометричен анализ на измерваните образци от оптични полимерни материали във вид на

$$MS = \frac{\rho RLL}{M} = \frac{(\varepsilon - 1)}{(\varepsilon + 2)} = \frac{OR}{(OR + 3)}, \quad (3)$$

където ρ е плътността на материалния образец, RLL е моларната рефракция, M – молната маса. Добре е известно, че рефракцията е адитивна величина и показателят на пречупване се изчислява с помощта на дисперсионните формули. Тогава данните за MS и OR могат да се разделят при изследване на оптичните материали (стъкла, полимери, кристали, фотонни среди и др.). Теоретически може да се свърже формулата (3) с дисперсионното уравнение на Коши-Шот във вид на

$$MS = [A1 - 1 + A2 \lambda^2 + A3 / \lambda^2] / [A1 + 2 + A2 \lambda^2 + A3 / \lambda^2]. \quad (4)$$

Трите изчислявани коефициента на Коши във формулата (2) се наричат *рефракционни*, тъй като те се използват за общото определяне на *МСП*. Дисперсионните коефициенти и дисперсионните криви на измерените оптични образци (стъклени, полимерни или течни) се изчисляват с помощта на създадената от нас **програма Opti-Color**. Коректно генерираните дисперсионни криви трябва да бъдат *еквидистантни*, а тестовите и измервателните данни формират съвпадащи криви. Оптични стъкла от каталога на германската фирма *Schott* са използвани за сравнителен анализ на измерените образци от оптични полимери. Двойното лъчепречупване на образците води до неточно измерване на показателите на пречупване, при което програмата *Opti-Color* генерира немонотонни дисперсионни криви, имащи „вълнистост“.

При производството на оптичните полимери се прилагат различни полимеризационни технологии (радикална, поликондензационна, контролирано радикална, дисперсионно-утаяваща, принудителна, нанотехнологична и др.), които изменят оптичните характеристики на материалите. Нашият анализ показва, че *молекулната дисперсия* е един ефективен параметър за оценка на *структурните разлики* в оптичните полимерни материали. Използвайки въведените от нас параметри OR и MS , с помощта на формулите (2), (3) и (4), може да се анализират поотделно *оптичните характеристики и молекулните свойства* като се приложат новите **метрологични връзки** за измерените контролни образци от оптични полимери.

4. НОВО РАЗВИТИЕ НА ФОТОННАТА МЕТРОЛОГИЯ

Спектралните методи за измерване на материални тела и течни среди са добре известни. На сн. 2 са представени оптични методи за контрол на замърсяването на околната среда с помощта на метрологични средства за дистанционно фотометриране на Земята. В оптичната метрология широко се използват високоскоростни **CCD камери**

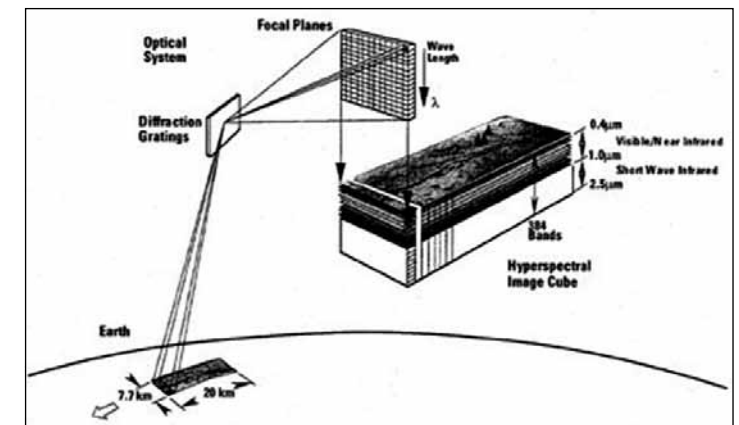
и видео-спектрометри за цветен анализ на отдалечени обекти и глобално изследване на земни повърхнини (сн. 2, а). Изобразяващият обектив трябва да има минимални аберационни петна и дисторсия във фокусната равнина, където се разполага CCD имейджъра. Настройването на фокусировката трябва да осигури най-високо качество на образа с помощта на варио-обектива за HD оптичната система (*high-definition optical system*). Фирмата Telops Inc. (Quebec, Canada) предлага първите хипер-кам измервания (*Hyper-cam measurements*). Уредът *Telops Hyper-Cam* представлява първата инфрачервена спектрална **изобразяваща камера** (www.telops.com). Системата *Hyper-Cam* е едно авангардно изобразяващо **радиометрични решение**, предназначено за хиперспектрални измервания в ИЧ област А, В и С. Това компактно и портативно РМ средство осигурява високо качествено спектрално изобразяване на земната повърхнина и атмосферата при полеви, въздушни и екологични приложения. Оптичната система *Hyper-Cam* има регулируемо зрително поле и висока пространствена **разделителна способност**, при което се формира база от образи (*Hyperspectral Image Cubes*), пригодни за различни метрологични анализи. Телеобективите са сменяеми и осигуряват зрително поле 6,4 x 5,1 градуса като **модулната конструкция** прави този измервателен уред лесен за обслужване. Наблюдаваният образ може да се форматира за достигане на желаното зрително поле и за повишаване на **измервателната скорост** (*measurement rate*). Изобразяващата ИЧ камера се използва за хиперспектрално картиране (*hyperspectral mapping*) на Земята при записване на образи на облаци, лъчисти повърхнини, геологични и минералогични структури, скали, военни обекти и др. Основното приложение на *Hyper-Cam* е мониторинга на замърсявания и горски пожари, както и **блясъчни измервания** (на взривове, вулкани и др.).

Фотонната метрология обхваща висококачествените международни изследвания, провеждани на първия фронт на нано-размерните оптични науки и технологии. Нов важен фокус са авангардните метрологични техники, използвани за бързо развиващото се поле на фотониката с нанотехнологиите. Особено внимание се обръща на оптичните комуникационни и информационни мрежи, новите CD/DVD системи за компютрите, терабайтовите оптични памети и холографските банки за данни, нано-композитните и полимерни материали за оптичен запис и фотонни приложения, фотополимерите и нелинейните фотонни среди, лазерните и светодиодни източници, слънчевите клетки, фотопреобразуващите модули, стерео-дисплеи за визуализация на тримерни образи и т.н. Развиват се натуралната фотоника (*Nature Photonics*), биометрията и оптометрията, както и свързаните с тях **фотонни медицински измервания**. В оптичната и оптико-електронната промишленост и в биомедицинските технологии широко се използват иновационни материали (полимери и полимерни сплави, био- и фото-полимери, нано-полимери и полимерни композити, фотонни кристали и среди с градиентни показатели на пречупване, хибридни структури и др.), които се изследват рефрактометрично.

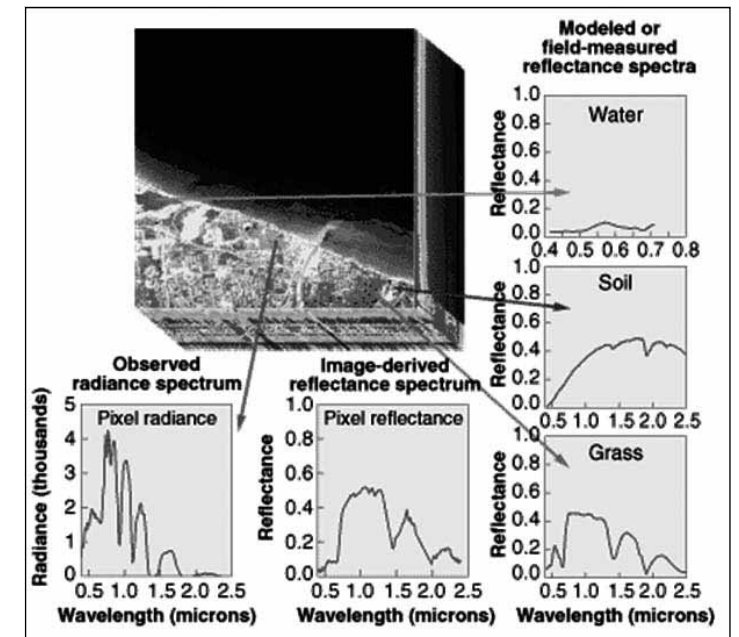
Цветният анализ е мощен детекционен инструмент за изследване на материали, повърхнини на детайли, светоищточници (лампи, светодиоди, осветителни панели и др.), търговски продукти и биологични образци. При измерванията се използва

светлинно калибриране (*lighting calibration*) и RGB установки (*RGB settings*), ако светлинните нива се изменят. Прилагат се **телецентрични обективи** в телецентричните осветители за повишаване на граничния контраст и точността без вариране на цветната температура в измервателните системи за машинно зрение (*machine vision*). Намалването на дължината на вълната за работа с оптични компоненти в далечната УВ област изисква развитието на техники, имащи възможност да измерват **екстремално малки размери**. Иновациите в оптиката и нанотехнологиите осигуряват създаването на високо чувствителни и ефективни метрологични инструменти (оптични микроскопи за близкото поле, AFM, TEM с прецизно коригирана сферична аберация и др.), предназначени за характеризирание на супер-равнинност, нано-грапавост, нано-фигуриране, нано-структуриране на тънки филми, нано-композиране на частици, нано-оптика за чипове (*Nano-optics for chips*) и др.

В астрономията и биологията се използват



2 а)



2 б)

Сн. 2. Хиперспектрални методи за измерване на замърсяването на околната среда:

а) принципна оптична схема на видео-спектрометър с хиперспектрален изобразяващ куб (*Hyperspectral Image Cube*), предназначен за фотометриране на повърхнината на Земята (*Earth*); б) цветни образи в хиперспектралния куб и разшифроване на оптичните спектри на отражателната способност за вода (*Water*), почва (*Soil*) и трева (*Grass*).

цветни нано-детектори с чувствителност около 40 W/sm^2 : нано-уредите са построени от въглеродни нано-тръбички, снабдени с хромоформни молекули, които детектират много слаби източници от видимата спектрална област и генерират цвят, наподобявайки оптичното действие на ретината в окото. Графитните нано-сензори с диаметър 1 nm абсорбират светлината от няколко фотона и я превръщат в цветен електричен сигнал, както и молекулите на зрителния родопсин. Фотонните измервания са фокусирани върху характеризирането на новите оптико-информационни компоненти и нано-структурни уреди. Изобразяващите методи и **образните технологии** се прилагат за най-прецизни измервания (сн. 1). Ключовите предизвикателства са в потенциалните направления на нанотехнологиите, използващи модерни инструментални техники (сканираща оптична микроскопия, TEM, SEM, AFM, дистанционна спектрометрия и др.), **образни методи** и нано-фокусиращи сонди за измерване и характеризиране на микро– и нано-обекти. Фотонната метрология изследва оптико-геометричните, физичните, химико-аналитичните и биологичните свойства на новите материали, структурни модули, хибридни уреди и технологични процеси. **Гъвкавите слънчеви елементи** са новото направление за създаване на големи отразителни полимерни слънчеви преобразуватели с измерена конверсионна ефективност от 8%, които са базирани върху фотонните технологии. Нано-структурните слънчеви клетки (полимерни фотоволтови уреди) се прилагат за преобразуване на слънчевата в електрична енергия с добри метрологични данни, ниска себестойност и дълго време на живот. **Въглеродните нано-тръбички** се използват за контрол на матрици от микролещи в течно-кристални уреди, работещи в адаптивни оптични системи за **оптометрия** (измерване на характеристиките на зрението). Развива се **оптиката** на нано-композитните материали (фотонни среди, полимери с течни кристали, фотополимери, метаматериали с отрицателен показател на пречупване и др.), служещи за производство на нови дисплеи, изработване на комуникационни превключватели, създаване на терабайтови оптични памети, реализиране на фотонни уреди за мониторинг, моделиране на наноразмерни хиперлещи (hyperlens) и др.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В индустриалния сектор иновациите се базират върху нано-производството (*nano-manufacturing*). Авангардното уредостроене, **метрологията и стандартите** ще позволят физичните размери, оптичните свойства, функционалността и чистотата на материалите, процесите, инструментите, системите, продуктите и емисиите, които са получени от нано-производството, прецизно да бъдат измерени и характеризирани. Ако нано-продуктът **не може да бъде измерен**, той не може да бъде произведен. За целта се внедряват специализирани метрологични уреди, методи за микро– и нано-размерни измервания, оптични средства за динамична повърхностна метрология, механо-оптични модули за инспекция, системи за калибриране и анализ на грешките, високо скоростни измервания върху машините (*on-machine tool measurements*) с пределна разделителна способност на инструмента, адаптивни оптични уредби за тримерно техническо зрение, интернет приложения (*Web inspection applications*) и др.

Фотонната метрология използва оптични системи с най-висока разделителна способност (микроскопия за пълно поле, близко поле, поелементен анализ и сканиране на обекти; микроинтерферометрия и фазовоконтрастна интерферометрия; оптична томография и адаптивна корекция на вълновия фронт и др.), методи за оптимизация на процесите с мониторинг на качеството и повтаряемостта, системи за оценка на то-талната измервателна грешка (включително прецизността и точността), нови методи за обработка на данните и библиотечно базиран анализ на образи (*library-based image analysis*), системи за метрология «върху чип» (**systems-on-a-chip metrology**) със самонастройване за функционално тестване, хиперспектрални камери и др. Модерните измервателни стратегии са насочени към комбинации на **физично моделиране** с компютърно симулиране и експериментално натрупване на данни с цел разширяване на обхвата на метрологията **от „макро” до „нано”**, използвайки авангардни оптични уреди и сензорни оптико-мехатронни системи.

АБОНАМЕНТ И РАЗПРОСТРАНЕНИЕ

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

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

Броеве от списанието можете да намерите на следните места:

София

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

Благоевград

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

Варна

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

МАГНИТНИЯТ МОМЕНТ НА МЮОНА ЗАДАВА ВЪПРОСИ

Динко Динев

1. Жиромангнитно отношение и аномален магнитен момент

От класическата електродинамика е известно, че един атомен електрон движейки се по орбита около ядрото притежава магнитен момент $\vec{\mu}$, който е свързан с момента на количеството на движение $\vec{L}$ със съотношението:

$$\vec{\mu} = \frac{e}{2m_e} \vec{L} \quad (1)$$

където e и m_e са зарядът и масата на електрона.

В класическата физика се дефинира т. нар. „жиромангнитно отношение“ g_{cl} , което е равно на отношението на орбиталния магнитен момент на електрона към неговия ъглов момент:

$$g_{cl} = \frac{e}{2m_e} \quad (2)$$

Орбиталните електрони извършват прецесионно движение около направлението на магнитното поле с честота:

$$\vec{\omega}_L = -\frac{e}{2m_e} \vec{B} \quad (3)$$

Тази честота е наречена ларморова честота. На ларморовата прецесия се дължат диамагнитните свойства на веществото.

В нерелативистката квантова механика орбиталният магнитен момент $\hat{\mu}_l$ и орбиталният момент на количеството на движение $\hat{L}$ са оператори. Между проекциите на двата момента върху произволно направление, избрано за направление на оста z , е в сила следното съотношение:

$$\mu_{lz} = \frac{e}{2m_e} L_z \quad (4)$$

Понеже $L_z = \hbar m$, $m = 0, \pm 1, \dots, \pm l$, където m е магнитното квантово число и $l = 0, 1, 2, \dots$ е орбиталното квантово число, проекцията на орбиталния магнитен момент на електрона е кратна на величината:

$$\mu_0 = \frac{e\hbar}{2m_e} = 9.273 \cdot 10^{-24} \frac{J}{T} \quad (5)$$

наречена магнетон на Бор.

Обикновено формула (4) се записва във вида:

$$\mu_{lz} = g_l \frac{e}{2m_e} L_z \quad (6)$$

където g_l е квантовото жиромангнитно отношение, което за орбиталното движение на електрона е равно на 1.

Освен орбитален електронът притежава и собствен момент на количеството на движение, т. нар. спин, който е равен на $\frac{1}{2}\hbar$. С него е свързан собственият магнитен момент на електрона, който е равен на един магнетон на Бор, $\mu_s = \mu_0$. За тези моменти формула (6) остава в сила:

$$\mu_{sz} = g_s \frac{e}{2m_e} s_z \quad (7)$$

Понеже $s_z = \pm \frac{1}{2}\hbar$ и $\mu_z = \pm \mu_0$ жиромангнитното отношение за спиновото движение е $g_s = 2$.

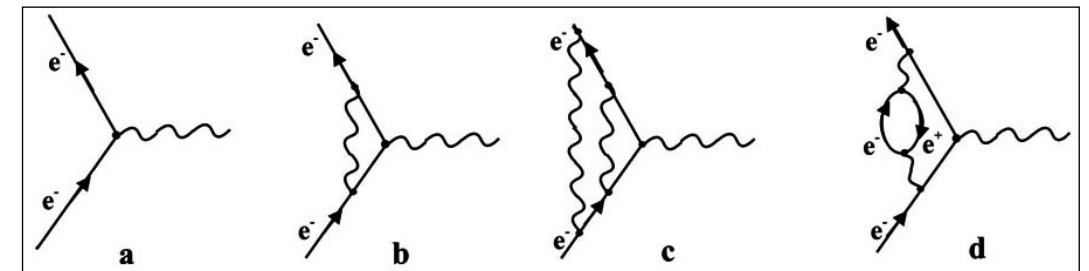
В релативистката квантова механика уравнението на Дирак предсказва, че за точкови частици, $g = 2$. И наистина, измерените стойности на g за заредени лептони (e , μ , τ) са много близки до 2. За съставни частици, като протони и неутрони, измереното жиромангнитно отношение се отличава значително от 2, което се дължи на тяхната вътрешна структура.

Квантовата електродинамика внася известна корекция в стойността $g_s = 2$, като отчита взаимодействието на електрона със собственото му магнитно поле – [1]:

$$\frac{g}{2} = 1 + a \quad (8)$$

Величината $a = \frac{g-2}{2}$ се нарича жиромангнитна аномалия.

В квантовата електродинамика всеки електрон е обкръжен от облак от виртуални частици. Този облак е слабо магнитен и това е причината за появата на аномалния магнитен момент.



Фиг. 1. Диаграми на Файнман за пресмятане на аномалния магнитен момент

На езика на диаграмите на Файнман процесът е илюстриран на Фиг. 1. На фигурата са показани няколко от диаграмите на Файнман от нисък ред. Диаграмата от най-нисък

ред е показана на Фиг. 1а. Тази диаграма показва електрон, свързан директно с фотон от външното магнитно поле. Тя съответства на предсказаната от уравнението на Дирак стойност $g = 2$. На диаграмата от трети ред, показана на Фиг. 1b, електронът освен това излъчва и поглъща виртуален фотон. Тази доминираща корекция е направена за първи път от Шуингър (J. Schwinger). Ако се отчете тази поправка, за магнитния момент на електрона се получава:

$$\mu_e = \mu_0 \left(1 + \frac{\alpha}{2\pi}\right) \quad (9)$$

където:

$$\alpha = \frac{e^2}{\hbar c 4\pi\epsilon_0} = \frac{1}{137.036} \quad (10)$$

е константата на фината структура.

Включването на диаграми от по-висок ред в изчисленията на аномалния магнитен момент води до все по-голяма прецизност в определянето на неговата стойност. Две от тези диаграми са показани на Фиг. 1c и Фиг. 1d. С точност до членове от 4-ти порядък за аномалния магнитен момент на електрона е получено:

$$\frac{g-2}{2} = a = \left(\frac{\alpha}{2\pi}\right) - 0.328\left(\frac{\alpha}{2\pi}\right)^2 + 1.181\left(\frac{\alpha}{2\pi}\right)^3 - 1.510\left(\frac{\alpha}{2\pi}\right)^4 + \dots \quad (11)$$



Фиг. 2. С. Андерсън в Националната лаборатория на САЩ в Брукхайвън през 1937 г.

Членовете в тази формула са известни като радиационни поправки. Магнитната аномалия на електрона е много малка, от порядъка на 0.11%, но нейното измерване с все по-нарастваща точност е един от важните стимули за развитието на теорията.

При пресмятането на ефекта на облака от виртуални частици, които обграждат електрона, трябва да се отчитат не само виртуалните фотони и виртуалните електрон-позитронни двойки, но също така виртуални кварки, виртуални Хигс-бозони и пр.

От гледна точка на прецизността на измерванията е много по-добре експериментите вместо с електрони да се провеждат с мюони. Мюонът, известен още като „тежък електрон“, е приблизително 207 пъти по тежък от електрона. Във всяко друго отношение той е негов двойник. Поради по-голямата му маса магнитният момент на мюона е 207 пъти по-малък от този на електрона. Но виртуалните частици в облака около мюона могат да са много по-тежки. Тежките виртуални частици влияят на магнитния момент в много по-голяма степен.

2. Мюон

Мюонът е открит през 1936 г. от С. Андерсън (C. D. Anderson) при изследване на твърдата компонента на космичното лъчение с помощта на камера на Уилсън, поставена в магнитно поле – Фиг.2.

Той има маса:

$$m_\mu = (206.767 \pm 0.003) m_e \quad (12)$$

Мюоните са нестабилни частици със средно време на живот:

$$\tau_\mu = (2.15 \pm 0.07) \mu s \quad (13)$$

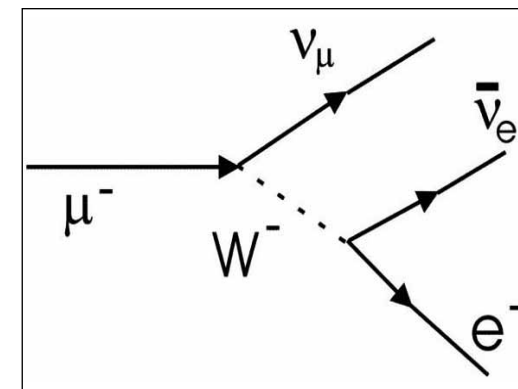
Мюоните се разпадат на електрон/позитрон и неутрино по схемата:

$$\begin{aligned} \mu^- &\rightarrow e^- + \tilde{\nu}_e + \nu_\mu \\ \mu^+ &\rightarrow e^+ + \nu_e + \tilde{\nu}_\mu \end{aligned} \quad (14)$$

Кварковата диаграма на този процес е показана на Фиг. 3.

Погрешно е тази частица да се нарича μ -мезон. Мезоните са силновзаимодействащи частици (адрони) съставени от кварк и антикварк. Те имат цял спин, т.е. те са бозони.

Противоположно на мезоните мюонът има спин $\frac{1}{2}$, т.е. той е фермион. Мюоните не участват в силното взаимодействие, а само в електромагнитното и слабото. Те са лептони от второ поколение. Като изключим много по-голямата им маса, мюоните са „двойници“ на електроните. Например в електромагнитни взаимодействия се раждат както $e^- e^+$, така и $\mu^- \mu^+$ двойки.



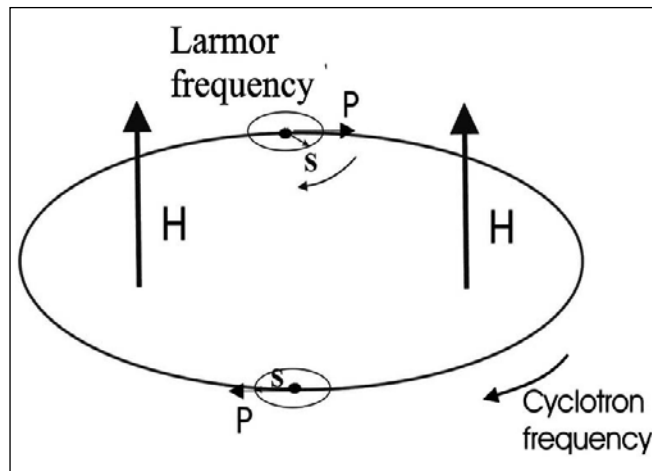
Фиг. 3. Разпадане на мюона на електрон и неутрино

3. Измерване на аномалния магнитен момент на мюона

Принципът на измерване на аномалния магнитен момент на мюона е предложен през 1957 г. от Р. Гаруин (R. L. Garwin), Л. Ледерман (L. M. Lederman) и М. Уайнрич (M. Weinrich). Той се състои в следното.

Първо трябва да се получи интензивен сноп от мюони. За целта се използва реакцията на разпадане на π -мезоните по схемата:

$$\begin{aligned} \pi^- &\rightarrow \mu^- + \tilde{\nu}_\mu \\ \pi^+ &\rightarrow \mu^+ + \nu_\mu \end{aligned} \quad (15)$$



Фиг. 4. Принцип на измерване на аномалния магнитен момент на мюона

$$\omega_s = g \left(\frac{e}{2m_\mu} \right) B \quad (17)$$

Ако $g=2$ (точно), двете честоти са равни и спинът остава винаги насочен по скоростта. Имаме едновременно и синхронно въртене на $\vec{p}$ и $\vec{s}$ около $\vec{B}$.

Ако обаче $g > 2$, спинът ще се върти по-бързо от импулса и ъгълът между направленията на спина и на скоростта ще расте с честота:

$$\omega_a = \left(\frac{g-2}{2} \right) \left(\frac{eB}{m_\mu} \right) = a_\mu \left(\frac{eB}{m_\mu} \right) \quad (18)$$

От (17) и (18) следва, че:

$$\frac{\omega_a}{\omega_s} = \frac{a_\mu}{1 + a_\mu} \quad (19)$$

В тази формула се съдържа същността на метода на измерване на аномалния магнитен момент. Едновременно се измерват ω_a – честотата, с която спинът на мюона се върти спрямо скоростта и ω_s – честотата, с която спинът на мюона прецесира в магнитното поле, когато мюонът е в покой. Тази последна честота се измерва с техниката на ядрения магнитен резонанс.

При сила на магнитното поле $B = 1.6$ Т и малка скорост на мюоните спинът им прави едно пълно завъртане около посоката на скоростта за около 800 оборота по кръговата орбита. Това отнема 4 μ s. Но средното време на живот на мюоните в покой е само 2.2 μ s! Изходът от това положение е да се използват мюони движещи се с много голяма скорост (ултрарелативистки мюони). При големи скорости действа релативисткото удължаване на времето на живот съгласно известната формула:

Средното време на живот на π -мезоните $\tau = 26$ ns. Получените мюони са надлъжно поляризирани. Те се инжектират в магнитно поле – Фиг. 4.

Под действие на силата на Лоренц мюоните се движат по кръгова орбита с честота:

$$\omega_c = \frac{eB}{m_\mu} \quad (16)$$

наречена циклотронна честота.

В същото време спинът на мюоните прецесира около направлението на магнитното поле с честота:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1-\beta^2}}, \quad \beta = \frac{v}{c} \quad (20)$$

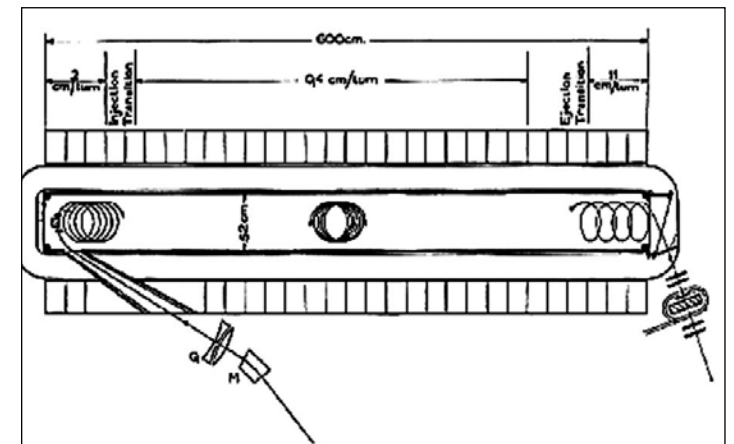
От (20) следва, че при енергия на мюоните $E = 1$ GeV, времето им на живот се удължава десет пъти, $\tau = 10 \tau_0$.

3.1. Експерименти по измерването на a_μ в CERN

Първото измерване на аномалния магнитен момент на мюона е извършено през 1960 г. в Европейският център за ядрени изследвания (CERN), разположен край Женева.

По онова време единственият действащ ускорител на CERN е синхроциклотрон, който ускорява протони до енергия 600 MeV. След облъчването на метална мишена със сноп високоенергетични протони се генерира сноп от вторични π -мезони. Последва разпадането на пионите по схемата (15) на мюони и неутрино. Така полученият мюонен сноп се фокусира върху берилиев блок разположен в единият край на дълъг магнит – Фиг. 5.

Мюоните губят част от енергията си в берилия, забавят се и това позволява да се захванат от магнитното поле. Самото магнитно поле не е еднородно. То има напречен градиент – в долната част на магнитното поле е по-силно и постепенно намалява към горната му част. В подобно



Фиг. 5. Първо експериментално измерване на $(g-2)$ в CERN

нееднородно магнитно поле мюоните, въртейки се около силовите линии, извършват още и дрейф в направление перпендикулярно на градиента на полето, т. нар. „градиентен дрейф”. На Фиг. 5 мюоните се преместват постепенно от левия край на магнитата към десния му край. След като напуснат магнитата мюоните попадат в абсорбер, където спират. Когато са в покой, мюоните се разпадат средно за 2.2 μ s на електрон/позитрон и неутрино по схемата (14). Решаващо за успеха на измерването е, че при разпадането на мюоните електроните/позитроните се излъчват преимуществено по направление на спина на мюона. Това позволява да се измери с голяма точност накъде е насочен спинът на мюона в момента на неговото разпадане, т.е. фактически да се измери ω_a . Направлението, в което се движат електроните/позитроните, се определя с помощта на телескоп от сцинтилационни детектори.

Първото измерване на аномалния магнитен момент на мюона, направено в CERN, е с точност $\pm 0.4\%$. В рамките на тази точност резултатите от измерването се съгласуват с предсказанията на квантовата електродинамика.

През 1962 г. в CERN е инициран втори, по-прецизен експеримент по измерване на аномалния магнитен момент на мюона. Сега в CERN вече работи много по-мощен ускорител, т. нар. „Протонен синхротрон” (PS), в който протони се ускоряват до енергия 28 GeV, при много по-голяма интензивност на ускорените снопове. Това позволява да се повиши точността на измерване на a_μ . За измерването е построен специален натрупващ магнитен пръстен с диаметър 14 m.

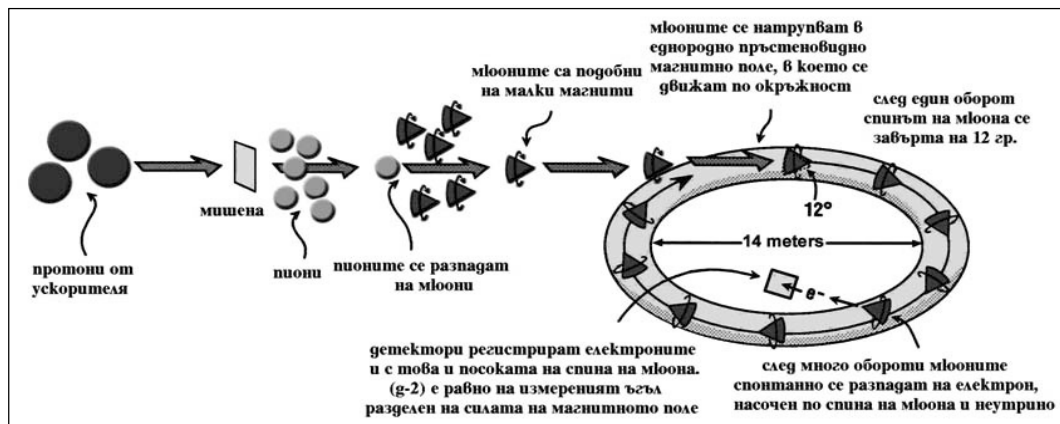
Резултатите от второто измерване на a_μ вече не се съгласуват с теорията, а се отличават от нейните предсказания с (450 ± 270) ppm (part per million) – [2]. Това иницира преразглеждането на теоретичните изводи. След коригиране на някои от членовете от порядък $(\alpha / 2\pi)^3$ хармонията е възстановена. Както ще видим в следващия раздел това е само временно.

3.2. (g-2) експеримент в Брукхайвън

През 1984 г. В. Хюс (V. Hughes) иницира в Националната лаборатория на САЩ в Брукхайвън (BNL) нов, още по-прецизен експеримент по измерването на аномалния магнитен момент на мюона. Този експеримент е наречен E 821 – [3].

В експеримента се разчита на рекордната интензивност на един от ускорителите на BNL – протонният синхротрон AGS. Този синхротрон ускорява протони до енергия 33 GeV. Интензивността на ускорените снопове е рекордна и достига $6.3 \cdot 10^{13}$ prp (particles per pulse). Високата интензивност позволява да се постигне много малка статистическа грешка.

Принципът на измерването е показан на Фиг. 6.



Фиг. 6. Принципна схема на експеримента по измерването на аномалния магнитен момент на мюона в Брукхайвън

За измерването на аномалния магнитен момент на мюона в BNL е построен натрупващ магнитен пръстен с диаметър 14.22 m – Фиг. 7. Магнитното поле има сила 1.45 T и се създава от свръхпроводящи възбуждащи намотки и железен магнитопровод.

Първите измервания започват през 1999 г. Измерванията се провеждат както със снопове μ^- , така и със снопове μ^+ . Съгласно СРТ теоремата на квантовата теория на полето a_μ за тези две частици трябва да са равни. Последният за сега резултат определя аномалния магнитен момент на мюона като:

$$a_\mu = 0.001165920 \quad (21)$$

Експерименталната грешка е равна на 1.27 ppm (part per million).

Този резултат се различава от предсказанията на т. нар. „пряка теория” с 2.8σ и от предсказанията на т. нар. „непряка теория” с 1.7σ [4]. Сравнение между експерименталните резултати и теоретичните предсказания е показано на Фиг. 8.

Несъответствието между експеримент и теория изисква ревизия на теоретичните постановки, понеже експериментът е многократно и много детайлно анализиран за възможни грешки. Това могат да бъдат относително малки корекции, които не засягат принципни положения. Изказани са известни съмнения в коректността на изчисляването на т. нар. „адронна част” на a_μ . По-революционно настроени физици говорят, че полученото несъответствие между експеримент и теория е знак за „нова физика”, например за теорията на суперсиметрията.

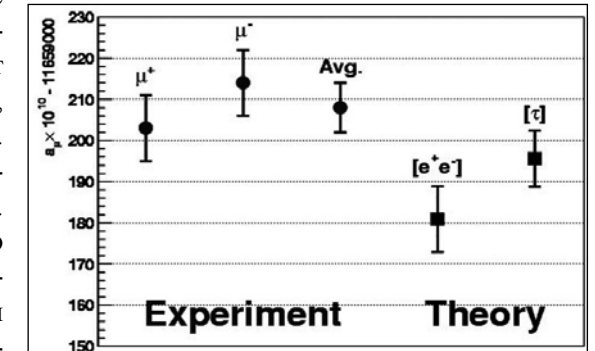
Магнитният момент на мюона продължава да задава въпроси.

Литература

1. К. Н. Мухин. Экспериментальная ядерная физика. т. II – Физика элементарных частиц. Атомиздат, М. 1974
2. G. Charpak, F. Farley, R. Garwin, T. Miller, J. Sens, A. Zichichi. Nuovo Cimento, v. 37, 1965, p.1241
3. H. N. Brown et al. Phys. Rev. Letters, v. 86, 2001, p.2227
4. M Davier, S Eidelman, A Höcker and Z Zhang. Eur. Phys. Journal, v. C31, 2003, p.503



Фиг. 7. Мюонният натрупващ пръстен на експеримента (g-2) в Брукхайвън



Фиг. 8. Сравнение между измерените в Брукхайвън и предсказания от теорията стойности на аномалния магнитен момент на мюона

ХИПОТЕЗИ В АСТРОФИЗИКАТА: С КАКВО ТЪМНАТА МАТЕРИЯ Е ПО-ДОБРА ОТ НЛЮ?

Лекция* на Сергей Попов

Добър вечер. Днес ще поговорим на една странна тема – с какво тъмната материя е по-добра от НЛЮ (неидентифицирани летящи обекти). Но отначало нека опитам да задам въпроси на зрителите. Има ли в залата хора, които вярват, да речем, в това, че водата има памет? Има. А има ли хора, които използват хомеопатични средства? Има – при това повече. Интересно е, че са повече, защото това е приблизително едно и също. В шишенцето с хомеопатично средство почти със сигурност няма нито една молекула активно вещество. Съществуват такива хипотези, че водата има памет и че има хомеопатична медицина.

Борис Долгин (водещ): Това, че съществува хомеопатична медицина – като занимание и като бизнес – това не е хипотеза, а факт.

Сергей Попов: Да. Но в основата му лежи хипотеза от 1796 г. Още един въпрос. Има ли в залата хора, които вярват, че ние живеем в единадесетмерен свят? Малцина. От тези три хипотези последната е най-достоверна от гледна точка на науката. Днес ще се опитаме да поговорим, използвайки примера на астрофизиката, кое е добра хипотеза, кое – лоша, и защо. Затова в заглавието на лекцията втората част имаше по-скоро за цел да привлече внимание. Известно е, че ако в заглавието присъства “НЛЮ”, в залата ще има повече хора. Но първата част е по-съществена. Ще ви обясня какъв е мотивът. Мотивът до голяма степен е свързан с факта, че като учени-астрофизици ние се сблъскваме с това, че при нас постоянно идват хора с идеи. По принцип това е чудесно. От друга страна, голяма част от хората, идващи с най-добри намерения, имат в основата на своя подход някакъв мит за това, как функционира науката. Ето за това ще се опитаме да поговорим. Аз ще говоря около час. Разбира се, може да се даде и кратък отговор на въпроса, защо тъмната материя е по-добра от НЛЮ. Отговорът е разбираем. Но аз все пак ще изразходвам един час. И така, щом произнесем думата “хипотеза” в контекста на естествените науки, веднага си спомняме Нютон и неговите думи “аз не измислям хипотези”.

Какво е имал предвид Нютон, казвайки това? Имал е предвид, че не се предполага нищо, в основата на което не лежат естествени, наблюдаеми явления. Това е нещо съществено. И колкото повече крачки има между хипотезата и явлението, толкова по-зле. Ако ние се основаваме пряко на явленията, това е много добре. Ако обаче ние изхождаме от някакви философски концепции, които се основават на други философски концепции, основани в най-добрия случай на здравия разум, то най-вероятно ще сгрешим.

За това говори целият опит в развитието на науката. Да започнем от древните времена и да разгледаме старите хипотези. Има много хубава хипотеза, която до известна степен противоречи на това, което виждаме около нас. Кълбовидността на

Земята. По принцип концепцията за такава Земя, която има обратна страна, е психологически много некомфортна. Когато преди повече от 2500 години хората за пръв път са започнали да говорят за кълбовидността на Земята, това добра хипотеза ли е била или лоша? Какво бихме казали сега?

Важното е в какъв контекст е възникнала хипотезата. Можем да си представим следната ситуация. Събрали се компания философи. Единият казва, че Земята има формата на диск. Защото, като гледаме наоколо, виждаме диск. Друг говори за формата на куб. Трети казва, че има форма на куфар, а Москва е дръжката на куфара. Тогава дотичва последният закъснял, а всички хубави фигури вече са се свършили. И той говори за формата на сфера.

Ако хипотезата се формира по такъв начин, това е лоша хипотеза. Това е именно измислена хипотеза. Може би тази хипотеза е основана върху философски концепции. Сферата е идеално тяло и ние решаваме, че небесните тела са идеални тела, затова и трябва да са сферични. Все едно, това е лоша хипотеза, ако тя възниква именно по този начин. Защото какво означава, че сферата е идеална? На някои не им харесва сферата. Но в случая с кълбовидността на Земята идеята е била друга. Това е била много добра хипотеза. Имало е добри основания да ѝ се вярва. Съществуват лунни затъмнения. И хората преди 2500 години качествено са разбирали, какво се случва. Има Слънце, Земя и Луна. И когато се случва затъмнението, Земята хвърля сянка върху Луната. Ако Земята имаше формата на куфар или стоеше върху слонове, вие щяхте да видите върху Луната сянката на тези слонове. Ако сте видели няколко затъмнения, ще се сетите, че от всички страни сянката е кръгла. Нали затъмненията протичат по различен начин. А сянката навсякъде е кръгла. И ще можете да направите извода, че Земята действително е сфера. Това е чудесна хипотеза, която е основана на преки наблюдения. Никакви слонове не се виждат, краят винаги е кръгъл. Това е дало възможност на хората отдавна да го разберат и да измерят тази сфера.

Както е известно, през трети век преди новата ера Ератостен е провел своите забележителни измервания на размера на Земята. Естествено, той не е обиколил Земята. Но той е измерил част от дъга на земната повърхност. Той е забелязал, че има моменти, в които Слънцето се намира точно в зенита, а по-нататък можем да пътуваме на север, да измерим дъгата и да определим ъгъла, съответстващ на дъгата. И ще получим това ъгълче. По-нататък по лесна формула получаваме дължината на окръжността. Не само че хипотезата е била добра. Тя е била приложена върху наблюдения и всичко забележително е съвпаднало.

Това е почти идеалният пример. Когато на основата на наблюденията възниква сложна теория, тя се прилага върху наблюденията и се получава нова, фундаментална величина. Нали по онова време Земята е била целият свят. А да се определи размерът на света – това е съществено. Какво имаме в съвременната наука? Сега, както и преди хилядолетия, трябва да се разграничат два типа хипотези. Има работни хипотези, които се издигат достатъчно рядко, понякога тяхното издигане води до доста справедливи критики. Съществува научна кухня, там хората работят. Например отивате в корейски

ресторант. Понякога е по-добре да не се знае, какво се прави в кухнята. Вкусно ли е – яжте. Приблизително същото се случва и в науката. Никакви забрани за вътрешно обсъждане, разбира се, не съществуват. С колега може да се обсъжда всичко, което ни хрумне.

Понякога се казва, че учените са се вторачили в теорията на относителността. Това не е така. Има някаква активност за създаване на алтернативни теории. Да се обсъжда може всичко. А за публично обсъждане трябва да се предлага нещо по-добро. И това са съвсем друг клас хипотези. Същественият извод е, че има част, за която хората откън просто не знаят. Обсъжданите хипотези – това е отделен клас. И естествено в съвременната наука има някои забрани за преминаване от работни хипотези към публично обсъждане. Публично обсъждане не означава семинари, разбира се. Това са публикации. Нещо, което е достъпно на широк кръг хора.

В съвременната наука не можеш да публикуваш гола идея. Това е много важно. Ако човек идва със своята идея ... например, човекът никога не се е занимавал с космология, а се е занимавал с нещо съвсем друго. И изведнъж у него възниква идея. Той даже се е запознал с литературата и е установил, че за тази идея никой не се е сещал. Това е важен момент, за който днес искам да говоря.

Ако вие не знаете за съществуването на дадена хипотеза, това не означава, че тя някога някъде не е хрумнала на някой професионалист. Това означава, че той не е могъл да стигне съществено по-далеч от тази идея. Може да се публикува модел, но не и идея. Не само че трябва да отговорите на очевидно възникващите въпроси. Трябва и да се защитите от най-елементарната критика. Още по-добре е да направите и предсказания за следващи наблюдения. И тогава вече моделът, сценарият, концепцията могат да станат предмет на публично обсъждане. Съществено е, че сега науката е голяма. Няма да се изненадам, ако по времето на Нютон е можело човек лично на него да напише писмо с някаква интересна идея.

Такива случаи е имало. Черните дупки от една страна са предсказани от Лаплас, от друга страна – от Митчел, който е бил геолог. Сега науката е голяма и това е почти невъзможно. Във всяка област, даже най-тесната, има като минимум десетки много компетентни хора, които се занимават само с това. И наистина, практиката показва, че почти всички идеи все на някой са му хрумвали. И ако те са неизвестни, то е само защото не са развити достатъчно. И така, хипотезите трябва да се обосновават и проверяват.

Добър пример за лоша хипотеза представлява астрологията. Първо, ние сега говорим не за мястото на астрологията в културата преди 4 века, а за нейното място сега. Второ, няма никакви разумни основания за хипотезите, които лежат в основата на цялата астрологическа концепция. Но това не е главното. Всички са чели “Чапаев и празнотата”. Там има забележителен момент, когато Чапаев в същността си на Чапаев чисти един кон, а Петка се опитва да го обърка и го пита, къде е този кон. И онзи отговаря: “Ти да не си се побъркал? Ето го!”. Ако има факт, който може да се посочи с пръст, не е важно какво лежи в основата. Проблемът на астрологията е не само в това, че тя няма добри теоретични основи. Освен всичко останало, предсказанията могат

да се проверяват и статистически. И предсказанията на астрологията не издържат на такива проверки. Създателят на която и да било концепция е длъжен сам да я провери. Това, че астролозите не го правят, от гледна точка на съвременната наука представлява много сериозен аргумент срещу цялата астрология, защото това е просто ненормално. Днес методологията е свършено друга.

Друг подход се прилага към това, което става в главата на един изследовател или група изследователи. Там забраните са много по-малко. Там могат да се обсъждат идеи, които с нищо не се съгласуват. Не е правилно да се мисли, че всички учени свято спазват методологията. Хората изпробват най-различни подходи. И няма да се изненадам, ако някой проверява дадена идея само защото е сънувал нещо. Разбира се, никой няма да напише такова нещо в научна статия. Но тласъкът за работа може да бъде най-разнообразен. Важното е след тази мотивация в главата ви да има вече истинска научна част. Ако има такава и тя е нормално разработена, хипотезата минава от клас “в главата” в друг клас.

В основата на методите за работа с хипотези има две компоненти. Първото е *консерватизмът*, свързан с това, което се появява публично. Второто е *антидогматизмът*. Например намерен е нов тип източници. Могат да се разглеждат най-различни идеи. Човек може да не вярва в съществуването на извънземни цивилизации. Но виждайки много странен наблюдаем факт, той може да помисли за тази идея. Може би ще мисли за нея от гледна точка на това, как да я изключи. Това също е нормално. Но важното е, че няма принципна забрана в главата за разглеждане на такъв тип идеи.

От друга страна, има полузабрана, свързана с публичното представяне на тази идея. Тук подходът ще бъде достатъчно консервативен. Според мен, когато отваряш нова статия, нормалната реакция би била да се търсят недостатъците. Струва ми се, че нормалният учен трябва да подхожда към всяка публикация така сякаш са му я изпратили за рецензия. Тогава той трябва не да се опитва да разбере колко тя е чудесна, а да търси в нея дефекти. И тази комбинация от много консервативно отношение към другите разработки и към публичното представяне на своите, заедно с антидогматизма при самата работа, създава много здрава атмосфера.

Да вземем прост пример. От една страна, черните дупки като че ли не са открити. От друга страна, ние вярваме, че те съществуват, но без фанатизъм, защото това е един добър стандартен модел. Още една много важна компонента. Конкуренцията има изключителна стойност за науката. Тя е съществена в две свои разновидности. Това пак са консерватизъм и антидогматизъм. От една страна, всеки, който публикува някаква идея, трябва да е подготвен, че всички ще търсят в нея недостатъци. Това е сериозен момент на конкуренция.

Защо трябва да публикуваме в добри списания? Просто защото там е по-трудно да публикуваме. Съответно хората още преди да са прочели статията, но виждайки в какво списание е публикувана, стигат до извода, че самият автор избира добро списание. Ако човек сам си изпраща статията в лошо списание, най-вероятно той мисли, че материалът няма да бъде приет в добро, няма да мине през строгия подбор. Значи

по-просто е статията изобщо да не се чете. По астрономия излизат десетки списания. Но има пет най-добри списания, които трябва да се четат. Там почти никога няма слаби статии.

От друга страна, човек не може дълго да обмисля една идея, той трябва да се опита да я развие. На всеки в главата му идват мисли. И ако ти е хрумнала някаква мисъл и ти пет години мислиш за нея, но не я довеждаш до публикация, през това време тя ще хрумне на някой друг. Така че в науката е почти невъзможно да се скрие резултат. Това противоречи на психологията на учения.

Теорията за заговор от типа на този, че учените отдавна са открили извънземни, летящи чинии и др., драматично противоречи на психологията на учения. Бихме могли да повярваме, че специалните служби са ги открили. Но тогава те не бива да казват на учените, защото последните веднага щяха да се изпуснат. Това даже е развит сюжет в литературата. Би бил много голям проблем: човек измисля нещо, което носи колосална заплаха за човечеството. Той би стоял пред изключително тежък избор. Ученият страшно ще преживява. Ако той знае за съществуването на силен резултат, не е възможно да го запази в тайна.

Търсенето на извънземни цивилизации е много добър пример. Цялата тази тематика беше страшно популярна сред учените през 60-70-те години на миналия век. Хората сериозно се занимаваха с това. Относно конспирацията имаше такъв знаменит момент, когато бяха открити радиопулсарите. Една от първите идеи беше, че това е изкуствен сигнал, тъй като беше много качествен. И за много кратко време учените действително не публикуваха нищо. Те пазеха това в тайна в продължение на няколко седмици, което само по себе си говори за нивото на търпение при учените. И тези търсения са много добър пример за еволюцията на хипотезата.

Ще повторя, че през 60-70-те години на миналия век това е била добра тематика. С нея сериозно са се занимавали доста голям брой физици, астрофизици, провеждали са се конференции, опитвали са да изпращат сигнали и т.н. И резултатът беше абсолютно нулев. Просто за него сега са забравили. Не намериха нищо. Опитвах се да се хванат и за най-малкото, нямаше никакъв консерватизъм. Откриха звезда с потресаващо аномален химически състав. Технеций в звезда. Технеций живее много кратко време. От къде се е взел? Имаше идея, че това е изкуствен технеций, но след това откриха нов процес, който сега е стандартен в звездната теория на термоядрения синтез и обяснява това, как да се получи технеций.

Йосиф Шкловски напълно сериозно е казал, че Фобос, спътникът на Марс, отчасти е кух и е създаден изкуствено. Когато се появиха нови данни от наблюдения, се наложи да се каже, че все пак Фобос е напълно нормален. Такива примери има много.

Цялата идея за извънземни цивилизации е преживяла възходи и падения, при това за много кратък срок – около 20 години. И сега статусът на тази област на изследвания коренно се е променил. Тя не се смята нито за много популярно, нито за много достойно занимание. Получи се забележително разслояване. Има два термина, които станаха маркери за различните области. Има SETI – “търсене на извънземен разум”.

Тази дейност по малко продължава и досега. Остават ентузиастични. Но се появиха и други ентузиастични. Появи се уфологията. Появи се някаква дейност, която е ненаучна, защото в основата е заложено не някакво здраво чувство, желание да се разбере нещо, а е заложено, че това нещо съществува и то трябва само да се намери. Нарушена е презумпцията за невинност. Ако следователят е убеден във виновността и просто търси доказателства, той, разбира се, винаги ще намери нещо. Но важното за нас е да се намери истината. И разликата между науката и лъженауката е именно в това, че едната се опитва да намери истината, а другата търси улики, които доказват предварително произнесената присъда. Това е много добър пример.

Практиката показва, че няма нужда от специална научна област, която да е свързана с търсене на такива неща. Има нормални астрофизични изследвания. Техническите възможности сега се развиват изключително динамично. Сега почти във всички диапазони, като се изключи радиодиапазонът, само за една нощ се сканира цялото небе. И ако там има нещо интересно, то непременно ще бъде открито, не в резултат на специално търсене, а просто като се прави обикновена астрофизика. Такова нещо само ще попадне в кадър. Важно е просто да не се забравя, че това може да се случи.

Сега се разработва най-големият в света комплекс от радиотелескопи. Това ще бъде система от телескопи. Ще бъде най-скъпият наземен проект от такъв род. И там като последна точка от неговите задачи е записано “търсене на извънземен разум”. Хората не го забравят. Те оценяват приблизително как това може да се разбере. Така, най-вероятно, успехът ще дойде в резултат на стандартни търсения. Ние видяхме, че концепцията за разпространението на извънземния разум е претърпяла еволюция. Това, разбира се, не е единственият пример.

Да се върнем към астрологията. Хората казват: “Как така! Нали Кеплер се е занимавал с астрология!” Да, занимавал се е. Просто това е било преди 400 години. И в това няма нищо учудващо. Това е като високите скок. Можем да видим как са скачали преди 60 години и да се опитаме да скачаме по същия начин. Това няма да доведе до добри резултати днес. Преди 400 години са се занимавали с астрология. Но хипотезите претърпяват еволюция. И това е свързано с нормалното развитие на науката. Затова има полезно твърдение, че идеите умират заедно със своите създатели.

Идеята, която някога е била забележителна от научна гледна точка, след това се оказва невярна. И след определено време вече не е необходимо човек да се занимава с нея. Всичко вече е станало ясно. Добър пример за това е хипотезата за стационарност на Вселената. Преди 100 години тя е изглеждала напълно естествено. При това развитието е било зигзагообразно. От една страна, преди 400 години Нютон не се е съмнявал особено във факта, че светът е бил създаден. Значи той има крайна възраст. След това науката постепенно е откривала нови факти, които се съгласуват лошо с Книгата на Битието. И по-логично е започвала да изглежда вечната, безкрайна и неизменна Вселена. Преди 100 години това е била доминираща представа. Била е определяща дотолкова, че когато Айнщайн се е опитал да приложи своите уравнения към цялата Вселена и получил, че тя е нестационарна, той добавил нов член към своите

уравнения, който да компенсира възможното свиване и да направи всичко стационарно. Това било направено от философски съображения. Идеята за крайна Вселена към онзи момент е била страшно некомфортна. Айнщайн е казал, че здравият смисъл – това са предразсъдъците, които човек е усвоил до осемнадесет годишна възраст. И здравият смисъл просто е повлиял на уравнението в теорията. И когато през 1922 г. Александър Фридман...

Впрочем, ако попитаме кой от руските учени е най-известен в астрофизиката – това ще бъде Александър Фридман, който формално даже не е астрофизик. Той е бил математик и метеоролог. Та той получил решение на уравнението на Айнщайн без всякакъв допълнителен член и казал, че Вселената трябва или да се разширява, или да се свива. Тогава това не е следвало от никакви наблюдения, но много скоро е било открито разширяването на Вселената. Затова хипотезата за стационарна Вселена вече няма право на съществуване. При това се намират хора, които продължават да се занимават с нея. Това основно са хора, които през 60-те години на миналия век са били на толкова години, на колкото сега съм аз. Очевидно идеята за стационарната Вселена скоро съвсем ще изчезне.

Втората идея, която някога е била очевидна за всички, е разпространеността на планети от типа на Земята. Точно така, както и за стационарността на Вселената. Ако в науката съществува единна картина, за която всички говорят, това не означава, че говорещите за това учени не споделят стандартната хипотеза и абсолютната истина. Аз мога да ви кажа, че черни дупки съществуват. Това засега е стандартна хипотеза. Но вътре в главата си аз разбирам, че могат да се появят факти, които да докажат, че природата избягва формирането на черни дупки. И създава нещо много по-удивително. Да се върнем на разпространението на планетите. Преди 50 години хората са познавали една единствена планетна система. Трудно е да се прави статистика върху един единствен екземпляр. Хората са разсъждавали, предполагайки, че нашата планетна система е стандартна. Това е нормален принцип, че ние сме достатъчно типични. Това е един от принципите, които лежат в основата на науката. Оказало се, че в този случай това не е така. Слънчевата система всъщност съвсем не е типична.

Ето една красива картинка. На хоризонталната ос е нанесен размерът на орбитата на системата в астрономически единици. На вертикалната – масата на планетата в единици масата на Юпитер. Вижда се, че, първо, ние откриваме планети примерно като Юпитер и разположени много близко до звездата или малко по-далеч, но все пак по-близко, отколкото се намира Юпитер. Оказва се, че планетните системи от нашия тип се срещат доста рядко.

Разбира се, в далечни планетни системи засега ние не можем технически да видим планета от типа на Земята на разстояние една астрономическа единица от звездата. Но Юпитер на тяхно място бихме могли да открием. И се вижда, че няма никакъв максимум. Оказва се, че всички теории, които дават планетни системи от типа на нашата, имат много ограничена област на приложение и не обясняват наблюдаваната стандартна система. Ето още един пример. Планетата, обикаляща около Фомалхаут.

Това е масивна планета, намира се достатъчно далече. Ние виждаме как се върти. Ние изучаваме статистиката на различни планетни системи. И всички модели на еволюцията на формирането на планетни системи вече са значително напреднали. Старите хипотези, които са били адекватни дори само преди 20 години, се нуждаят от съществена модификация, защото вече не съответстват на фактите.

Въпреки всичко, някога тези отхвърлени хипотези са били стандартни хипотези. Това е много важен момент в живота на науката. И тук се получава объркване. Това, което сега е стандартна хипотеза, за неспециалисти може да изглежда като току що установена истина. Тук трябва да се прави разлика между тези две неща, защото иначе се създава погрешно впечатление, че учените непрекъснато лъжат. По-рано ние знаехме, че има протони и електрони. А после открихме неутроните. Оказа се, че всичко сме учили не както трябва. Или, изглеждаше, че електроните могат да бъдат представени като топчета, които се въртят около ядрото. След това се оказа, че всичко е много по-различно, така че дори не можем да си го представим, а можем само да пишем уравнения. Важно е добре да се разбере естественото развитие на научното знание.

Променя се животът, променя се и форматът на разказа. Сега форматът е по-скоро клипово-новинарски. Учените нещо са открили, а журналистът има 15 минути на разположение, за да го покаже. Това може да изглежда само като твърдение за истината. Ако започнете новината с думите “по всяка вероятност”, редакторът ще го задраска и ще каже: “Или са го открили, или – не!” Оказва се, че просто е невъзможно да се разкаже за повечето неща по такъв начин. Има един един стар виц: може да се разказва достъпно, вярно, кратко – изберете произволни две от тези три неща. Не е възможно да използвате и трите едновременно. Често се случва за науката да се разказва достъпно и кратко, но невярно. Така че със стандартните хипотези много често се получава объркване.

Задачата на учения се състои не толкова в използването на стандартни хипотези. Той използва например 10 стандартни хипотези. Той работи с девет, а една се опитва да отхвърли или да измисли своя на нейно място. С това се занимават учените. Но за да отхвърли една, той трябва да приеме другите като определена даденост. Защото няма да може да промени всички наведнъж. Има много стандартни хипотези. Всички те в един момент могат да се окажат неправилни.

“Има тъмна материя”. Това е стандартно предположение. Аз съм готов да се басирам с всеки, че тя съществува. Но аз разбирам, че мога да загубя. Странната материя може би съществува. Не е необходимо да убеждавате редактора на списанието – това е хипотеза, която се обсъжда. И така по целия списък, включително броя на измеренията на пространството. Ние знаем, че има x , y , z . Край. Тримерно пространство. Въпреки това съвременните теории оперират с многомерни пространства. Това е стандартна хипотеза. Ако пешеходец върви от пункт А до пункт Б, пространството е тримерно. Но ако ви се изпарява черна дупка, тук може да бъде съществено, че има още 7-8 измерения, където тя също може да се изпари. По този начин триизмерността на света може да бъде невярна.

По-нататък. Космологията. Тук ние най-ярко се сблъскваме със стандартните модели, при които всички разбират, че те могат да бъдат неправилни. Публикуват се и се обсъждат алтернативи на стандартните модели. Но е важно да се разбере, че има две групи хора. Те като че ли се занимават с едно и също: например с черните дупки. Аз се занимавам с астрофизика на черните дупки. Аз нищо не знам за алтернативите, детайлите, за това, какво се случва вътре. Аз използвам това като стандартна хипотеза и по-нататък проверявам стандартната астрофизика. А има хора, които работят върху алтернативите на черните дупки. Това е съвсем друга дейност. Засега те не са създали нищо, което бих могъл да използвам в астрофизиката.

Приблизително такова е положението и в космологията. Има стандартен Λ -CDM модел. CDM (cold dark matter) – това е студена тъмна материя. Λ – това е добавеният от Айнщайн допълнителен член, Λ -член който може да се интерпретира като тъмна енергия. В този модел влизат изотропия и еднородност на пространството. Това е хипотеза. Ние не можем да кажем изотропно и еднородно ли е пространството в голям мащаб. Ние имаме наблюдения, които показват, че всичко е еднородно и изотропно. Но точността винаги е крайна. И заради крайността на скоростта на светлината и крайността на живота на Вселената, ние не можем да го твърдим със сигурност. Всичко изглежда така, сякаш Вселената е еднородна и изотропна. Това е достатъчно, за да направи тези предположения стандартни. Но това не означава, че не са възможни промени на тази стандартна хипотеза.

“Тъмна материя”. Ние не знаем дали тя съществува наистина, не можем да я хванем, макар че смятаме, че съществува в огромни количества наоколо. Това е компонента на стандартния модел. Тъмната материя – това е добра стандартна хипотеза. Повече от 70% от Вселената е тъмна енергия, 23% – тъмна материя и няколко процента – обикновена материя, с която се сблъскваме ежедневно.

Какво днес е най-достоверното доказателство, че тъмна материя съществува? То идва от наблюденията на сблъскащи се галактични купове. В такъв процес ние можем да определим разпределението на материята, защото ние можем да измерваме масата. По гравитационното въздействие може да се открие каквато и да е било материя и да се начертае карта. От картата на разпределението на тъмната материя се вижда, че тя доминира. Едновременно с това може да се наблюдава и разпределението на газа, който излъчва в рентгеновата област. Този газ се удържа от силата на общата гравитация.

Какво се наблюдава? Наблюдава се, че галактиките се намират там, където се намира тъмната материя. А газът се намира по средата между тях. Това са сблъскащи се галактични купове – те преминават един през друг. След това преминаване се оказва, че газът и основната маса са разделени. Единственото разумно обяснение на това е, че основната маса е съсредоточена не в газа и в звездите, а в някаква тъмна материя, която сама със себе си и с газа почти не взаимодейства. Разбира се, тази картина може да бъде обяснена и без теорията за тъмна материя. Но обяснението ще бъде твърде неестествено. А теорията за тъмната материя изглежда е най-естественият модел.

В лабораториите се търси тъмна материя. Има няколко експеримента. И точно тук

се проявяват и конкуренцията, и консерватизмът. Има експеримент DAMA/LIBRA. Те заявяват, че отдавна виждат тъмна материя. Те виждат сигнал, който интерпретират по такъв начин. Освен тях никой не вижда нищо подобно. Всички експерименти са до някаква степен различни, те не са копия един на друг. Съществуват някакви ноу-хау, които хората не искат да споделят с другите. Това не е правилно.

Има и експерименти, които противоречат един на друг. Провеждат се независими проверки. На спътник лети чудесен италианско-руски уред “Памела”. Те виждат някакъв странен сигнал, който част от хората интерпретират като сигнал за аниhilация на тъмна материя. Лети гама-обсерваторията “Ферми”. Американците имат традиция да наричат спътниците в чест на известни учени и да ги кръщават след успешното им изстрелване. За да няма: “Михаил Ломоносов изгоря в горните слоеве на атмосферата”. Когато частици тъмна материя аниhilират помежду си, те се превръщат в други частици, в това число излъчват гама-кванти. Последните могат да бъдат уловени. Този “гама-спътник”, както се очаква, ще види сигнали от тъмна материя. Постоянно се появяват нови данни, които веднага се предоставят за масов достъп. Това, между другото, е нова и много хубава традиция в науката. Хората се проверяват един друг, намират грешките си, което е много важно. Буквално днес имаше статия за това.

От една страна, хората докладват резултат. От друга – веднага пишат, че той е предварителен. По-нататък. Има много примери за хипотези, които отначало са били страшно екзотични, после са преминавали в стандартни хипотези. Забележителен пример – неутриното. Неутриното е частица, която е била теоретично въведена от Паули по много добра причина: наблюдавал се е някакъв процес, в който изглеждало, че не се запазва енергията. Хора от най-висшите научни среди сериозно са обсъждали възможността законът за запазване на енергията да не е валиден в индивидуалните квантови процеси. Това е била публично обсъждана теория. Паули казал, че може би има частица, която много слабо взаимодейства с веществото и отнася част от енергията.

Оказало се, че е бил прав. Открили частицата, нарекли я “неутрино”. Слънцето например го излъчва. Ние можем сега да надникнем в самия център на Слънцето. Неутрино излъчват и атомните реактори. Отначало е било безумна хипотеза, после е станало стандартна хипотеза, а сега е просто работещ инструмент. Ние изучаваме Слънцето, вътрешността на Земята благодарение на неутриното. Това е нормалната еволюция в науката.

Общата теория на относителността също постоянно се проверява. И тези, които я проверяват, разбира се, искат да я опровергаят. 99% от учените, които се сблъскват с общата теория на относителността, я използват – необходима им е някаква теория на гравитацията, която е сигурна, проверена. Има малък процент хора, които се занимават непосредствено със самата теория на гравитацията. И за тях е безсмислено да се занимават с общата теория на относителността. Те се опитват да построят нещо ново.

Има много теории, които разширяват теорията на относителността, но от тях засега няма практическа нужда. Могат да бъдат използвани алтернативи, но в това няма голям смисъл. Черните дупки – това е естествено следствие на общата теория на

относителността. И пак всичко се разделя на две. Астрофизиците използват черните дупки като някакъв стандартен модел, опитват се да го проверят, а има теоретици, които се опитват да строят алтернативи.

Има много хубава фраза относно източниците в съзвездие Лебед. Източниците на рентгенови лъчи се означават с буквата Х (хикс). Черната дупка в източника Лебед Х-1 – това е най-консервативната хипотеза. Ако се опитаме да пхнем там нещо друго, ще бъдат необходими “най-безумните” модели.

Сега най-сигурната черна дупка се намира в центъра на нашата галактика. Ние виждаме как звездите се въртят около черната дупка. Ние можем да измерим масата. Това е масата на около 4 милиона слънчеви маси. Ние я знаем с точност до 1 милион, но това е много висока точност. Това не може да бъде 10 и не може да бъде 1. И е много трудно да се измисли друго, освен черна дупка, за да се обясни как може да се пхне в такъв малък обем толкова голямо нещо и то да не свети.

Миналата година се появи поредната много добра работа, която описва много просто нещо. Веществото тече върху централния обект. Има поток от газ. Ако там няма хоризонт, а има някаква стена, то веществото ще се удари в стената и ще отдели енергия. При това ще се отдели много енергия. Разбираемо е, че ако просто вземем нотбука и го хвърлим върху неутронна звезда, при падането от удара ще се отдели повече енергия, отколкото в Хирошима.

Гледайки как веществото пада върху централния обект в нашата галактика, ние виждаме, че се отделя много малко енергия. И може да се пресметне колко е трябвало да се отдели по пътя, а колко – при удар в каквато и да е било стена. И се получава, че там няма стена. Това не е съвсем пряко доказателство. Но се поставят много твърди ограничения на модела, които биха могли с помощта на разумната физика да обяснят такъв плътен и компактен обект, без да прибегват до концепцията за черна дупка.

Има други системи – двойни, където веществото тече върху компактният обект от съседната звезда. Ако тук има неутронна звезда, веществото се натрупва (водород) и следва термоядрен взрив. Сега да си представим, че имаме черна дупка. Взривове няма да има. И наистина ги няма. Може да се покаже, че в много алтернативи на черните дупки все пак има натрупване на вещество. И някакви светвания трябва да има. Търсиха ги. И се изясни, че моделите, които се смятаха за добра алтернатива на черните дупки, не минават. Има пряк тест, който ги убива. Така че ние не можем да докажем, че това е черна дупка. Но ако идва някой и казва, че това не е черна дупка, а “еди какво си нещо”, ние можем да покажем, че еди какво си нещо там не може да се намира. Защото може да се направи ясно предсказание, което не издържа на проверката на наблюдението.

Изводът е следният. Често хора, които се сблъскват с някакъв сложен модел, имат желанието да махнат с ръка и да кажат, че всичко е по-просто. Не. Може би вие сте измислили нещо, което ще проработи. Но това ще бъде по-сложно, отколкото стандартната хипотеза. Сега стандартната хипотеза – това винаги е най-простото. Можем да измислим модели без тъмна материя. Но такива модели, ако те могат да обяснят

всички наблюдавани факти, ще бъдат по-странни и по-сложни, отколкото хипотезата за тъмната материя, или пък нещо няма да могат да обяснят.

Тук се сещам за един мит на островните народи. Защо папагалът има пъстри пера? Отначало той имал сиви пера. Но папагалът отишъл да се къпе, съблякъл се на брега и зачал да дойде друга птица. Тя дошла, съблякла се, той грабнал ярките й пера и избягал. Това прекрасно обяснява, защо папагалът има ярки пера, но не обяснява, защо те са били ярки при другата птица. И алтернативите, които се опитват да заменят хипотезите, са сходни. Те могат да обяснят нещо, но не обясняват следващото ниво. Затова те не могат да бъдат приети за разумни хипотези. Но при все това има много интересни алтернативи. Аз ще ви посоча три.

Модифицирана динамика на Нютон – това е алтернатива на тъмната материя, модел, в който няма тъмна материя, но законът за гравитацията хитро се променя. По този начин могат да се обяснят много неща. Но когато се увеличава комплексът от данни, се оказва, че е необходимо да се въведат нови тъмни същности. Има алтернатива на черните дупки – гравезвезди. Всичко е много хубаво, но това е странен обект. Така може да изглежда на хартия. Но как се получава реално – не е ясно. А как да се направи черна дупка ние знаем. Има алтернатива на тъмната енергия. Трябва просто да се откажем от еднородността и изотропността.

Ако Вселената в голям мащаб е нееднородна, може би нашата наблюдавана област се разширява в по-голяма област, затова се разширява ускорено. Всичко това е прекрасно, но за тази цел ние трябва да се намираме точно в центъра. И да се въведе това като принцип, ще бъде далеч по-малко комфортно за повечето учени, отколкото да се въведе нов вид поле или ново свойство на вакуума, което осигурява това ускорено разширение. И така големи комплекси от данни или ключови факти убиват много алтернативи.

Има много хубава концепция за странната материя. Тя се появи в началото като лоша хипотеза. Ние се състоим основно от протони и неутрони. Те се състоят от кварки. Кварките са последното ниво на материята. Когато те бяха предложени в средата на 60-те години, двама съветски учени казаха, че в неутронните звезди плътността е толкова голяма, че е възможно протоните и неутроните да са сближени до такава степен, че кварките вече не са заключени вътре в протоните и неутроните, а се движат свободно, като образуват едно цяло. Тогава това беше просто хипотеза.

После бяха открити други типове кварки – странните кварки. И учените успяха да покажат, че такова вещество може да бъде стабилно. Но засега само на теория, експериментално не е изследвано. Това е странната материя. Странна, защото там има кварк, който се нарича странен. Кварките въобще имат такива странни имена. Ако тази хипотеза е вярна, това е най-устойчивото състояние на веществото. И при големи плътности веществото от само себе си премина в това състояние, защото то е енергетично изгодно. Неутронните звезди могат да се сблъскват една с друга.

Има двойни системи, състоящи се от две неутронни звезди. Те могат да се сблъскват, да се сливат, като отделят голямо количество енергия. И разпръскват капчици

странно вещество – страпчици. А след това те могат, летейки из Вселената, да заразяват други неутронни звезди, като ги превръщат в странни. И при някои параметри всички неутронни звезди трябва да бъдат странни. Ако това е така, основната част от материята ще влезе в получения компактен обект, а част ще бъде разхвърляна в пространството. Засега това е такава хипотеза с оценка три плюс.

Има солидни теоретични основания да се смята, че това е точно така. От друга страна, всички опити да се намерят свидетелства за съществуването на странна материя засега за безуспешни. Но това е легитимна теория и ще стане интересно, ако кварковата материя съществува. И така, да се върнем към началния въпрос: с какво тъмната материя е по-добра от НЛО? Оказва се, че почти с всичко. Макар че засега не е намерен и грам тъмна материя. Тъмната материя – това е много консервативна хипотеза, обясняваща голям комплекс от наблюдавани данни много по-добре, от която и да е алтернатива на този модел.

Хипотезата пък, че има извънземни НЛО – това е много екстравагантно обяснение за набор от непотвърдени данни. Съществено е и това, че хипотезата за технологически НЛО противоречи на редица стандартни хипотези. Да си представим, че в момента не виждаме нито един автомобил. Но всеки химик ще ви каже, че може да се вземе един кубически сантиметър въздух от където и да е, да се анализира и това ще бъде достатъчно да се докаже, че отвън има автомобили. Даже ще бъде възможно да се оцени тяхното количество отвън. По същия начин, ако са верни стандартните хипотези за това как може да изглежда една цивилизация, ще влезем в противоречие с твърденията, че почти до всяко село се е приземявала летяща чиния.

И се оказва, че при всички странности тъмната материя е по-добра от НЛО, а единадесетмерното пространство е по-добро от хомеопатията просто защото едното е свързано с по-голямо количество връзки с действително наблюдаеми явления и теоретичните връзки са построени по-добре, отколкото в лошите модели.

Борис Долгин: Изложеното много добре показва науката като социален институт, където има напълно определени конвенции за това, как трябва да се осъществява комуникацията, как трябва да се строят хипотези, как трябва да протича обсъждането, как се работи с тях по-нататък, какъв жизнен цикъл имат от зараждането до появяването на други.

Лекцията, изнесена на 25 февруари 2010 г. в Политехническият музей на Москва в рамките на проекта «Публичные лекции Полит.ру» (вж. <http://polit.ru/lectures/2010/04/19/astro.html>).

Превод: Пламен Физиев

АНДРЕ-МАРИ АМПЕР ("НЮТОН НА ЕЛЕКТРИЧЕСТВОТО")

"Това съчетание от теория и опит с цялата си мощ, в пълната си сила е родено от "Нютон на електричеството"."

Дж. Максвел

Никола Балабанов

Сред великаните на физиката

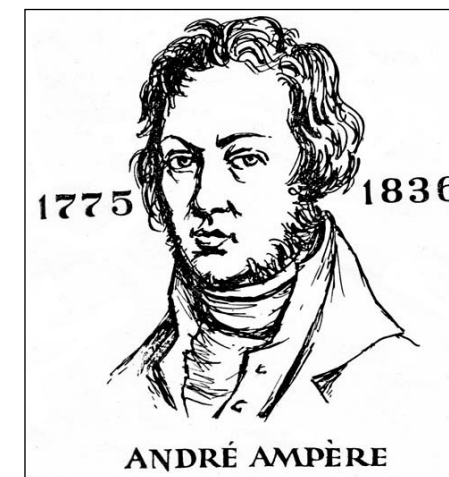
Джеймс Максвел – съзателят на теорията за електромагнитните явления е "присъдил" това високо звание на един от своите предшественици – френският физик Андре-Мари Ампер. За този случай с пълно право може да се използва пословичната фраза на Нютон и да се твърди, че Ампер е един от великаните, на чиито рамене е успял да се изкачи великият Максвел. Защото, както е известно, в "царствените уравнения" на Максвел се съдържа и законът на Ампер, наред със законите на Кулон и на Фарадей.

По-пълна представа за оценката на Максвел ще получим, ако приведем цитат от излезлия през 1873 г. в Оксфорд негов "Трактат за електричеството и магнетизма": "Експерименталният метод, чрез който Ампер открива закона за механичното взаимодействие между електричните токове, е едно от най-блестящите постижения на науката. Струва ти се, че това съчетание от теория и опит с цялата си мощ, в пълната си сила е родено от "Нютон на електричеството". Формата му е съвършена, точността безупречна и всичко се резюмира в една формула, от която могат да се изведат всички явления и която трябва да остане завинаги като основна фундаментална формула на електродинамиката."

Интересно е, че голямото откритие на Ампер е направено по един забележителен начин, който позволява да се правят аналогии с онези

звездни мигове в културната история на човечеството,

когато за много кратко време – за месеци, дори за седмици се създават ценности с огромно значение. Като класически пример за такъв размах на творческото вдъхновение обикновено се сочи "Болдинската есен" на А. С. Пушкин – пребиваването на поета през есента на 1830 г. в имението Болдино край Нижни Новгород. Принуден от избухналата епидемия на холера да се задържи в това имение, за три месеца (от септември до ноември) Пушкин създава около 50 произведения от различни жанрове



с огромно значение. Тук той довършва романа “Евгений Онегин”, цикъла “Повестите на Белкин”, трагедиите “Скъперникът рицар”, “Моцарт и Салиери”, “Каменният гост”, “Пир по време на чума” и написва десетки стихотворения.

Най-популярен подобен случай във физиката е творческият размах на А. Айнщайн през 1905 г., заради когото сега я наричаме “година на чудесата”. Това събитие заслужава да се нарече “Бернската пролет” на Айнщайн – за около три месеца той завършва три статии, с които поставя началото на три нови фундаментални направления във физиката:

- 17 март – Айнщайн завършва статия върху хипотезата за светлинните явления;
- 11 май – получена е статията му за брауновото движение;
- 30 юни – получена е първата статия върху специалната теория на относителността.

По-малко популярен е друг подобен случай в историята на физиката, който може да се нарече

“септемврийското озарение” на Ампер.

В 15-ия том на “Анали на физиката и химията” е публикуван “Труд, представен на Кралската академия на науките на 2 октомври и съдържащ резюме на докладите, прочетени в академията на 18 и 25 септември 1820 г., относно действието на електричните токове.” Този труд бил завършек на напрегнатата работа на Ампер за изследване на едно ново явление, изпълнена за изключително кратко време – за две седмици.

Подтик за тази напрегната и успешна дейност дало откритието на датския физик Ханс-Кристиан Оерстед, за което той съобщил в брошура, излезла в Копенхаген на 21 юли 1820 г. Оерстед установил, че магнитна стрелка, поставена близо до проводник, по който тече електрически ток, се отклонява от нормалното си положение. В началото ученият не си дал сметка за голямото значение на нищожното отклонение на стрелката. В действителност, този скромнен по същество опит (известен днес на всеки деветокласник) предизвикал **първата пукнатина в нютоновския модел на света**.

По това време нютоновската физика в лицето на класическата механика е достигнала върховете на математическото съвършенство и красота. Затова и откритията, направени в електростатиката и магнитостатиката в края на XVIII век били възприети като допълнителни приложения на универсалната механика. Откритите от Шарл Кулон закони за взаимодействие между електрични заряди (1785 г.) и между точковите магнитни полюси (1788 г.) силно напомняли закона на Нютон за гравитационното взаимодействие.

Опитите на Оерстед предизвикали любопитството на европейския научен елит. Те били незабавно повторени в Германия, Франция, Швейцария. Без още да е било осъзнато същинското значение на откритието, то поставило началото на истинска

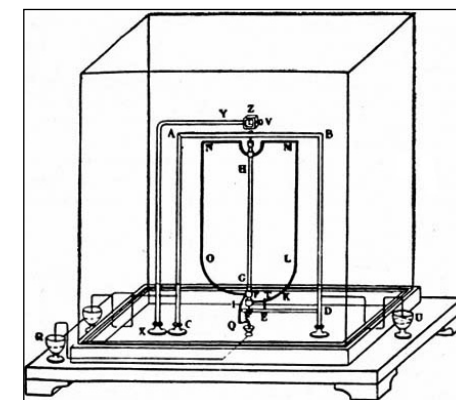
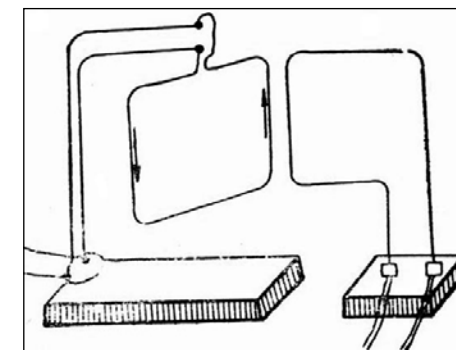
верижна реакция

в Парижката академия на науките. На 4 септември 1820 г. Доминик Араго (физик,

математик и политически деец) докладвал пред Академията за опитите на Оерстед, които скоро преди това бил наблюдавал на конгрес на природоизпитателите в Женева. На проф. Араго било поръчано да повтори опитите на следващото заседание. Заседанията на Академията по традиция се провеждали всеки понеделник. В протокола от 11 септември 1820 г. е записано: “г-н Араго повтори пред Академията опитите на г-н Оерстед”.

Любопитно е да се знае, че членовете на френската академия по това време са Лаплас, Гей-Люсак, Поасон, Лежандър, Био, Монж, Коши, Френел, Фурие, Дюлонг – все знаменитости в математическите и природните науки. Повечето от присъстващите на заседанието приели демонстрациите на Араго като интересно явление, а някои от тях, като Лаплас, Био и Савар, през следващите седмици се задълбочили в неговото изследване. Истински творчески взрив обаче, откритието на Оерстед предизвикало в мисленето и действията на Ампер. Със скромните средства, с които разполагал (по принцип той се занимавал основно с математика), той възпроизвел опита на Оерстед и за една седмица направил изследвания, за които докладвал на 18 септември 1820 г. На заседанието на Академията той представя мемоар със заглавие: “За действието, упражнявано върху един електричен ток от друг електричен ток, от земното кълбо или от един магнит”.

Ето как самият Ампер резюмира своя доклад: “Аз сведох наблюдаваните от г-н Оерстед явления до два общи факта. Показах, че токът, съществуващ в самия волтов стълб, действа на магнитната стрелка така, както и токът на съединителния проводник. Описах опити, с помощта на които установих привличане или отблъскване на цялата магнитна стрелка под действието на съединителния проводник. Описах уреди, които смятах да направя, между тях галванични винтове и спирали. Посочих, че последните във всички случаи ще предизвикат същите действия, каквито предизвикват и магнитите. След това засегнах някои подробности от възгледа ми за магнитите, според който те дължат своите свойства единствено на електричните токове, разположени в перпендикулярни на техните оси равнини. Също така засегнах някои подробности за подобни предполагаеми от мен токове в земното кълбо. Така всички магнитни явления сведох до чисто електрични действия.”



Оригинални опитни постановки на Ампер за изследване на взаимодействието между проводници, през които протича електрически ток

Неслучайно историците сочат 18.09.1820 г. като паметна дата за електротехниката – още в първия доклад на Ампер се съдържа неговата революционна теория за магнетизма, която слага край на дотогавашните представи за някакви “магнитни течности” и безтегловни магнитни субстанции. Съвсем правилно един от съвременниците на тези събития констатира, че наблюдаваното от Оерстед явление с изиграла

“ролята на искра, която имала за резултат една голяма експлозия”

– това са откритията на Ампер.

На следващото заседание на 25 септември Ампер демонстрира ефектите, които е предсказал предишната седмица. През следващите три месеца той е главно действащо лице в Академията – представя мемоари за своите изследвания на 2, 9, 16 и 30 октомври, на 6 и 13 ноември, на 4, 11 и 25 декември. Този триумфален подход на учения не е бил съвсем безпроблемен. Някои негови колеги изказвали съмнения или възражения, други демонстрирали пренебрежение. Разказват, че след първата демонстрация на Ампер, Лаплас изчакал публиката да си разотиде, приближил се до асистента на учения, потупал го по рамото и гледайки го вторачено в очите, попитал: “Да не би вие, младежо, да побутвахте проводниците?”

Възможно е това да е шега, защото през следващите месеци самият Лаплас, както и Араго, Био и Савар и други членове на Академията са се занимавали с подобни изследвания. През същата година (1820) немският физик Й. Швайгер изобретява галванометъра (“мултипликатор”), с който може да се измерва магнитното действие на слаби токове.

Нека в обобщен вид посочим **основните постижения на Ампер**:

- той открива взаимодействието между електрични токове и установява закона за това взаимодействие (Закон на Ампер);
- установява правилото, определящо зависимоостта между направления на електричния ток и посоката на магнитното поле, създавано от този ток (правило на Ампер);
- изказва хипотезата за молекулярни токове като полага в нейната основа теоремата за еквивалентност на токове и магнити. В хипотезата на Ампер е била предсказана в качествена форма съвременната електронна теория за магнитните свойства на атомите и веществото;
- изказва идеята за използване на електромагнитните явления за предаване на сигнали (идеята е реализирана 15 години по-късно от американския изобретател С. Морз);
- въвежда използваните до днес термини: “електричен ток”, “електрическо напрежение” и др.

Както споменахме вече, по това време физиката все още се развива под флага на Нютоновата механика. Самият Ампер търси своя закон, опирайки се на третия закон на механиката. В това търсене той пръв установява наличие на механично взаимодействие между токовете, които могат да бъдат в зависимост от направлението им както сили на привличане, така и на отблъскване. Но Ампер разбира, че това са нов тип сили, различаващи се от известните в електростатиката. Той установява, че елементарните

взаимодействия между два токови елемента не удовлетворява третия закон на Нютон. Те се различават от познатите централни сили – както от гравитационните, така и от електростатичните.

Голямата заслуга на Ампер е, че той преосмисля възгледите за електричеството и магнетизма. При тълкуване на опитите на Оерстед и Ампер повечето физици са се придържали към обяснението, че проводникът, по който протича електричен ток, се превръща в магнит. Така са мислели авторитетни учени като Араго, Деви, Био. Ампер предлага друго обяснение, което може би е най-големия му принос в науката: не проводникът се превръща в магнит, а обратното – магнитът представлява съвкупност от токове. Той създава първата теория за магнетизма, която се основава на хипотезата за молекулярни токове, според която магнитните свойства на веществата се обуславят от електрични токове, циркулиращи в техните молекули. Тази теория поставя край на представите за някакви “магнитни течности” като особен носител на магнитните свойства и представлява предвестник на електронната теория на магнетизма. Схващанията на Ампер са противоречели на общоприетото по онова време разбиране, което показва каква научна смелост е притежавал той.

Може би е редно да приведем и някои факти от биографията на учения, още повече, че в нея се срещат любопитни (в т. ч. и драматични) епизоди. Без преувеличение може да се каже, че Ампер е бил

вундеркинд – съчетание на талант и трудолюбие.

Роден е на 22.01.1775 г. в Лион. Получава домашно образование. От рано проявява изключителна любов към книгите, голямо трудолюбие и феноменална памет. Биографиите му описват самотния начин, по който се занимава с аритметиката. Той започва да смята, преди да може да чете и изчисленията прави с помощта на камъчета и бобени зърна (дори с налични късчета от бисквити).

На 14-годишна възраст вече е прочел 20-томната енциклопедия на Дидро и Даламбер (казват, че я научил почти наизуст). Проявява изключително разнообразие в интересите си, изучава математика, физика, химия и биология, история и литература. Усвоил знанията, съдържащи се в богатата бащина библиотека, Ампер решава да изучи трактатите на Бернули и Ойлер. Отива в градската библиотека и поисква техните трудове. Узнава, че те са написани на латински и заявява: “В такъв случай ще дойда след два месеца. Надявам се дотогава да науча достатъчно латинския, за да мога да се справя.” След два месеца 14-годишният юноша се появява отново в библиотеката, за да получи желаните книги.

Същата година представя в местната академия своя първи научен труд: “Върху изчислението на квадратурата на кръга”. През следващата година (1790) 15-годишният Ампер представя в парижката академия свои разсъждения върху парадоксите на Ойлер. През 90-те години на XVIII век публикува работи по геометрия, теория на вероятностите, диференциалните уравнения и др.

През 1802-1803 г. излизат неговите мемоари: “Съображения за математическата

теория на игрите”, “За интегриране на диференциалните уравнения”, “За прилагане на общите формули на вариационното смятане при задачите по механика”.

Известният с приносите в математиката и физиката Даламбер следи неговото развитие и през 1804 г. го кани в Париж като преподавател в Политехниката. През 1809 г. Ампер става титуляр на катедрата по висша математика и механика в Парижката политехника. Неговите математически трудове са високо оценени от специалистите. Известният френски математик Пол Апел казва: “...само тези трудове, даже без неговите безсмъртни работи по електродинамика, позволяват Ампер да се постави в първия ред математици, създали съвременното математическо знание, и да се сравнява с блестящите учени в тази област – Лаплас, Лагранж, Монж, Ермит, Поанкаре и други.”

През 1813 г. умира най-прочутият френски математик Лагранж. През следващата година (1814) на вакантното място в “Академията на безсмъртните” е избран Ампер. В края на същата година е награден с Ордена на почетния легион. По-късно е приет за член на Кралското дружество в Единбург, в Швейцарското и Италианското научни дружества, в Берлинската академия, в Петербургската академия и др.

Славата, обаче, не е била единствена спътница в живота на Ампер. Може да се каже, че в личния живот непрекъснато са го съпровождали

нешастия, страдания и огорчения.

Първият голям удар бил екзекуцията на баща му през 1793 г. След избухването на Френската революция бащата на Ампер приема поканата на революционното правителство и става съдия в Лион. Като такъв е издал смъртна присъда на един от видните якобинци. Когато якобинците превземат града, обезглавяват Жан Жак Ампер и конфискуват всичкото имущество на семейството. Това се отразило силно на психиката на Андре Ампер. Едва след една година той започнал да се занимава с ботанически дейности, което го извело от тежкото душевно състояние.

През 1796 г. Андре се влюбва в красивата Жюли Карон и след три години идилична любов двамата сключват брак. Ражда им се син – Жан Жак Ампер. Щастливият брак продължава само четири години – съпругата му умира. През 1806 г. Ампер се жени повторно, но този път бракът му е неудачен. (Любопитно е, че на сватбата присъстват такива знаменитости като Лаплас и Лагранж.) Втората му съпруга се оказва изключително зла жена, която буквално трови живота на учения. Следват години на големи неприятности, раздяла със съпругата и непрестанни грижи за сина Жан Жак. Ампер трябвало да издържа на всички изпитания в личния си живот заедно с напрегнатата изследователска и преподавателска дейност. Някои колеги го кръстили “Вертер в лабораторията”, имайки предвид романа на Гьоте “Страданията на младия Вертер”.

Грижете за сина дали добри резултати. Жан Жак изглежда е наследил някои от дарбите на талантливия си баща. Израснал като признат филолог и литературовед. За приносите му в литературата също бил избран във френската академия. Въпреки че приживе бил познат сред обществото от баща си, днес името на Ампер-син никъде не се споменава.

През последните години от живота на учения между него и сина настъпва отчуж-

дение. Причината била силното увлечение на Жан Жак по прочутата мадам Рекамие. Летописците не спестяват възторжените епитети за тази жена: “божествената Рекамие”, “първата красавица на Европа”, “Най-красивата жена на Стария и Новия свят”. Между многобройните ѝ обожатели били писателите Шатобриан и Констан, художниците Давид и Канова (които я обезсмъртяват в портрети и скулптури), по-малкият брат на Наполеон – Люсиен. Чаровницата била с 23 години по-възрастна от Жан Жак Ампер, но той изпитвал страстно и нежно чувство към нея, което не отслабнало до смъртта ѝ. (В салона на мадам Рекамие са се събирали министри и обществени дейци, художници и писатели, членове на императорското семейство, учени. На едно от събиранията Ампер запознал 20-годишния си син с легендарната красавица. Магнетизмът на мадам Рекамие се оказал по-силен от магнитите на Ампер-баща, който мечтаел синът му да се ожени за дъщерята на прочутия биолог Кювие.)

В заключение ще разкажа един забавен случай от живота на физика Ампер, с който историците “украсяват” биографията му. Става дума за неволен сблъсък между свръхделикатния учен и могъщия император Наполеон Бонапарт. Но за да не се тълкува едностранчиво този “конфликт”, преди това ще посоча връзката между

Наполеон и науката за електричеството.

Военните дарби и талантът във военното изкуство на прославения пълководец са всеизвестни. Той е завършил Парижкото военно училище, където му е преподавал Лаплас, към който той запазил за цял живот огромно уважение. По-късно при срещите си със своите преподаватели той ги удивлявал с познанията си в специалните отрасли на науката. Възпитан с прогресивните идеи на Френското просвещение, последовател на Жан Жак Русо, Наполеон е бил един от образованите хора на своето време. На 25.12.1797 г. Академията на безсмъртните го избира за свой член – в секцията по механика към физико-математическото отделение. Любопитен факт е, че за овакантеното място са кандидатствали дванадесет души, но при избора Наполеон е набрал най-много гласове. Той се гордеел с този акт и акуратно е посещавал заседанията на секцията (вероятно когато не е бил на походи).

Историците отбелязват, че Наполеон има определени заслуги за развитието на науката във Франция и по-специално за физиката на електрическите явления. Още в ролята си на Първи консул той проявявал интерес към електричеството и бил уверен в неговото огромно



Александър Волта демонстрира изобретената от него батерия “Pila” пред Френската академия в присъствието на Наполеон (1801 г.)

бъдеще. Само няколко месеца след като италианският физик Волта създал първата електрическа батерия (1799 г.), Наполеон му устройва помпозно посрещане в Париж, провъзгласява го за рицар на Почетния легион, присъжда му званията сенатор и граф.

Първият консул посещава лекциите на Волта, дори след една от тях произнесъл реч, в която оценил посещението на учения като голямо събитие в историята на френската наука. По-късно обещал огромни суми за провеждането на изследвания в областта на електрическите явления, учредил премия от 60 хиляди франка за поощряване на тези изследвания. В постановлението, подписано от него се казвало: “Моята специална цел е да се поощрят учените и да се насочи тяхното внимание към този раздел на физиката, който, според мен, представлява път към велики открития.”

Каква прозорливост! Науката за електричеството е била в своя начален стадий и никой още нямал ясна представа за практическото ѝ приложение. Споменавам тези факти за заслугите на Наполеон, защото “конфликтът” между него и Ампер, за който ще разкажа, не е сблъсък между генерал-профан и учен-ерудит, а между двама достойни мъже.

На едно от заседанията на Академията, докато Ампер докладвал свой математически мемоар (преди 1820 г. той почти не се занимавал с физически проблеми), в залата влязъл самият император и седнал на неговия стол. Завършвайки доклада си, ученият се запътил към своето място и видял, че то е заето от непознат за него човек. След като се повъртял смутено, Ампер се обърнал към председателя: “Господин председател, откога в Академията се допускат чужди хора?”. “Но това е член на Академията” – отговорил водещият. Тогава Ампер се обърнал към непознатия си “колега”: “От кога сте член на Академията, господине?”, “От 25.12.1797 г. – в секцията по механика” – усмихнато отговорил “чужденецът”.

Ампер отворил справочника на Академията и видял, че на тази дата е приет Наполеон Бонапарт. Започнал усилено да се извинява. Случаят обаче развеселил императора. Той дори поканил разстроения учен на вечеря в двореца, като му обещал място до самата императрица.

Казват, че на уговорената вечеря Ампер не се явил. Наполеон го чакал цял час и едва след това разрешил да сервира.

Много анекдоти има за разсеяността на Ампер. Може би поради тази причина той не е отишъл на вечеря в двореца. Ученият, който помнил наизуст 20-томната енциклопедия и всичките томове на Евангелието, “забравил”, че трябва да посети императорското семейство.

Не е ли това някакъв знак на Природата за своеобразната ранжировка, която тя си позволява да прави по отношение на великите мъже?!

Литература

1. Белькинд Л.Д., “Л.М.Ампер, 1775-1836”, М., 1968
2. Чимев, К, сп. “Математика”, 1980, бр. 4, стр. 2
3. Дорфман, Я.Г. История на физиката, т.2 “Наука и изкуство”, София, 1982
4. Марков С., Андре-Мари Ампер, ДИ “Народна просвета”, София 1967
5. Манфред, А.З. Наполеон Бонапарт, Изд. “Мисъл”, М. 1973

Прощална лекция на Давид Хилберт (1862-1943), четена при емеритирането му през 1930, тридесет години след прочутия му доклад от 1900 пред Международния математически конгрес в Париж, където той формулира знаменитите си 23 проблеми, които деветнадесетият век завещава на двадесетия.

ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ И ЛОГИКА

Давид Хилберт

Да познаваме природата и живота е нашата най-благородна задача и крайна цел на всички човешки стремежи и желания. С времето тези усилия стават все по-плодотворни. През последните десетилетия успяхме да разширим и задълбочим нашите знания за природата много повече, отколкото през също толкова столетия от миналото. Нека днес използваме тази благоприятна възможност, във връзка с нашата днешна тема, да разгледаме стария, многократно обсъждан философски проблем: какво част от нашето познание се дължи от една страна на мисълта, а от друга – на опита. Този стар въпрос е оправдан, защото да му бъде отговорено по същество означава да бъде установено какъв е характерът на нашето естествознание и в какъв смисъл е истинно знанието, което получаваме от дейността си в естествените науки.

Без надменност спрямо старите философи и изследователи, днес с по-голяма увереност от тях, поне по две причини можем да разчитаме на по-правилно решение на този въпрос. Първата от тях е вече споменатото бързото развитие на съвременната наука.

Най-значителните открития на миналото – от Коперник, Кеплер, Галилей и Нютон до Максвел, са разделени далеч едно от друго в интервал от почти четири столетия. Новото време започва с откритието на вълните на Херц, а след това ударите следват един след друг: Рънтген открива лъчите, наречени на негово име, Кюри – радиоактивността, а Планк полага основите на квантовата теория. А в най-ново време откритията на нови явления и на поразителни зависимости припират едно след друго, така че изобилието на действащите лица е дори обезпокоително: теорията на радиоактивността на Ръдърфорд, Айнщайновият $h\nu$ -закон, обяснението на спектрите от Бор, номерирането на химичните елементи от Мозли, теорията на относителността на Айнщайн, теорията на Ръдърфордовия разпад на азота, строежът на атома на Бор, теорията за изотопите на Астън.

Станахме свидетели на непрекъсната верига от открития, и то какви открития! По значение нито едно от тях не отстъпва на постиженията в миналото, но сега те следват едно след друго в извънредно кратки промеждутъци от време и са вътрешно толкова многообразни колкото откритията на миналото. В новите открития постоянно се забелязва тясна взаимовръзка между теория и практика, мислене и експеримент. Ту теорията, ту експериментът излизат напред, потвърждавайки, допълвайки и стимулирайки. Нещо подобно наблюдаваме и в химията, астрономията и биологичните дисциплини.

В сравнение със старите философи сега притежаваме предимството в продължение на нашия живот да бъдем свидетели на много открития и да се запознаем с последвалите ги нововъведения. Много от тях коренно измениха, и дори отстраниха, стари и утвърдени представи и възгледи. Да припомним, например, новото разбиране за време на теорията на относителността или разпада на химичните елементи и как бяха отстранени предразсъдъци, до които по-рано никому не би дошло на ум да се докосне.

Но за решението на стария философски проблем, за който вече споменах, сега съдейства и друго обстоятелство. В днешно време на недосегаеми висоти се издигнаха не само техниката на експериментиране и изкуството да строим зданието на теоретичната физика, но и науката логика постигна значителни успехи. Днес съществува общ метод за разглеждане на природонаучните въпроси, който във всички случаи облекчава уточнената постановка на проблемите и спомага за тяхното решение. Това е аксиоматичният метод.

Какво отношение има този проблем към аксиоматиката, за която днес се говори толкова много? Основната идея се свежда до това в обширни области на науката да се формулират малък брой твърдения, наречени аксиоми, от които след това по логичен път да се изгради цялото здание на теорията. Но с това значението на аксиомите съвсем не се изчерпва. Най-добре същността на аксиоматичния метод може да бъде разбрана с примери. Най-древният и най-известен пример на аксиоматичен метод е Евклидовата геометрия. Но тук искам да поясня същността на аксиоматичния метод върху един много ярък пример от съвременната биология.

Дрозофилата е малка плодова мушичка, но нашият интерес към нея е голям. Тя се е превърнала в обект на обширни, прецизни и успешни експерименти по селекция. Обикновено, тази мушичка е сива на цвят, с червени очички, без петна, с закръглени или с дълги крилца. Срещат се обаче и жълти мушички с бели, а не с червени очички и т. н. Обикновено тези пет споменати тук признаци са взаимосвързани, т. е., ако мушичката е жълта, тя е с бели очички, с петна, а крилцата ѝ имат изрезки и са скосени. Ако мушичката има коси крилца, тя е жълта, с бели очички и т. н. При подходящо кръстосване в потомството се появяват неголям брой отклонения от обикновените комбинации на признаците, при това в постоянни пропорции. Характеризиращите тези отклонения числа се определят експериментално. Те удовлетворяват евклидовата аксиома за конгруентност и аксиомата за геометричното понятие „между“. Затова законите на наследствеността са едно приложение на аксиомите за линейна конгруентност, т. е. на елементарните геометрични теореми за отрязъци, наслагвани на права, при това с такава удивителна точност, за каквато не би могла да мечтае и най-смелата фантазия.

А ето още един пример за аксиоматичен метод, заимстван от съвсем друга област. Свикнали сме в нашите теоретични науки да използваме формални процеси на мислене и абстрактни методи. Аксиоматичният метод принадлежи на логиката. При думата „логика“ у мнозина възниква представата за много скучен и труден предмет. Но днес науката логика е разбираема и много интересна. Например, стана ясно, че и във всекидневния живот се използват методи и възникват понятия, изискващи висока степен

на абстракция и разбираеми само с помощта на несъзнателното прилагане на аксиоматичните методи, напр. общият процес на отрицание или понятието „безкрайност“. Що се отнася до него, то е лишено от нагледен смисъл и без по-подробно изследване съвсем няма смисъл, защото съществува само това, което е крайно. Няма безкрайна голяма скорост, както и безкрайно бързо разпространение на сила или действие. При това действието по своята природа е дискретно и съществува само на кванти. Няма непрекъснато, безкрайно делимо. Даже светлината притежава атомистична структура, както и действието. Нашата вселена, по мое дълбоко убеждение, притежава само крайна размерност, и все някога астрономите трябва да ни кажат на колко километра се простира пространството – на дължина, ширина и височина. И въпреки че в реалните случаи се срещат много големи числа, например разстоянията до звездите в километри или броят на съществено различни шахматни партии, безкрайността, понеже тя представлява отрицание на доминиращото навсякъде състояние, е чудовищна абстракция, възможна само по пътя на съзнателно или несъзнателно прилагане на аксиоматичните методи. Подобна гледна точка за безкрайността, каквато съм обрисувал след подробни изследвания, позволи да се решат ред принципни въпроси. В частност антиномиите на Кант за пространството и за безкрайната делимост стават безпредметни, нещо което решава възникващите във връзка с антиномиите трудности.

Да се обърнем сега към интересувания ни проблем на взаимна връзка между природата и мисленето и да обсъдим три основни гледни точки. Първата от тях е свързана със споменатия проблем за безкрайността. Видяхме, че безкрайността никъде не се реализира, че не съществува в природата и без специални уговорки е недопустима като основа за нашето мислене. В това виждам важен паралелизъм на природата с мисълта, основополагащото съвпадение на опита с теорията.

Намираме и още един паралелизъм: нашето мислене изхожда от единство и търси да създаде единство; наблюдаваме единство на веществото и материята, навсякъде констатираме единството на природните закони. При това природата подпомага нашите изследвания и като че ли с готовност разкрива своите тайни. Силно разрежданото разпределение на масата в световното пространство помогна да бъде открит и уточнен законът за всемирното притегляне на Нютон. Въпреки огромната стойност на скоростта на светлината, тъй като Земята се върти достатъчно бързо около Слънцето, Майкелсън успя достоверно да установи, че законът за събиране на скоростите не е в сила. Меркурий, сякаш за да ни достави удоволствие, се движи така, че измервайки прецесията на перихелия му, имаме възможност да проверим теорията на Айнщайн. Светлинният лъч тръгнал от неподвижна звезда, преминавайки близо до Слънцето, видимо се изкривява.

Но още по-впечатляващо е едно явление, което ние макар и не тъкмо като Лайбниц, наричаме предначертана хармония, което възплава и реализира математичната мисъл. Стари примери на предначертана хармония са коничните сечения, изследвани дори много преди усещането, че планетите и даже електроните се движат по елиптични орбити. Но за най-грандиозен и чудесен пример на предначертана хармония може да служи

знаменитата теория на относителността на Айнщайн. В нея, само с общото изискване за инвариантност и максимална простота, са установени еднозначно диференциалните уравнения на гравитационните потенциали, нещо, което не би било възможно без предхождащите, трудни и дълбоки изследвания на Риман. Напоследък става все по-често така, че най-важните теории, намиращи се в центъра на математическите интереси се оказват най-необходими във физиката. Бях развил теорията на безкрайно много променливи от чисто математически интерес и въведох термина спектрален анализ, без да подозирам, че по-късно ще бъде използван в истинския спектър на физиката.

Такова съвпадение между природа и мислене, експеримент и теория може да бъде разбрано само ако се вземе под внимание формалният елемент и свързаният с това механизъм – и в природата и в човешкия разум. Изглежда, че математичният процес на елиминация посочва ония неподвижни точки и състояния, в които пребивават и телата в реалния свят и идеите в духовния, като така стават достъпни за контрол и сравнение.

Всъщност, даже тази установена хармония съвсем не изчерпва взаимовръзката между природата и мисленето и не открива напълно дълбоката тайна на нашия проблем. За да я разберем, нека разгледаме целия комплекс от физико-астрономични знания. В съвременната наука ние забелязваме една гледна точка, която излиза далеч извън старите постановки на въпросите и предишните цели в науката. Тя се заключава в това, че съвременната наука ни учи не само, в духа на класическата механика, по данните на съществуващото сега да определяме бъдещото движение и очакваните явления, но и подсказва, че реалните понастоящем състояния на материята на Земята и във Вселената не са случайни или произволни, а са следствия на физични закони.

Най-важните примери в това отношение са атомният модел на Бор, структурата на света на звездите, и накрая цялото развитие на органичния живот. Следвайки аксиоматичните методи, изглежда, трябва да стигнем до съответстваща на действителността система от закони на природата, след което ще е необходимо само мислене, т. е. понятийна дедукция, за да построим цялото физично знание. И тогава би бил прав Хегел, като казва, че всички явления на природата могат да бъдат изведени от понятия. Но това заключение е невярно. Наистина, какъв е произходът на световните закони? Как ги получаваме? Откъде знаем, че те наистина съответстват на действителността? Отговорът е: това знаем от опита. За разлика от Хегел знаем, че законите на обкръжаващия ни свят може да бъдат получени само опитно. Макар при постройката на системи от физични понятия да могат да участвуват и различни чисто умозрителни гледни точки, дали установените закони и построената въз основа на тях логическа система от понятия са в сила, може да отсъди само опитът. Понякога идеята възниква първоначално в чистото мислене, както например е било с идеята за атомите на Демокрит, докато съществуването им бе доказано експериментално чак след две хиляди години. Понякога опитът изпреварва и под негово въздействие разумът избира умозрителна гледна точка. Така под силното въздействие на опита на Майкелсън бе отстранена дълбоко вкоренената се представа за абсолютно време и Айнщайн успя да формулира идеите на специалната теория на относителността.

Който въпреки това отрича, че законите на обкръжаващия ни свят произтичат от опита, трябва да твърди, че покрай дедукцията и опита има и някакъв трети източник на познание.

Всъщност философи са твърдели (класически пример е Кант), че покрай логиката и опита притежаваме и някакво априорно знание за действителността. Признавам, че още за теоретичните строежи са необходими някои априорни постановки и че те играят основна роля при пораждането на нашите знания. Вярвам също, че и математическото познание в крайна сметка е основано на такива нагледни постановки. Те са необходими дори за изграждане на теорията на числата. Така основната идея на Кантовата теория на познанието запазва значението си: да бъде установена априорно всяка нагледна постановка и така да бъдат изследвани условията за възможността на всяко понятийно знание и едновременно на всеки опит. Мисля, че това стана с моите изследвания по основите на математиката. Така «априори» означава нито повече нито по-малко от една основна нагласа или израз на неизбежно предусловие на мисълта и на опита. Но границата между това, което притежаваме априори, и това, за което е нужен опит, ще прекараме не като Кант, който бе надценил ролята и обема на априорното.

По времето на Кант се смятало, че тогавашните престави за пространство и време са така непосредствено свързани с действителността, както например представите за число, наредба и величина, които ние обикновено и постоянно използваме в математичните и физични теории. Учението за пространството и времето, в частност геометрията, трябвало да бъдат нещо подобно на аритметиката, предхождаща цялото естествознание. Но възгледът на Кант бил изоставен още преди за това да подбутне развитието на физиката, например от Риман и Хелмхолц, при това с пълно основание, защото геометрията не е нищо друго освен онази част от общата физична система на понятия, които изразява възможната взаимовръзка между положението на твърдите тела в реалния свят на предметите. Че изобщо има подвижни твърди тела и какви са взаимодействията между положенията им, е предмет на опита. Теоремата, че сумата на ъглите в триъгълника е равна на два прави ъгъла, също може да бъде установено или опровергано с помощта на опити – нещо, което е знаел още Гаус. Например, ако всички теореми за конгруентност се потвърждават от опита, а сумата на ъглите в някакъв триъгълник, построен от твърди тела, се окаже по-малък от два прави ъгъла, то никой няма да твърди, че аксиомата за успоредност трябва да е в сила в пространството на реалните тела.

Приемайки априорната гледна точка, обаче трябва да бъдем твърде внимателни, защото много от това, което някога е било приемано за априорно знание, днес е признато за напълно неприемливо. Най-яръкият пример за това е представата за едновременност. Абсолютна едновременност не съществува, въпреки че сме привикнали с тази представа от детството си, понеже във всекидневния живот става дума за неголеми разстояния и бавни движения. Ако не беше така, никой не би се сетил да въвежда абсолютно време. Но дори дълбоки мислители като Нютон и Кант, никога не са изказвали съмнения в абсолютното време. Предпазливият Нютон е формулирал изискването за

абсолютно време драстично: истинското абсолютно време тече само по себе си и по силата на своята природа равномерно и безотносително към каквото и да е тяло. Така Нютон твърдо отрязва всички пътища за отстъпление и компромис, а критичният философ Кант се оказва съвсем некритичен и без всякакви уговорки приема Нютоновата гледна точка. Едва Айнщайн решително ни освободи от предразсъдъка за абсолютно време и това ще остане едно от най-великите постижения на човешкият дух. Само напредъкът на физиката може да покаже абсурдността на прекаленият априоризъм. Между другото, следствие от допускането за абсолютно време е законът за събиране на скоростите, едно правило, което не може да бъде надминато по очевидност и популярна разбираемост. И все пак различни експерименти в области като оптика, астрономия и електричество показаха категорично, че това правило за събиране на скоростите не е в сила и всъщност е налице друг, по-сложен закон за събиране на скоростите. Днес можем да кажем, че застъпеният от Гаус и Хелмхолц възглед за емпиричната природа на геометрията е непоклатима част от науката и че той трябва да бъде в основата на всички философски разсъждения за време и пространство. Айнщайновата теория на гравитацията показва очевидно, че геометрията не е нищо друго освен клон на физиката; геометричните истини по нищо не се отличават от физичните. Например теоремата на Питагор и законът за всемирното привличане са сродни, защото се подчиняват на едно и също фундаментално понятие – потенциала. Но за всеки, запознат с теорията на гравитацията на Айнщайн, е несъмнено, че и двата тези закона, толкова различни по външен вид и считани преди това за толкова далечни един от друг – единият от е бил известен още в далечната древност и е една от първите теореми, изучавани в училище, а другият описва взаимодействието на масите – не само са еднотипни, но са част от един и същ закон.

Едва ли може по-поразително да бъде показана принципната еднотипност на геометричните и физически факти. Обаче в обикновените логически построения и в придобивания още в детство всекидневен опит, геометричните и кинематични теореми предшестват теоремите на динамиката и тъкмо това обяснява защо често забравяме, че става дума за емпирични факти. И тъй виждаме следното: в Кантовата априорна теория все още има антропоморфна шлака, от която тя трябва да бъде очистена, след което остава само априорната постановка, която лежи в основата на чисто математичните знания, оная крайна постановка, която съм излагал в различни свои публикации.

Инструментът, който осъществява връзката между теория и практика, между мисъл и наблюдение, е математиката: тя строи съединителния мост и постоянно го укрепва. Понеже нашата съвременна култура е насочена към разумното разбиране на природата и използването ѝ за благо на човечеството, в основата ѝ лежи математиката. Още Галилей е казал: *«Да разбере Природата може само онзи, който познава езика и знаците ѝ; езикът ѝ е математиката, а знаците ѝ са математичните фигури»*. А според Кант: *„Във всяка област на естествознанието има толкова истинска наука, колкото математика има в нея“*. И наистина, една естественонаучна теория не е овладяна дотогава, докато не е отделено математичното ѝ ядро. Без математика

са невъзможни съвременната астрономия и физика; в своите теоретични части тези науки са разтворени в математика. На тези и на много други приложения математиката дължи признанието си – доколкото го има у широката публика.

Въпреки това математиците отказват да мерят достойнството на математиката по нейните приложения. Така мисли и квязът на математиците Гаус, който е бил ненадминат майстор на приложната математика и е създал цели нейни клонове (например, теория на грешките или геодезията). Когато астрономите загубили от погледа си астероида Церера (едно от най-важните и интересни небесни тела) и не могли да я намерят, Гаус разработил математична теория и въз основа на нея точно посочил къде трябва да се намира Церера. Гаус е изобретател на телеграфа и на други практични устройства. Чистата теория на числата е онази област от математиката, която засега не е намерила приложение. Но тъкмо нея, теорията на числата, Гаус нарича царица на математиката и именно тя е владяла умовете на почти всички велики математици. Гаус говори за вълшебния чар и неизчерпаемостта на богатството на теорията на числата, направили я любима област на всички големи математици. Той също споменава как теорията на числата още от ранна възраст така го е уплела, че не могъл да се освободи от това очарование до края на живота си. Той величае Ферма, Ойлер, Лагранж и Лъжандър като учени, открили достъп до нейните богатства. Подобно е въодушевляването и на математици преди и след Гаус, като Лъжен-Дирихле, Кумер, Ермит, Кронекер и Минковски, а Кронекер дори оприличава занимаващите се с теория на числата на легендарните Омирови лотофази, които веднаж опитали вкуса на лотосовия плод, оставали пристрастени към него. На това мнение е и Поанкаре, най-блестящият представител на своето поколение, който освен математик бе астроном и физик. Той остро критикува Толстой, според когото да се прави «наука заради самата наука» е нещо вредно и намира неговите възгледи за тясно утилитарни. Лесно е да видим, че ако ни интересуваха само практиката и приложенията, никога нямаше да има постиженията на индустрията и техническия напредък, предизвикани и от незаинтересовани ентузиасты, на които и на ум не им е минавало за приложения.

Големият кьонигсбергски математик Якоби, чието име стои редом с името на Гаус и се произнася с почит от всички, които се занимават с нашата наука, също е мислил така. Знаменитият Фурие веднъж казал, че основната цел на математиката се свежда до обяснението на природните явления и Якоби се нахвърлил върху него с цялата мощ на необузданият си темперамент. Философ като Фурие, възмущавал се Якоби, трябва да знае, че единствената цел на науката е да възвеличава човешкия дух и че затова всяка задача в чистата теория на числата е толкова достойна за внимание, колкото и всеки проблем от приложенията.

Онзи, който може да усети истинността на възвишения мироглед отчетливо изразен в думите на Якоби, няма да се поддаде на безплодни съмнения; той няма да повярва на онези, които с философска маска на лицето и дълбокомислен тон пророкуват залежа на културата и са склонни да възприемат непознаваемостта на света. За математиците няма *ignorabimus*, понеже, според мен, то не съществува и за естествоизпитателите.

Философът Огюст Конт, посочвайки пример за неразрешим проблем, смятал че науката никога няма да успее да установи химическия състав на небесните тела. А само след няколко години Кирхоф и Бунзен решиха този проблем с помощта на спектралния анализ и днес ние можем да разглеждаме и най-далечните звезди като важни физически и химически лаборатории, каквито няма на Земята. Истинската причина, поради която Конт не е успял да намери неразрешимия проблем, по мое мнение, се състои в това, че неразрешими проблеми въобще няма. Вместо непознаваемото, както твърдят глупациите, нашият лозунг е точно противоположен:

Ние трябва да знаем,

Ние ще знаем.

* David Hilbert. *Naturerkennen und Logik. Naturwissenschaften* (1930) 959-963. *Gesammelte Abhandlungen*, Bd. 3. Berlin, Springer, 1970. S. 378-387.

Превод: **Н. Ахабабян**

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

EURO

BG 82 SOMB 9130 14 25109301

BIC SOMBBGSF

MUNICIPAL BANK PLC

BRANCH DENKOGLU

ЛЕВА

IBAN: BG 03 SOMB 9130 10 25109301

BIC: SOMBBGSF

ОБЩИНСКА БАНКА

КЛОН ДЕНКОГЛУ

ПРОБЛЕМ ЗА МИЛИОН ДОЛАРА

Владимир Успенски

Отдавна е известна класическата формула на репортерите: случи ли се куче да ухапе човек, това не е новина; когато човек ухапе куче – е новина. Информации, че петербургският математик Григорий Перелман е решил велик математически проблем, поставен за решаване преди повече от сто години, започват да се появяват в масмедиите от 2003 година. Това обаче все още не е новина. Истинска новина според посочената по-горе формула става сензацията, обиколила медиите и задържала се известно време в тях чрез лятото на 2006 г.: Перелман отхвърля всички присъдени му награди – и по-конкретно от милион долара. Перелман учтиво, но категорично отказва на всички журналисти, поискали среща с него, като се аргументира с ненужния шум и преди всичко набляга на такава причина – ще ходи за гъби в гората. В същото време се изтъква, че решеният от него проблем не само е мъчен и знаменит, но и твърде важен за теоретичната физика и най-вече за разбирането на заобикалящото ни физическо пространство.

Струва ми се, от времето, когато теоремата на Ферма навлиза в общокултурно обръщение, никой друг математически проблем с придружаващия го шлейф от обстоятелства не е достигал такава масова известност. Осъществено е нахлуване на математическата проблематика в масовото съзнание. Трябва ли да се усили величието на грамадния проблем, като той бъде оставен в ореола на тайната, достъпна само за посветени и напълно недостъпна за разбирането на широките маси? Не зная; може би – да. Въпреки това нека се опитам в най-общи черти да обясня на читателя, който не е математик, в какво се състои този проблем.

Нека се спрем върху шлейфа от обстоятелства. Григорий Перелман, безработният кандидат на физико-математическите науки, за разлика от уж решилиите теоремата на Ферма академици, действително решил тъй наречения проблем Поанкаре, тепърва ще трябва да мисли да се откаже ли (или да не се откаже) от милиона долара.

Преди наградата да му бъде предложена, Перелман, както той самият твърди, няма намерение да мисли дали ще я приеме, или не. Що се отнася за самата награда, разположеният в Масачузетс частен Математически институт на Клей (Clay Mathematics Institute) действително е включил проблема на Поанкаре в списъка от седем математически „Проблеми на хилядолетието“ и за решаването на всеки от тях обещава по милион. Обаче изплащането на наградата става след определен срок и чрез преминаването през специална експертиза. В случая с проблема на Поанкаре не се е случило още нито едното, нито другото. На всичкото отгоре се приемат за разглеждане само решения, публикувани в авторитетни издания, анализирани в специални реферативни списания. Перелман не е удостоил нито едно хартиено издание и е публикувал решението си единствено в Интернет. Виж, действително Перелман се отказва от друго – от медала на Филдс.

Както е известно, математиката не е сред науките, за постижения в която се присъжда Нобелова награда. Съществува забавна версия защо математиката не е включена в завещанието на Нобел. Най-известното обяснение се свежда до шерше ла фам – уж Нобел си съперничил за жена с известен шведски математик и никак не му се искало тъкмо опонентът да получи наградата на негово име. Но това обяснение е просто привлекателно, без да се знае колко е достоверно.

Медалът на Филдс по авторитет заема в математическия свят почти същото положение, каквото заема Нобеловата награда например в света на физиците и общо взето замества тази награда. Нобеловата награда се присъжда всяка година, медалът на Филдс – веднъж на четири; за сметка на това тогава се присъждат от два до четири медала наведнъж. При Нобеловата награда възрастта на награждавания с нищо не се ограничава, понякога човек получава наградата за твърде отдавнашни заслуги. Възрастта на математическия лауреат е ограничена до 40 години, затова Уайлз, който решава теоремата на Ферма на 41 година, не получава този медал; вместо медала председателят на филдсовския комитет тържествено му връчва специална сребърна плочка. Освен всичко медалът е придружен с известна сума, но тя е няколко десетки пъти по-ниска от Нобеловата награда. Медалът се връчва на организиращия веднъж на четири години Международен конгрес на математиците. Президентът на Международния математически съюз специално идва в Петербург, за да убеждава Перелман да участва в конгреса в Мадрид през август 2006 г., а там да получи медала, връчен му от испанския крал. Перелман остава непреклонен и не взема участие в конгреса.

Това е първият случай за отказ от медала на Филдс. Проблеми и дори скандали, съпровождащи процедурата по връчване на този медал, са възниквали неведнъж. Така заради Втората Световна война не се свикват нито конгреси, нито се присъждат медали между 1936 и 1950 г. Всички следващи неразбории са предизвиквани от съветските власти. Например конгресът във Варшава, определен за 1982 г., е преместен за август 1983-та заради обявеното военно положение в Полша. През 1966 г. френският математик Александър Гротендик, един от най-бележитите математици на XX век, в знак на протест против съветската политика в Източна Европа не пристига в Москва на поредния конгрес, където трябва да му връчат медала. Церемонията по връчването е извършена в Кремъл, в Двореца на конгресите; връчващият медалите М. Келдиш на скоропоговорка изброява лауреатите и кани всички вкупом на сцената да си получат медалите; залата не е в състояние да разбере кой – кой е. През 1970 и през 1978 г. конгресите са свикани съответно в Ница и в Хелзинки. На тях трябва да получат медали двама математици от СССР: в Ница – Сергей Новиков (род. през 1938 г., между другото, Новиков е племенник на академик Келдиш), а в Хелзинки – Григорий Маргулис (род. през 1946 г.). Съветската бюрокрация, използвайки чиновническата терминология, обявява пътуванията им за „нецелесъобразни“ и те не са пуснати да заминат.

През 1974 г. е номиниран за медала на Филдс съветският математик Владимир Арнолд. Всичко върви по вода, филдсовският комитет единодушно смята, че Ар-

нолд трябва да получи медал. Крайното решение предстои да бъде взето от висшия орган на Международния математически съюз – от неговия изпълнителен комитет. През периода 1971-1974 г. вицепрезидент на изпълнителния комитет е академик Лев Понтрягин, един от най-бележитите руски и световни математици. Преди да замине за заседанието на комитета, Понтрягин кани Владимир Арнолд на обед у дома си и за разговор върху неговите математически трудове. Понтрягин съобщава на Арнолд, че му е наредено да не допусне да му бъде присъден медала на Филдс. Ако обаче изпълкомът не се съгласи и все пак даде медала на Арнолд, Понтрягин е упълномощен да заплаши комитета, че във Ванкувър на поредния математически конгрес няма да участва съветска делегация, на всичкото отгоре СССР можел да излезе от Международния конгрес на математиците. Но тъй като Понтрягин трябва да е убедителен в твърдението си, че Арнолд не заслужава медала, налага се много добре да познава работите му. Затова е поканил автора, за да узнае подробно от него в какво се състоят математическите му трудове. Арнолд се съгласява; както научих от самия Арнолд, въпросите на Понтрягин били твърде същностни, а гощавката – вкусна. Не зная дали Понтрягин е изредил всичките закани на съветската страна, но тогава не присъждат медал на Арнолд. За следващото присъждане Арнолд вече прехвърля възрастовата граница. През 1995 г. вече самият Арнолд е вицепрезидент и тогава узнава, че през 1974 г. изпълнителният комитет е силно впечатлен от дълбокото познаване на трудовете на Арнолд, демонстрирано от Понтрягин.

Проблемът, решен от Перелман, се състои в изискването да бъде доказана хипотезата, предложена през 1904 г. от великия френски математик Анри Поанкаре (1854 – 1912) и носеща неговото име. Енциклопедията го характеризира много добре: „Трудовете на Поанкаре в областта на математиката, от една страна, завършват класическото течение, а от друга – отварят пътя за развитието на новата математика, където наред с количествените съотношения се установяват факти от качествено естество“ (БСЭ, изд. 3-то, т.2).

Хипотезата на Поанкаре е именно от качествено естество – както и цялата област от математиката (а именно топологията), към която принадлежи и в чието създаване Поанкаре е взел решаващо участие.

На съвременен език теоремата на Поанкаре звучи така: всяко едносвързано компактно триизмерно многообразие без край е хомеоморфно в триизмерна сфера.

За математиците значението на хипотезата Поанкаре, сега превърнала се от хипотеза в теорема на Поанкаре – Перелман, е огромно (нали не случайно за решаването ѝ се предлага милион долара), както е огромно и значението на открития от Перелман начин за доказването ѝ, но да обясним в какво се състои той е свръх моето умение. Що се отнася до космологичната страна на въпроса, възможно е важността на този аспект отчасти да е преувеличен от журналистите. Впрочем някои авторитетни специалисти твърдят, че научният пробив на Перелман може да помогне да се изследва процесът за формиране на черните дупки.

Впрочем черните дупки служат като пряко опровержение на положението, че

светът е познаваем – едно от централните положения на най-прогресивното, единствено вярното и всесилно учение, което десетки години насила ни беше набивано в главите. Нали, както учи физиката, от тези дупки към нас по принцип не могат да пристигат никакви сигнали, така че не можем да узнаем какво става там. Как като цяло е уредена нашата Вселена изобщо знаем съвсем малко и е съмнително дали някога ще узнаем особено много. Дори самият смисъл на въпроса за уредбата ѝ не е съвсем ясен. Не е изключено този въпрос да е от онези, които според учението на Буда нямат отговор. Физиката предлага единствено модели на тази уредба, повече или по-малко съгласуващи се с известните факти. При това физиката винаги използва готови елементи, разработени от математиката.

Естествено математиката не претендира да установи каквито и да било геометрични свойства на Вселената. Но тя дава възможност да бъдат осмислени свойствата, открити от другите науки. Нещо повече. Помага да станат по-разбираеми някои такива свойства, които мъчно могат да бъдат въобразени; тя обяснява как те могат да съществуват. Сред подобни възможни (подчертавам: само възможни!) качества се отнася крайността на Вселената и нейната неориентируемост.

Дълго време за единствен мислим модел на геометричния строеж на Вселената служи триизмерното евклидово пространство, тоест такова, каквото е познато иа всеки от гимназията. Това пространство е безкрайно; наглед не са възможни никакви други представи; изглежда безумие дори да помислим за крайност на Вселената. Обаче днес представата за крайност на Вселената не е по-малко законна от представата за нейната безкрайност. В частност триизмерната сфера е крайна. От общуването с физици ми е останало впечатлението, че според едни „най-вероятно Вселената е безкрайна“, а според други – „най-вероятно Вселената е крайна“.

Ще се опитаме да обясним теоретичната възможност за крайност на Вселената. Засега само ще отбележим, че крайността на Вселената не означава наличие на неин край, на „стена“. Нали сама по себе си липсата на край у геометричната фигура не означава нейна безкрайност. Повърхността на нашата планета например е крайна, ала няма край. Като дете си играх със старинна картинка с изобразен монах, стигнал до края на Земята и промушил глава през небесния свод. Още по-силно от споменатата картинка детското ми въображение бе увлечено от модната хипотеза (по-късно тя някак угасна), че някакви две далечни мъглявини, наблюдавани от земята в противоположните краища на небосвода, всъщност не са различни астрономически обекти, а са един и същ обект, гледан от различни страни. Ако това би се потвърдило, би се превърнало в доказателство за крайността на Вселената. Ето три мислени експеримента, способни да засвидетелстват посочената крайност, стига тя да съществува. Първият: експериментаторът потегля на космическо пътешествие и като през цялото време се движи в една посока, се връща на изходната точка. Вторият: открива се окръжност, чиято дължина е по-малка от тази, съобщена ни в училище, тоест по-малка от две пи, умножени по дължината на радиуса. Третият (предложен от Айнщайн): експериментаторът се окръжава със сфера, направена от яка и неограничено разтягаща се ципа, сетне започва да издува

тази ципа; площта на повърхността отначало ще се разраства, обаче от определен момент нататък – ще се смалява и накрая ще се спихне до точка – при положение, че експериментаторът остане вътре в сферата.

Често представите за уредбата на Вселената, вече включени от науката в списъка на потвърдените, изглеждат парадоксални; никак не е изключено някои нейни качества да се окажат още по-парадоксални. Сега на всички е известен тъй нареченият парадокс на близнаците. Ако единият от двама близнаци извършва пътуване в Космоса, а другият остане на Земята, при връщането си от Космоса пътуващият непременно ще се окаже по-млад от своя брат; ако ускоренията, на които се е подлагал космонавтът по време на пътуването, са били достатъчно мощни и продължителни, разликата ще е очебийна. Но има и друго интересно явление, наречено парадокс на огледалното отражение. Не се знае дали някога в действителността ще бъде срещнат споменатият парадокс; за разлика от парадокса на близнаците, който описва реални (по-точно казано – общопризнати) свойства на мирозданието, възможността за осъществяването на огледалното отражение е чисто теоретична – тя просто не е опровергана.

През 1896 г Хърбърт Уелс написва своята „Историята на Платнер“ (The Plattner Story) – как учителят Готфрид Платнер извършва фантастично пътешествие, след което се връща, огледално преобърнат. Преди пътуването не е левичар и е с нормално телосложение.

Уелс обяснява промените с Платнер чрез озоваването му в друг свят, в четвъртото измерение: „Ако изрежете каквато и да е фигура с лява и дясна страна, лесно можете да им размените местата, ако вдигнете фигурата и я обърнете. Но с обемния предмет нещата стоят другояче. Теоретиците математици твърдят, че единственият начин дясната и лявата страна на обемно твърдо тяло да се разменят е само да извадим тялото от пространството (във вида, под който разбираме пространството), да излезе то от обичайните условия и да бъде преместено някъде извън пространството. Случилото се с Платнер с размяна местата на лявата и на дясната му част е доказателство, че е преминал от нашето пространство в тъй нареченото Четвърто измерение, а сетне отново се е завърнал в нашия свят“.

Важно е споменатото условие в скобите – „във вида, под който разбираме пространството“. Има се предвид стандартното, школското разбиране за пространството. Математиците обаче са открили теоретична възможност от такава форма на триизмерното пространство, при която размяната на лявата и дясната част на тялото да е възможна и без излизането от това пространство. При стандартното школко разбиране за формата на нашето триизмерно пространство действително с никакво преместване в това пространство китката на лявата ръка не може да стане китка на дясната ръка. Но това е невъзможно именно при стандартното разбиране. Съществуват обаче и други форми на пространството, допускащи такова разместване.

Както правилно отбелязва Уелс, изрязан от хартия силует на дясна длан не може да се превърне в силует на лява длан, ако се ограничим само в местене по плоската повърхност на масата, за да сторим това, трябва да вдигнем силуета над масата, тоест

да навлезем в третото измерение, да го преобърнем и отново да го положим върху масата. Обаче съществува такава повърхност, местенето по която превръща дясното в ляво. Двамина германски математици, Йохан Бенедикт Листинг и Август Фердинанд Мьобиус независимо един от друг я откриват през 1858 година. По името на единия повърхността получава названието листът на Мьобиус.

Изображение на листа на Мьобиус може да се срещне върху кориците на математически издания и върху значките на математически дружества. Препоръчвам на любезния читател сам да си изготви тази прочута повърхност. Много е лесно. Ако вземем хартиена лента и залепим двата ѝ края, получената повърхност ще е външната повърхност на цилиндър. Ако преди залепянето извием лентата на 180 градуса, ще се получи листът на Мьобиус. За по-ясно ще напомним, че понякога, когато си слагаме колана, откриваме, че той се е превил; тъкмо такъв превит и закопчан колан може да служи като пример за листа на Мьобиус.

Листът на Мьобиус притежава редица интересни качества. Така например той има само една страна. Плоскостта, повърхността на цилиндъра, сферата представляват двустранни повърхности. Листът на Мьобиус обаче представлява едностранна повърхност.

Друго качество на листа на Мьобиус е особено важно за целите на нашето изложение. То се състои в тъй наречената неориентируемост. Както всяка повърхност листът на Мьобиус няма дебелина. Ако върху листа е изобразен силуетът на длан, не може да се каже дали е лява, или е дясна – зависи откъде се гледа. (Дано читателят не се притесни от употребената дума „страна“; като цяло листът на Мьобиус е едностранен, но мъничката му част, върху която е изобразена дланта, е двустранна.) Ако една до друга са изобразени две длани, ще може да се каже дали са еднакви, или едната е огледално отражение на другата. Затова може да се извърши такопа движение на силуета от дланта по листа на Мьобиус, при което същият силует ще се върне на мястото си, огледално отразен, а възможността от подобно придвижване е въпросната неориентируемост.

Значи неориентируемата повърхност е повърхност, при която при местенето на силуета на дясната ръка (без да се излиза извън повърхността!) е възможно той да се превърне в силует на лявата ръка. Листът на Мьобиус е най-известната и най-простата от неориентируемите повърхности. Сред останалите най-известна е тъй наречената бутилка на Клайн, носеща името на прочутия германски математик Феликс Клайн, който я пуска в математическо обръщение през 1874 г. Да си представим бутилка с много издължено и много гъвкаво гърло. Пренебрегваме материала, от който е направена бутилката, затова я възприемаме като двуизмерна фигура, тоест като повърхност. Може ли да се извие гърлото така, че да докосне дъното на бутилката? Може, естествено; при това допирът ще бъде извършен откъм външната страна на дъното. Обаче не е възможно да допрем гърлото на бутилката до вътрешната страна на дъното – за целта би се наложило гърлото на бутилката да пробие нейната стена. Но стига да успеем, щяхме да постигнем бутилката на Клайн. Защо тогава да говорим за повърхност, която не съществува и не може да бъде постигната, ще се възмути читателят. Обаче работата е там, че такава повърхност е възможна, само че в четириизмерното пространство.

Нека си представим как става това. Обикновената бутилка представлява двуизмерна повърхност в триизмерно пространство. Какво е неин аналог върху плоскост? Сянката на бутилката ли? Не, аналогът трябва да е с едно измерение по-малък от околното пространство, тоест в дадения случай едноизмерен. Нека очертаем с молив контура на сянката, като по такъв начин прекъснем линията при отвората на бутилката. Тъкмо получената линия е търсеният едноизмерен аналог на двуизмерната бутилка. Да си представим тази линия като тънка гъвкава тел. Получената фигура от тел има дъно, гърло и две стени. Можем ли, без да излизаме извън пределите на плоскостта, да огънем гърлото така, че да докосне то дъното? Естествено може, но само откъм външната страна; докосването откъм вътрешната страна е невъзможно, за целта трябва да пресечем някоя от стените. Обаче можем да го докоснем и откъм вътрешната страна, стига да си разрешим излизане извън пределите на плоскостта: на мястото, където гърлото иска да пресече телената стена, трябва да вдигнем гърлото над плоскостта, да го прокараме над стената като мост, а сетне отново да го спуснем върху плоскостта – но вече вътре в бутилката. И да докоснем дъното с гърлото на бутилката. А сега, като си напругнем въображението и използваме аналогията, да си представим извиването на гърлото в четириизмерно пространство – с последващо докосване на дъното отвътре.

Както евклидовото пространство от гимназията, така и триизмерната сфера е ориентируема. В тях липсват траектории, довеждащи до огледално отражение. Но теоретичните представи за възможната геометрична структура на Вселената не изключват положението тя да е неориентируема. А в такъв случай пътуване, довеждащо до огледално отражение на пътешественика, може да бъде осъществено и без той да излиза от нашия триизмерен свят. По такъв начин не е напълно прав поетът, който казва:

*Каква обида тежка, даже драма –
да съществуваши, имайки предвид,
че начини за бягство просто няма
от празните пространства на Евклид.
Нима на нас отсъдено това е –
към бъдните години да вървим
подобно успоредни във безкрая –
без нейде да се възсоединим.*

От руски: Пенка Кънева, сп. „Съвременник“ бр.1, 2009

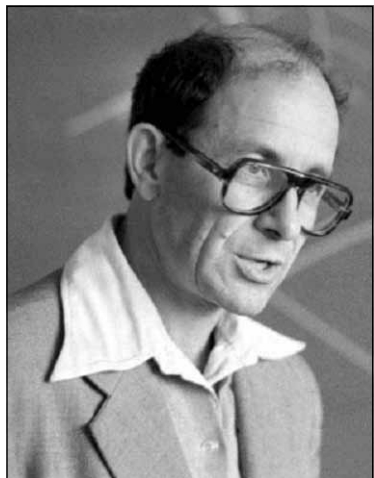
Присъединете се към групата на списанието
във facebook –

Списание Светът на Физиката

В ПАМЕТ НА АКАД. ВЛАДИМИР АРНОЛД (1937-2010)

(Интервю, взето на 11 ноември 1995 от С.Х.Люи,
доцент в Хонгконгския университет по наука и технология)

Utilius scandalum nasci permittitur quam veritas relinquatur
(Трябва да казваме истината даже с риск да предизвикаме скандал)
Папа Григорий IX (1227-1241)



Люи: Разкажете нещо за ранното си обучение. От детска възраст ли се заражда интересът Ви към математиката?

Арнолд: Руската математическа традиция отива далеч в миналото и е свързана със старинните задачи на търговците. Още от малки децата се запознават с такива задачи – даже преди да са научили нещо за числата. Децата на пет-шестгодишна възраст много харесват такива задачи и умеят да ги решават, макар че задачите могат да се окажат твърде трудни за висшисти, увредени от полученото формално математическо образование. Един типичен пример:

От бъчва с вино взимате лъжичка вино и я изливате в своята чаша с чай. После връщате лъжичка от (не-еднородната!) смес на чая във вашата чаша в бъчвата. Така ще имате известно чуждо вещество (вино) в чашата и някакво количество чуждо вещество (чай) в бъчвата. След тези манипулации кое е повече: виното в чашата или чаят в бъчвата?

Малко по-големите деца, запознати с първите няколко числа, харесват следната задача: Джейн и Джон искат да си купят детска книжка. Обаче на Джейн не ѝ достигат седем цента, за да си купи книжката, а на Джон му трябва още един цент. Тогава те решават да купят една книжка за двамата, но откриват, че парите не им достигат. Каква е цената на книжката?

В много руски семейства има традиция да се дават на децата стотици подобни задачи и моето семейство не правеше изключение. Първата ми истинска среща с математиката беше, когато учителят ни И.В.Морозкин ни даде следната задача: Две старици тръгват при изгрев слънце и вървят с постоянна скорост. Едната върви от А към В, а другата – от В към А. Срещат се по обяд и, без да се спират, продължават, като пристигат съответно в В в 16 ч. и в А – в 21 ч. В колко часа е бил изгревът на Слънцето през този ден?

Цял ден разсъждавах върху тази старинна задача и нейното решение (основаващо

се върху това, което сега се нарича мащабни аргументи, анализ на размерностите или теория на тороидалните многообразия (toric variety theory) – в зависимост от вашия вкус) ми дойде като откровение. Усещането за откритие, което изпитах тогава (1949), беше точно същото като при всички последващи много по-сериозни проблеми – било то откритието на връзката между алгебричната геометрия на реалните плоски криви с четиримерната топология (1970) или връзката между сингуларностите на каустики-те и на вълновите фронтове с простите алгебри на Ли и групите на Коксър (1972). Именно жаждата да изпитам това удивително усещане още и още беше и си остава моята основна мотивация в математиката.

Люи: Какво беше обучението в Московския държавен университет? Можете ли да ни разкажете нещо за професорите (Петровски, Колмогоров, Понтрягин, Рохлин...)?

Арнолд: Атмосферата в Мехмата (Факултета по механика и математика към Московския държавен университет) през петдесетте години, когато бях студент, е подробно описана в книгата ми *Златните години на московската математика*, излязла през 1993 под редакцията на С. Здравковска и П.Л.Дюрен. В нея са поместени спомените на много хора. Моята статия беше за А.Н.Колмогоров, който беше мой научен ръководител.

Съзвездие от бележити математици по времето, когато учех в Мехмат, беше нещо изключително и аз никъде другаде не съм срещал подобно нещо. Колмогоров, Гелфанд, Петровски, Понтрягин, П.Новиков, Марков, Гелфонд, Люстерник, Хинчин и П.С.Александров преподаваха на студенти като Манин, Синай, С.Новиков, В.М.Алексеев, Аносов, А.А.Кирилов и на мен като студент.

Всичките тези математици бяха твърде различни! Беше почти невъзможно да се разберат лекциите на Колмогоров, но те бяха препълнени с идеи и богато ни възна-граждаха! Спомням си обяснението му на неговата теория за размера на минималния куб, в който може да се помести всеки граф с N върха (топчета с фиксиран размер), всеки от които е свързан с най-много K други посредством жички с фиксирана дебелина. Той обясняваше, че при много голямо N (K остава фиксирано) диаметърът на куба расте както $N^{1/2}$, аргументирайки се по следния начин: сивото вещество (тялото на невроните) е на повърхността на човешкия мозък, докато бялото вещество (връзките) запълва вътрешната част. Тъй като мозъкът е поместен в главата по възможно най-икономичен начин, един достатъчно сложен мозък от N неврона може да бъде поместен само в куб с размер $N^{1/2}$ (докато един тривиален мозък, като този на един червей, се нуждае само от размер $N^{1/3}$).

Работата на Колмогоров върху това, което сега е известно като теория КАМ на Хамилтъновите системи, беше страничен продукт от задължителните упражнения, които той даваше на всички студенти от втори курс. Една от задачите беше изучава-нето на някои нетривиални напълно интегрируеми системи (каквото е движението на тежка частица върху повърхността на хоризонтален ротационен тороид [horizontal torus of revolution]). Тогава не разполагахме с никакви компютри! Той отбеляза, че

движението във всички подобни класически примери е квазипериодично, и се опита да намери примери за по-сложно движение (“смесване” или на днешния език “хаос”) в случая на неинтегрируеми пертурбирани системи.

Опитите му бяха безуспешни. Проблемът, който мотивираше неговото изследване, все още стои открит – никой не успя да намери инвариантен тороид, носещ смесени потоци в класове от [generically] пертурбирани системи. Обаче страничните продукти от това изследване са далеч по-важни от първоначалния технически проблем за смесването. Те включват откритието на устойчиви нерезонансни тороиди, метода на “ускорената сходимост” и свързаните с него теореми за неявните функции във функционални пространства, доказателството за устойчивост на движението в много Хамилтънови системи (напр. жирокопи и планетни орбити) както и доказателство за съществуването на магнитни повърхности в геометрията на Токамак, което се използва при изучаването на плазменото съдържание в управляемия термоядрен синтез.

Общо явление е следствията от едно изследване да бъдат по-важни от първоначално поставения въпрос. Първоначалната цел на Колумб е била да открие нов път към Индия. Откритието на Новия свят е било само страничен продукт.

Понтрягин беше вече много отпаднал, когато аз бях студент в Мехмат, но той беше, може би, най-добрият лектор. Току що се беше превключил от топологията към теория на управлението, а заедно с това се беше силно променил като личност. По-късно в автобиографията си, поместена в *Руски математически обзори* [Russian Mathematical Surveys], той обясняваше причините както да се превключи към приложна математика, така и за своя антисемитизъм. Когато внесъл статията си в редакцията на списанието, представителят на КГБ препоръчал тя да не бъде публикувана поради прекалената ѝ откровеност. Лично аз бих предпочел да беше отпечатан оригиналният текст – сегашният вариант е доста омекотен. Някои хора смятат, че неговият антисемитизъм е просто израз на опасенията му, че той има някаква еврейска жилка и това може да се разчуе.

Понтрягин обаче не е бил винаги такъв! По време на войната неговият най-добър ученик В.А.Рохлин е ранен и попада в плен на немците. По-късно Рохлин е освободен от американците, върнат е в Русия и продължава службата си в руската армия, която все още води боеве. Един ден, когато транспортирал пленен германски офицер към своето началство, той попада на пиян офицер от КГБ, който поискал да застреля на място немския офицер. Рохлин се възпротивил. За негов късмет Рохлин бил спасен от своя началник, който незабавно го превел в друг полк. По-късно обаче Рохлин, подобно на всички руснаци, попаднали в плен на немците и освободени от съюзниците, е изпратен в Гулаг (руските концентрационни лагери) в северните области на Русия.

Няколко месеца по-късно някой, който е бил освободен от същия лагер, пристига в Москва и съобщава на Понтрягин, че Рохлин е още жив, но умира от изтощение в лагера. Понтрягин, с помощта на Колмогоров, Александров и други, написва писмо до Берия, началника на КГБ, с искане Рохлин да бъде незабавно освободен, тъй като той е най-талантливият математик в своето поколение. Берия подписва заповед за освобождаването на Рохлин, който по-късно получава оръжие и продължава военната си

служба като охрана в същия лагер, където той самият е бил държан. Понтрягин заедно с други написва второ писмо до Берия и Рохлин най-после можал да се върне в Москва.

Рохлин не е имал право на *прописка* в Москва, след като се е върнал от Гулаг. [“Прописка” е руска дума, означаваща правото да живееш в едно определено населено място, без да ти се разрешава да живееш другаде. Прописка се прилага за всички!] Понтрягин беше напълно сляп и имаше правото да наеме личен секретар в московския институт “Стеклов”. Той беше достатъчно смел да назначи на тази длъжност Рохлин, който по-късно стана един от водещите съветски математици в топологията и в динамичните системи. Рохлин имаше много силно влияние върху по-младото поколение математици (като С.Новиков, Синай, Аносов и мен), а по-късно създаде забележителна математическа школа в Санкт-Петербург. Някои от неговите блестящи ученици са: Вершик, Громов, Елиашберг, Виро, Шустин, Тураев и Харламов. Аз го срещнах през шейсетте години, когато той ръководеше семинар в Москва. Пътуваше до Москва близо сто и петдесет километра от мястото, в което неговата прописка му разрешаваше да живее.

Рохлин е от еврейски произход и е оцелял в немския лагер за военнопленници, като се представял за мюсюлманин. Действително, той е роден в Баку, Азербайджан. За Понтрягин наистина е било опасно да му помогне и да се обърне към Берия. Понтрягин запазва високото си мнение за Рохлин даже след като става активен антисемит. Моите лични взаимоотношения с Понтрягин бяха доста добри. Той ме покани у дома си и на своя семинар, като показваше истински интерес към моите работи – особено към теорията за сингулярностите. Това отчасти се дължеше на нашите общи интереси към диференциалната топология и теорията на управлението и игрите. Обаче главната причина се състоеше в това, че той искаше да каже нещо срещу мен на един международен конгрес. Тогава Понтрягин беше руският представител в Международния математически съюз (ММС) и той беше вложил много усилия да осуети избирането на руски дисиденти. (Аз попаднах в черния списък, защото заедно с други 99 математика бях подписал протестно писмо срещу затварянето в психиатрична болница на един напълно здрав съветски математик. Това беше обичайният метод за елиминиране на дисидентите.) ММС винаги е бил твърде политичен и затова Понтрягин успя. В своите спомени той разкрива, че доста голям брой сътрудници на ММС са споделяли неговите канибалски възгледи. Надявам се да узнаем техните имена. Любопитен е фактът, че сега аз заемам неговия предишен пост и представям Русия в ММС.

Петровски, който тогава беше ректор на университета, обикновено се срещаше с Рохлин в асансьора точно преди началото на семинара. Мисля, че за него беше опасно да го видят в компанията на Рохлин. Петровски вече не работеше активно в математиката. Той обаче беше извънредно важен за московската математическа общност, като винаги търсеше начини да подпомага истинските математици в трудните им конфликти с комунистическата партия.

Математическият му вкус беше доста класически и се основаваше повече на италианската школа по алгебрична геометрия, отколкото на теоретико-множестве-

ните концепции. Веднъж сър Майкъл Атия ми каза, че той винаги е бил възхитен от начина, по който Петровски борави с алгебричната геометрия в работите си по частни диференциални уравнения (ЧДУ). Една от тях – статията му върху лакуните на хиперболичните ЧДУ – по-късно беше пренаписана в съвременната терминология от Атия, Бот и Гардинг в две обемисти статии, поместени в *Acta Mathematica*. Това е едно далеч отиващо обобщение на добре известния факт, че не е възможна акустична комуникация в четномерни пространства (например в “плосък” свят), докато в нашия тримерен свят ние лесно комуникираме. Интересно е, че в тази статия Петровски доказва, че кохомологичните класове на допълнението на едно алгебрично многообразие могат да бъдат представени с рационални диференциални форми – един резултат, който обикновено се приписва на Гротендик.

Работите на Петровски (1933 и 1938) по реална алгебрична геометрия (свързани с 16-я Хилбертов проблем за формите на реални плоски алгебрични криви) дават началото на важен клон в съвременната математика – топологията на реални алгебрични многообразия. Резултатите от тази теория (например границата на числата на Бети, изразена посредством степените на уравненията) са много полезни за различни клонове на математиката, включително за теорията на сложността. Например те бяха използвани от Ховански в неговата малономна теория, от Смейл – в неговото изследване на “реалния P-NP” проблем и т.н. На Запад тези резултати обикновено се приписват на Том и Милнор (1965), докато статиите на Петровски и неговата ученичка Олейник, публикувани през 40-те години, съдържат по-добри оценки (и междувпрочем са цитирани от Том и от Милнор). Това обаче е твърде обичайно положение – в съвременния свят на службогонци много е лесно да бъдат пропуснати цитиранията на фундаментални руски трудове.

Петровски никога не е бил партиен член. Това не беше известно на повечето комунисти. Той беше много влиятелен, отчасти благодарение на личните си връзки с бивши свои студенти, които бяха постигнали твърде високи позиции в съветската йерархическа система. Петровски беше член на Президиума на Върховния съвет, който представляваше “колективния президент” на Съветския съюз. Той умря при вратата на сградата на Централния комитет на партията в Москва – получи сърдечен удар след напрегната борба на едно заседание, на което защитаваха фундаменталната наука. Неговите последни думи бяха: “аз победих”.

След неговата смърт партията и КГБ се трудиха в продължение на двадесет години да разрушат създадения от него математически център в Мехмат. Те спряха назначаването на талантиливи хора във факултета и вече почти успяват да унищожат центъра.

Люн: Можете ли да опишете своята философия за обучението на студенти и за ръководенето на аспиранти, а също колко такива сте имали в Русия и във Франция?

Арнолд: Броят на PhD дисертациите, защитени под мое ръководство, е около четиридесет. Не мога да посоча точния брой по няколко причини. През периода на “застоя” на мен не ми се разрешаваше да ръководя чуждестранни студенти в Мос-

ковския университет, тъй като не бях партиен член. Аз пак ги обучавах, но официалният ръководител беше някой приятелски настроен партиен член, който освен това получаваше хонорар. Някои от аспирантите имаха други ръководители, но пишеха дисертациите си по теми, които се обсъждаха на моите семинари, и те практически бяха мои студенти. Три примера са С.М.Гюсейн-Заде, Ю.Иляшенко и А.И.Нилсен. В момента аз работя с двама дипломанти и трима аспиранти в Москва, а също с четирима аспиранти в Париж. Още двама или трима вероятно ще започнат работа през януари.

Аз научавам много от своите ученици – особено от дипломантите. Никога не посочвам конкретна дисертационна теза на своите ученици. Това би било все едно да посочвам на някого коя да му е годеницата. Просто им показвам кое е известно и кое – не.

В моя московски семинар, който работи даже когато съм в чужбина, участват около тридесет математика, повечето от които са мои бивши аспиранти, но винаги има и други. Семинарът съществува от близо тридесет години и между неговите участници през различните години са били Я.Синай, В.Алексеев, С.Новиков, М.Концевич, А.Гончаров, Д.Б.Фукс, Г.Тюрина, А.Тюрин.

Животът в Москва е толкова труден, че повечето студенти трябва да се издържат извън своята научна работа. Например някои започват свой собствен бизнес. Обаче равнището на престъпността е така високо, че, започвайки някакъв бизнес, човек рискува да бъде убит. Един от моите аспиранти в Москва, който току-що завърши дисертацията си, но все още не е защитил, изчезна преди няколко седмици. Не знаем жив ли е или не.

Люн: Имате ли свои математически герои?

Арнолд: Бих споменал Бароу, Нютон (който обаче е бил твърде неприятен човек – виж моята книга *Хюйгенс и Бароу, Нютон и Хук*, публикувана от Birkhauser през 1990), Риман, Поанкаре, Минковски, Вайл, Колмогоров, Уитни, Том, Смейл и Милнор. Половината от математиката, която познавам, дължа на книгата на Ф.Клайн *Лекции върху развитието на математиката през 19 в.* Също така много съм научил от математици като Гелфанд, Рохлин, С.Новиков, П.Делин, Фукс, а също от мои собствени ученици като Ховански, Нехорошев, Варченко, Закалюкин, Василиев, Гивентал, Горюнов, О.Шербак, Чеканов и Казарян.

Много съм задължен на Том, чийто семинар по сингулярности в Institut des Hautes Etudes Scientifiques, който посещавах през 1965, дълбоко измени моя математически светоглед. Винаги съм се възхищавал от начина, по който Том обсъжда математиката, като използва изречения, които по очевиден начин изобщо нямат строг логически смисъл. Докато аз самият никога не успях да се освободя напълно от усмирителната риза на логиката, заедно с това бях завинаги заразен с видението на безотговорното математическо фантазиране без никакъв точен смисъл. “Човек може винаги да намери имбецили, които да доказват теореми” беше веруюто на Том според неговите студенти.

Лекциите на Милнор в Ленинград през 1961 по диференциални структури върху

сфера произвежда такава дълбоко впечатление на моя научен ръководител Колмогоров, че той препоръча аз да ги включа в програмата за аспирантската си подготовка. Това ме принуди да започна да изучавам диференциална топология с помощта на Новиков, Фукс и Рохлин. Получи се много навреме, защото година по-късно аз бях включен в комисията по защитата на Новиков върху темата за диференциални структури върху произведения на сфери [differential structures on the products of spheres].

Смейл беше един от първите чуждестранни математици, които срещнах; това стана в Москва през 1961. Неговото влияние върху руските работи по динамични системи и върху мен самия беше огромно.

Люн: *Забелязвате ли някакви разлики в начина, по който хора от различни култури правят математика?*

Арнолд: Не осъзнавах тези разлики в продължение на много години, но те наистина съществуват. Преди няколко години участвах в конференция на Международната научна фондация (МНФ), във Вашингтон. Тази организация разпределя субсидии между руски учени. Един американски участник предложи да се субсидира определен руски математик с аргумента, че “той работи в добър американски стил”. Бях озадачен и помолих за пояснение. “А”, отговори американецът, “това означава, че човекът пътува много и представя всички свои последни резултати на всички специалисти в областта”. Моето лично мнение е, че МНФ би направила по-добре, ако подпомагаше онези, които работят в добрия руски стил, т.е. седят си вкъщи и работят напрегнато, за да докажат фундаментални теореми, които ще останат завинаги като крайъгълни камъни на математиката!

Руските заплати са (и бяха) толкова малки, че ако някой се занимава с математика, това означава, че за него това именно е *целта*, а не е средство за печелене на пари. В западната математическа общност все още е възможно да се спечели висока репутация просто чрез пренаписване (или осъвременяване) на класически руски постижения и идеи, останали неизвестни на Запада.

Руското отношение към знанието, науката и математиката винаги е било в унисон със старите традиции на руската *интелигенция*. Тази дума не съществува в други езици, защото в никоя друга страна няма подобна каста на учени, лекари, художници, учители и т.н., които намират повече удовлетворение в техните приноси за обществото, отколкото в личната си изгода или финансова печалба.

Неотдавна моят приятел Вершак се опита да получи в Париж американска виза. “Каква е заплатата Ви в Санкт-Петербург?” го запитал чиновникът в американското консулство. След като чул неговия откровен отговор, чиновникът запитал: “Да не искате да кажете, че при тази заплата възнамерявате да се завърнете в Санкт-Петербург?”. Вершик отвърнал: “Разбира се. Парите не са всичко!” Чиновникът бил толкова поразен, че на момента разрешил виза за Вершак.

Седмица преди това аз също се кандидатирах за виза и бях записан за получаване на документа след три седмици. Обяснението на служителите беше, че документите

ми ще трябва да бъдат проверени във Вашингтон, тъй като аз съм бил “магаре”. Поисках обяснение. “Да”, беше отговорът “ние имаме подобни псевдоними за различни категории хора: куче, котка, тигър, камила и т.н.” Показаха ми списък и в него “магаре” беше псевдоним за руски учен.

Друга една особеност на руската математическа традиция е тенденцията да се гледа на цялата математика като на единен жив организъм. На Запад е напълно възможно човек да бъде специалист по математика по модул 5, без нищичко да знае за математика по модул 7. Западът гледа отрицателно на широките интереси – точно както в Русия тясната специализация се смята за недопустима.

Френската математическа школа е била блестяща в продължение на няколко столетия и чак до съвременните проникателни работи на Лъоре, А.Картан, Сер, Том и Серф. Бурбакистите претендираха, че всички велики математици са заменяли, по думите на Дирихле, слепите изчисления с ясни идеи. Манифестът на Бурбаки, съдържащ тези думи, беше преведен на руски като: “всички ясни идеи бяха заменени със слепи изчисления”. Редактор на превода беше Колмогоров. Неговият френски беше отличен. Бях удивен, когато открих тази грешка в превода и обсъдих това с Колмогоров. Неговият отговор беше: Не можех да допусна, че нещо с превода не е наред, тъй като преводачът описваше стила на Бурбаки много по-добре от самите бурбакисти. За съжаление, Поанкаре не остави своя школа във Франция.

Типичен пример за френско тесногърдство е неотдавнашната дискусия в Академията на науките. Громов беше чуждестранен член в продължение на много години, но наскоро той реши да избере френско гражданство и поради това повече не можеше да остава като чуждестранен член. Въпросът беше той да бъде трансформиран в обикновен член на Академията. Френските математици обаче се противопоставиха на това, като заявиха, че “онези постове са за истинските французи!” Според мен всичките “истински френски” кандидати бяха несравнимо по-ниско от нивото на Громов, който е един от водещите математици в света. В крайна сметка Громов все още не е член на Академията.

Във Франция е много трудно да се преподава поради формализираното в стил Бурбаки обучение на студентите. Например на писмен изпит по динамични системи за студенти от четвърти курс в университета Paris-Dauphine една от задачите беше: да се намери границата за клонящо към безкрайност време на решението на система от уравнения на Хамилтън върху фазовата равнина при зададена начална точка. Идеята беше началната точка да се избере върху сепаратрисата на седло, като границата е седловата точка.

При подготовката на изпитната задача аз допуснах аритметична грешка и фазовата крива (кривата на енергетичното ниво, съдържаща началната точка) се оказа затворена овала вместо сепаратриса. Студентите откриха това и направиха извода, че съществува крайно време T , за което решението се връща към началната точка. Използвайки теоремата за единственост [unicity theorem], те успяха да стигнат до извода, че за всяко цяло число n стойността на решението в момента nT продължава да е началната

точка. Тогава те заключиха, че щом границата за безкрайно време съвпада с границата за всяка редица от времена, стремяща се към безкрайност, то границата трябва да е равна на началната точка! Това решение беше получено *независимо* от няколко добри студента, седящи на различни места в изпитната зала. Във всичките тези разсъждения няма логически грешки. Това е *коректна* дедукция, която може да се произведе и с помощта на компютър. Съвсем очевидно е, че студентите не бяха разбрали *нищо*. Ужасяващо е, като си помисли човек какъв натиск са упражнявали бурбакистите върху (очевидно неглупави) студенти, за да ги редуцират до равнището на формални машини! Такъв вид формализирано обучение е свършено безполезен за кой да е практически проблем и даже е опасен, защото води до събития от типа на Чернобил. За съжаление бедствието на формалната дедукция се разпространява в много страни и бъдещето на заразената от него математика е твърде безрадостно.

Съединените щати са изправени пред друг вид опасност. Никой руски професор не би могъл да реши правилно задачата, която се дава на кандидатския минимум, който е официален изпит за постъпване на аспирантура. Задачата е: да се определи най-близката до двойката (ъгъл, градус) измежду двойките (време, час), (площ, квадратен инч) и (мляко, кварта). Всеки американец моментално я решава правилно. Официалното обяснение за правилния отговор (площ, квадратен инч) гласи: един градус е минималната мярка за ъгъл, един квадратен инч е минималната мярка за площ, докато един час съдържа минути, а квартата съдържа две пинти. Винаги съм се чудел как е възможно толкова много американци да преодоляват подобни трудности и да стават големи математици. Един физик в Ню Йорк, който реши успешно горната задача, ми каза, че има правилния модел за тъпотата на авторите на такива задачи.

Х. Уитни ми съобщи, че задачата (предназначена за четиринадесетгодишни американски ученици) дали 120% от числото 80 е по-голямо, по-малко или равно на 80 е била правилно решена (на общонационален тест) от 30% от учениците. Хората, подготвили теста, сметнали, че 30% от учениците разбират процентите. Уитни обаче ми обясни, че броят на онези, които действително ги разбират, е пренебрежимо малък спрямо общия брой. Тъй като възможните отговори са три, статистическото предсказание за правилен случаен избор е 33% при неопределеност 5%.

Неотдавна Националната академия на науките реши да засили обучението по природни науки в Америка. Те предлагат от учебната програма да се премахнат ненужните научни факти, които са твърде трудни за американските деца, и да бъдат заменени с действително *фундаментални*, *основни* знания, като например това, че всички обекти имат свойства и всички организми са природни! (Вж. *Nature* 372:5606, December 8, 1994). Няма съмнение, че по този начин ще отидат далеч! Преди две години прочетох в *USA Today*, че американски родители са съставили списък на действително необходимите знания за децата от различните възрастови групи. На десет те трябва да знаят, че водата има две фази, а на 15 – че Луната има фази и се върти около Земята. В Русия ние все още учим децата в началното училище, че водата има три фази, но без съмнение новата американизирана култура ще победи в близкото бъдеще. Съществуват

обаче някои забележителни предимства на свободната американска система, където студент в университета може да избере на мястото на предмета алгебра, да речем, история на джаза.

Няколко месеца преди смъртта си Уитни, който беше все така активен в Института за авангардни изследвания в Принстън, ми разказа историята на своето математическо образование. Той бил в начален курс по цигулка в Йейл и след втората година бил изпратен в един от най-добрите европейски музикални центрове. Забравил съм кой е бил градът, но във всеки случай трябва да е бил недалеч от Алпите, тъй като Уитни вече бил алпинист. В този университет студентът е трябвало да издържи изпит по предмет, който е различен от основното му обучение. Уитни запитал другите студенти кой предмет е най-моден по това време и те му казали, че това е квантовата механика. След първата лекция по квантова механика Уитни отишъл при знаменития лектор (Паули? Шрьодингер? Зомерфелд?) и му казал: “Драги професоре, струва ми се, че нещо не е наред с Вашите лекции. Аз съм най-добрият студент, дошъл от Йейл, и въпреки това не мога да разбера нито една дума от Вашата лекция.” Лекторът, след като бил уведомен, че Уитни изучава музика, отговорил много вежливо: “Това е така, защото се нуждаете от известни основни познания по анализ и линейна алгебра”. “Добре”, отговорил Уитни, “предполагам, че те не са така нови, както е Вашият предмет, и че някой вече е написал учебници по тези предмети.” Лекторът е съгласил и посочил заглавията на някои учебници. (Ако тази история е позната на някого, бих желал да узная името на града, на лектора и заглавията на книгите.) “След три седмици” продължи Уитни, “аз вече разбирах неговите лекции, а в края на семестъра се прехвърлих от музика в математика”.

Колмогоров също е започнал като нематематик – записал история. Първата си статия, написана, когато е бил на седемнадесет години, той докладвал на семинара, ръководен от Бакрушин в Московския университет. Колмогоров стигнал до някакво заключение, като се основавал върху анализа на документи за данъчните събирания в средновековен Новгород. След доклада си Колмогоров запитал Бакрушин съгласен ли е с неговите изводи. “Млади човече”, казал професорът, “в историята са нужни поне пет доказателства за едно заключение.” На следващия ден Колмогоров се прехвърлил в математическия факултет. След смъртта му неговата статия беше открита в архива му; тя беше публикувана и историците я одобриха.

Люи: Имате ли коментари относно връзката между чиста и приложна математика?

Арнолд: Според Луи Пастър няма такова нещо като приложни науки – съществуват единствено ПРИЛОЖЕНИЯ на науката. По отношение на общността на приложните математици е разпространено мнението – както между общността на чистите математици, така и между физиците теоретици, – че тя се състои от слаби мислители, които не са способни да създадат нещо важно като наука, и от такива, които повече се интересуват от пари, отколкото от математика. Аз не мисля, че такава характеристика е

напълно заслужена от общността на приложните математици. В статията си “Апология на приложната математика”, 1996 г., аз резюмирам изказването си при откриването на Хамбургския международен конгрес по промишлена и приложна математика, юли 1995. Мисля, че разликата между чиста и приложна математика е по-скоро социална, отколкото научна. На чистия математик се заплаща, защото прави математически открития. На приложния математик се заплаща за решаването на дадени проблеми.

Когато Колумб отплувал, той е приличал на приложен математик – платено му било за решаването на конкретен проблем: да намери път до Индия. Когато открива Новия свят, той прилича на чист математик. Не мисля, че откритията на Галилей (който на момента ги прилага в типично американски делови стил) са по-маловажни от, да кажем, тези на чистия философ Паскал. Реалната опасност иде не от самата приложна мафия, а от откъсването на чистата математика от естествените науки, причинено от (бих казал криминалната) формализация на математиката и на математическото обучение. Аксиоматично-дедуктивният Хилберт – Бурбаки стил на изложение на математиката, доминиращ през първата половина на 20 в., за щастие вече отстъпва пред обединителните тенденции на геометризираната в стила на Поанкаре математика, съчетаваща дълбокото теоретично вникване с приложенията към реалния свят.

Между впрочем прочетох в една неотдавна излязла американска книга, че геометрията е изкуството да не се допускат грешки при дълги пресмятания. Мисля, че това е подценяване на геометрията.

Нашият мозък има две половини: едната отговаря за умножаването на полиноми и за езиците, а другата половина отговаря за ориентацията на фигурите в пространството и за всички важни неща от реалния живот. Математиката е геометрия, когато трябва да използваме и двете половини. (виж напр. статията на А.Ховански “Геометрия на формулите” в *Math.Phys.Rev.*, Vol. 4, 1984).

(S.H.Liu. *An Interview with Vladimir Arnol'd*. Notices of the AMS. Vol.44, N 4, 1997).

Превод: М.Бушев

Послеслов на преводача

Бележитият съветски, руски и френски математик Владимир Игоревич Арнолд (роден на 12 юни 1937 в Одеса, Украйна) почина на 3 юни 2010 в Париж. Математическото творчество на Вл.Арнолд започва преди повече от 50 години и повлиява на цялата съвременна математика. Избран е за член на всички водещи академии в света и е лауреат на множество награди. Създава блестяща математическа школа.

На 19 години, като студент в трети курс, Арнолд заедно със своя учител А.Н.Колмогоров решава тринадесетия проблем на Хилберт (невъзможност да бъде решено уравнение от седма степен с помощта на функции, зависещи само от два аргумента). Друга студентска работа на Арнолд е неговият принос в знаменитата те-

ория КАМ (Колмогоров – Арнолд – Мозер), свързана с решаването на фундаментални проблеми на небесната механика, а по-късно намерила приложения в цялата теория на т.нар. детерминистичен хаос.

Арнолд е един от създателите на теорията на сингуларностите, описваща скокообразни изменения на процесите при бавни, плавни изменения на параметрите. Тези резки изменения понякога се наричат “катастрофи”, а самата теория – “теория на катастрофите”. Тя намира приложения не само във физиката и химията, но също в биологията и социологията. Нови математически области са създадената от Арнолд алгебрична геометрия (довела до частично решаване на 18-я проблем на Хилберт) и т.нар. симплектична топология – сплав на геометрията и механиката на Хамилтън.

За Арнолд математиката е едно цяло, тя е естествена част от материалния свят: “Математиката е част от физиката. Физиката е експериментална наука, а математиката е част от физиката, в която експериментите са много по-евтини”. Творческият му метод, възприет от неговия учител, е бил твърде необичаен. Когато решението не се получавало, Арнолд се качвал на ските и (само по плувки!?) пробягвал около 40 километра. Твърдял, че след това винаги му идвала нова идея.

Вл.И.Арнолд беше страстен борец срещу пагубните реформи на образованието, водещи до неговото обезличаване. В реч пред Държавната дума той рязко се опълчва против такъв план за реформи, който “създава впечатлението, че е план за подготовка на роби, обслужващи суровинния придатък на господстващите”. Самият Арнолд възплащава свобода на мисъл и действие.

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

БИБЛИОМЕТРИЧНОТО ОЦЕНЯВАНЕ НА ИНДИВИДУАЛНИТЕ УЧЕНИ: нито правилно, нито дори грешно

Ф. Лалое, Р. Мосери

Между различните човешки дейности, научните изследвания са вероятно едни от най-много оценяваните (цитирането на статиите, контрактите за провеждането на изследвания, оценяването на научните лаборатории и т.н.). През последните години нараства значението на библиометрията, която произвежда различни числа и оценки. Подобни данни могат понякога да носят полезна информация, но при оценката на индивидуалните учени приложението им, за съжаление, излиза извън границите на разумното.

На никого не би хрумвало да оценява дългосрочното художествено въздействие на съвременните писатели, композитори, художници и т.н. чрез количествени методи (брой на продадените книги, билети за концерти, нарисувани картини и т.н.). Чрез подобни методи човек би получил известна информация за качеството на художествената продукция, но в по-голяма степен тези оценки разкриват друг тип характеристики на творчеството – мода, продуктивност на твореца и т.н. С количествени методи вероятно няма да можем да посочим онези творци, които ще останат знаменити в продължение на десетилетия и столетия. По същия начин никой не би предложил ефективността на държавните служители да се оценява по броя на изготвените от тях административни отчети.

Макар, че научните изследвания не са нито изкуство, нито административна дейност, количествените методи за оценяване на индивидуалните изследователи страдат от същия проблем: тези оценки съдържат известна информация, но само малка част от тази информация се отнася до качеството на учения. Използването на оценъчните индекси, такива като Н-индекс¹, на ниво на отделните учени е лесно и следователно примамливо, но в повечето случаи това е ненаучно. Много по-голям проблем е, че широкото прилагане на количественото оценяване на изследователите ще създаде (и на практика вече създава) ефекта на една изкривяваща обратна връзка, влошаваща качеството на публикациите и отгук на самото функциониране на науката.

¹ Н-индексът се опитва да измери както научната продуктивност, така и научното влияние на един отделен учен, научна група, лаборатория и т.н. J. E. Hirsch го въвежда през 2005 г. и го дефинира по следния начин. Един учен има индекс h ако h от неговите/нейните N_p публикации имат поне по h цитирания всяка и останалите $(N_p - h)$ публикации имат най-много h цитирания всяка. „Web of Science“ предоставя пряк достъп до Н-индекса, само след няколко кликания на мишката.

Волфганг Паули

Казват, че Волфганг Паули, един от гениите, които създадоха квантовата механика, бил много раздразнен след като прочел една неинтересна статия и възкликнал: „тази статия не е вярна, но нещо по-лошо – тя дори не е грешна“. Оценяването на верността или погрешността на една публикация лежи в основата на естествените науки.

Забележката на Паули може да се приложи с успех и към много от приложенията на библиометрията, предложени от онези, които вярват, че в числата има научен смисъл. Библиометричното оценяване на учените „не е дори грешно“. И наистина. Ако сравним един учен с международна известност с един ексцентрик, който никога не е бил цитиран от други, освен от себе си, то библиометричната оценка на първия, разбира се, ще е много по-висока от тази на втория. В това няма съмнение. Следователно, ако целта ни е да определим кои учени са много добри и кои са посредствени, без съмнение е напълно възможно да се опрем на библиометричните методи. От подобна оценка човек би научил... онова, което му е било известно в самото начало. Но ако целта е да се получи действително полезна информация, например да се класират изследователите в една относително хомогенна група (напр. работещите в една лаборатория), тогава ситуацията е различна. Веднага се забелязва съществуването на големи флуктуации в индексите (H , G^2 и т.н.), което е изненадващо. Учени, чиято продукция се оценява от научната общност за приблизително еднакво важна, получават много различни стойности на оценките. Защо?

Да извлечем сигнала от шума

Няколко причини обясняват защо библиометричните методи дават една опростена гледна точка за индивидуалните научни приноси. Тези методи наистина съдържат информация за научното качество, но този „сигнал“ е потопен в „шум“, създаден от зависимостта на оценките от голям брой странични фактори. Нека вземем за пример Н-индекса. Той е функция на първата променлива X , съответстваща повече или по-малко на научното качество, но също така той е функция и на променливата Y , свързана с индивидуалния стил на автора (дали работи в колаборации или не, дали има предпочитание към „модните“ научни области, дали има интерес към приложенията и др.), на променливата Z , свързана със стила на публикуване (предпочита ли кратки писма или дълги статии, предпочита ли по-престижните списания като Nature или Science дори в случаите, когато това не са типичните списания за областта на изследването и др.), и на променливата W (принадлежи ли оценяваният учен към някоя престижна научна школа или предпочита да се опитва да създаде нова област на изследвания). Очевидно този списък от променливи е неограничен. Може например да се добави вкусът на учения към научните конференции, което не винаги е свързано с неговите творчески способности. Всеки учен знае, че единственият начин да се определи целе-

² G-индексът е въведен през 2006 г. от L. Egge като алтернатива на Н-индекса. Неговата дефиниция е: „Нека дадено множество от статии са подредени в намаляващ ред на броя на цитиранията. G-индексът е онова най-голямо число g , за което горните g статии в списъка са получили средно поне g -цитата“.

вата променлива X от стойността на функцията H е като се елиминира шума чрез усредняването на H . Ако това усредняване се извърши върху голямо множество от учени, променливите $Y, Z, \dots$ ще приемат всички възможни стойности и тяхното влияние след усредняването на H ще се анулира. Така от стойността на H ще „изплува“ стойността на целевата променлива X . Това е причината, поради която библиометричните методи позволяват да се получат адекватни оценки, например, при сравнението между две големи изследователски области в различни държави. Но използването на H , за да се определи X , като се използва една единична статистическа извадка, е просто научна грешка, която не би се допуснала в никоя сериозна лаборатория.

Истинската цел на цитатите

Освен това този метод на оценяване се осланя на един изричен постулат, който всъщност изобщо не е очевиден. Идеята е, че цитатите, съдържащи се във всички научни статии, са нещо като награден списък в съответната научна област. Тази класация тогава би могла да се използва като мярка за качеството, базираща се на мнението на много автори. Но, разбира се, това не е начинът, по който авторите на статии съставят списъка на цитатите. Включването на една статия в списъка на цитатите няма нищо общо с библиометрията или с класирането на учените по важност. Истинската цел на включването на една статия в списъка на цитатите е да се даде на читателя онази информация, която е необходима, за да се разбере дадената статия. Цитирането е един строго контекстуален процес. Например една статия може да се цитира за удобство, защото позволява да се съкрати списъкът от цитирани статии – в този случай се предпочитат обзорните статии вместо оригиналните. Подобните статии също са предпочитани, независимо от научния интерес към тях, защото те улесняват писането ... и избягват възникването на напрежение между колегите. Авторите могат дори да цитират статии, които считат за погрешни, защото те искат да поправят допуснатите грешки. В експерименталните изследвания статиите, описващи методите и апаратурата, са също предпочитани. Обратното, големи научни открития, нови и абстрактни идеи се цитират рядко чрез голямата оригинална статия, а по-често чрез вторични публикации, вдъхновени от нея. Следователно, приемайки цитирането като единствен базисен елемент за оценка на научното качество, е проява на неразбиране на ролята на цитатите и използването им не по предназначение. И, което е по-лошо, това създава извратени странични ефекти, тъй като този метод на оценяване има тенденцията да влияе обратно върху начина, по който научните цитати се дават в статиите. Това не подобрява качеството на общуването между учените.

Различни заблуди

В „сериозните“ науки базата от данни, която се използва за библиометрия най-често е SCI³. Един проблем веднага ни идва на ум: книгите не се вземат предвид при

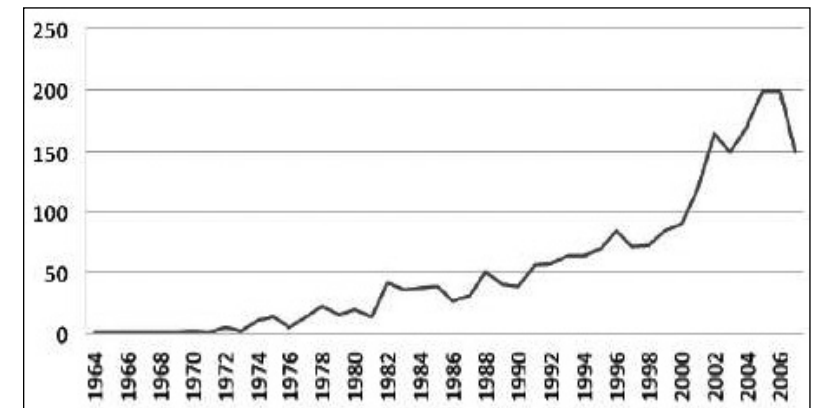
³ SCI означава „Science Citation Index“ и е база от данни. Тази база от данни лежи в основата на платените услуги на WOS (Web of Science) на ISI/Thomson.

изчисляването на H -индекса, което тази база данни прави с две кликания на мишката. Това е много странно, тъй като повечето учени ще се съгласят, че един от най-добрите начини един творец да повлияе върху развитието на дадена научна област е публикуването на книги.

Втори проблем. Индексите G, H , и т.н., които най-често се използват, за да се класират отделните учени, са точно толкова предубедени, колкото е и известната Шанхайска класация. При тези индекси приносът на един автор е един и същ, независимо дали той/тя е самостоятелен автор или пък той/тя има 10 съавтора! Изчисляването на индексите G', H' и т.н. от броя на цитиранията, разделен на броя на съавторите може да изглежда елементарно и дори по-логично, но никой не прави изчисленията по този начин. Не го прави и SCI. Проблемът е очевиден: ако трима приятели решат да обединят своите публикации в течение на цялата си кариера техният H -индекс силно ще нарастне.

Трети проблем: значителното относително тегло на кратките периоди при изчисляването на библиографските индекси. В много научни области минимални технически пробиви поражда вихрушка от публикации, които след това могат да бъдат бързо забравени. Като следствие библиометричните индекси са много чувствителни към модата. Този проблем би могъл също лесно да се излекува: могат да се въведат индекси, които дават по-голяма тежест на статиите, имащи дългосрочно влияние, например като се включват само статии, които продължават да се цитират и след 3 или 5 години. Никой не прави това. Впечатляваща илюстрация на проблема с краткосрочното и дългосрочното цитиране е даден на Фиг. 1, с примера на една от най-значимите статии във физиката.

Четвърти проблем. Той е по-скоро технически, но реален. Базата данни SCI не е еднородна, тъй като постъпването на данни флукутира във времето в зависимост от хората, които я поддържат. Необходим е специалист, който да направи необходимата серия от корекции. Ние не можем да дискутираме тук този въпрос, но на кого му пука. Много по-лесно е да получиш класацията на учените само с три кликания на мишката.



Фиг. 1. Брой на цитатите за година на знаменитата статия на Дж. Бел (John Bell) „On the Einstein-Podolsky-Rosen Paradox“, *Physics*, vol. 1, 195-200 (1964). Докато тази статия почти не е била цитирана в продължение на много години, 30 г. след нейното публикуване тя започва да се цитира все повече и повече. В частност, тази статия не е имала никакъв принос за IF (impact factor) на списанието, в което е била публикувана.

Освен че е със съмнително качество тази повърхностна употреба на библиометричната създава и по-сериозни проблеми, на едно по-дълбоко ниво от простото „изкривено“ оценяване. Тя може да повлияе на качеството на научното общуване и в дългосрочен план и на качеството на самото научно изследване.

Ясно е, че ако критериите за оценка поощряват краткосрочното библиометрично влияние на статиите, повечето учени ще се приспособят към този факт и ще ориентират своята работа по начин, който им дава висок индекс, дори това да става за сметка на научното качество. Тъй като процесът на научно общуване е в самото сърце на функционирането на науката, това ще измести общото усилие към изследвания с бърз(краткосрочен) ефект, намалявайки прогреса в областите с по-бавен (дългосрочен) ефект. Това всъщност вече става: някои научни списания, за да подобрят своя „импакт фактор“, провеждат една „специфична“ политика на цитиране, давайки на авторите да разберат, че „ако вашият ръкопис съдържа поне 4 цитата на статии, публикувани в нашето списание, то вашата статия ще бъде приета по-лесно за публикуване“. Има ли нещо по-лошо за научното качество и за чистотата на науката?

Изводи

Гореизложеното ни води към следните изводи относно индексите за оценка на един индивидуален учен.

1. Тези индекси не са тествани с достатъчна прецизност, сравнявайки ги с други методи на оценяване. Парадоксално, но методите за оценяване на изследванията не са били подложени на научен анализ и подбор, нещо което се прилага във всички научни области. Дори елементарни проверки на съгласуваността, като тези, споменати по-горе (например, ефекта от разделянето на оценката на броя на съавторите) не са били направени.

2. Изглежда, че никой не е имал време честно да се опита да намери такива индекси, които да са по-тясно свързани с качеството и с дългосрочното значение на научните изследвания.

3. Тези оценки „дори не са погрешни“, тъй като те без съмнение съдържат някаква информация за отделните учени. В повечето случаи тази информация е тривиална и вече известна. Когато индексите се прилагат в реалния живот за една хомогенна група от хора, те по-скоро дават информация за променливи, които са по-различни от качеството на работата, като например стила на работа на оценяваната личност.

4. Успехът на тези индекси за оценка се дължи не толкова на качеството на информацията, която те дават, а много повече на тяхната простота на използване. Това спестява времето, необходимо за да се направи едно реално оценяване.

5. Накрая, изглежда, че вярата в тези индекси е не по-различна от нещо, което излиза извън рамките на рационалното. Човек може да сравни това с астрологията и нумерологията, които претендират да са науки, но тяхната „научност“ никога не е била доказана.

Рецепта

Ако сте слаб учен, вероятно няма начин да получите добър Н-индекс. Тогава тази рецепта не е за вас. Ако сте добър учен и желаете да имате по-висок Н-индекс, ето няколко съвета.

1. Изберете да работите в група от поне 5 или 6 колеги, ако е възможно и повече, и публикувайте всички ваши статии заедно. Това ще повиши съществено вашият Н-индекс. Наистина всички вие ще имате един и същ Н-индекс, но на кого му пука. Нещо повече, това би ви позволило да споделите материални и човешки ресурси (например, докторанти и постдокторанти), което също ще повиши вашата продуктивност. Очевидно е, че колкото по-прочути са вашите колеги-съавтори, толкова повече ще нарастне вашият Н-индекс.

2. Предпочитайте големите научни области пред по-малките, защото е по-вероятно малките научни области да цитират по-големите, отколкото обратното. Съществува положителна корелация между броя на цитатите и размера на научната област. Дори да сте гений, избягвайте области на изследване, които са встрани от основните търсения в момента. Ще ви трябват поне 10 г., за да дочакате вашите работи да бъдат забелязани и оценени. Нещо повече, вашите статии ще бъдат цитирани по-малко от онези статии, които са били стимулирани от вашата публикация. Накратко, не поемайте научен риск.

3. Освен това, не си губете времето в публикуването на книги. Те не играят роля при изчисляването на стандартния Н-индекс.

4. Не отделяйте голямо внимание на онова, което е било за вас началната мотивация да се занимавате с наука – създаването на ново и оригинално знание. Когато пишете статии, помнете, че връзките са много по-важни.

Превод: Динко Динев

(Franck Laloë, Remy Mosseri. Bibliometric evaluation of individual researchers: not even right... not even wrong. Europhysics News, vol. 40, No5, 2009)

За авторите:

• **Franck Laloe** – почетен директор по изследванията на Лабораторията “Kastler Brossel”, ENS, Париж. Научната му дейност е в областите на: оптичното напompване, спиново-поляризиранни квантови газове, спиновни вълни, изчисляване на ефекта на различни въздействия върху температурата на прехода на Бозе-Айнщайн, нелокални квантови ефекти в Бозе-Айнщайн кондензат.

• **Remy Mosseri** – директор по изследванията на Лабораторията за физика на кондензираната материя, CNRS-UPMC, Париж. Научната му дейност е в областите на: неподредени системи, квазикристали, квантова информация.

ПРЕД ЛИЦЕТО НА НЕПЪЛНАТА ИНФОРМАЦИЯ

Лий Смолин

За да преодолеем негативните тенденции във физиката, трябва преди всичко да разберем какво представлява науката – кое я движи напред и кое я дърпа назад. Но за да успеем, трябва да определим науката като нещо повече от „това, което правят учените“.

Когато постъпих като докторант в Харвард през 1976 година, бях наивен студент, излязъл от незабележителен колеж. Благовеех пред Айнщайн, Бор, Хайзенберг и Шрьодингер и пред начина, по който са променили физиката чрез силата на радикалното си мислене. Както се случва с младите учени, мечтаех да бъда един от тях. И ето, намирах се наред физиката на елементарните частици, обкръжен от лидерите в областта като Сидни Коулман, Шелдън Глашоу и Стивън Уайнбърг. Невероятно умни люде, но тъй различни от моите герои. На лекциите така и не чух от тях разсъждения за природата на пространството и времето или за проблемите в основата на квантовата механика. Нито срещнах студент с подобни интереси.

Това ме доведе до *криза на личността*. Определено не бях скроен като студент от реномираните университети, но вече правех изследвания, които доста от наставниците ми нямаха, и знаех, че напредвам бързо. Същевременно имах доста интересни идеи по отношение на това какъв трябва да е великият теоретик. Великите теоретици, с които имах вземане – даване в Харвард, бяха по-скоро различни от тези представи. Атмосферата не беше философска; възприемах я като твърда и агресивна, с надмощие на нахакани, нагли и самонадеяни хора, които понякога си позволяваха грубост към несъгласните с тях.

По същото време се сближих с младата философка на науката Амелия Речъл-Кон чрез нея се запознах с хора, които като мен се интересуваха от дълбоките философски и фундаментални проблеми на физиката. Философите бяха по-приятни от физиците, но се задоволяваха да анализират определени логически проблеми в основата на Специалната теория на относителността или на обикновената квантова физика. Не ми достигаше търпение за подобни разговори; исках да *изобретявам* теории, вместо да ги критикувам, а и бях уверен, че колкото и да отбягвах дълбоките размишления – както ми изглеждаше, – създателите на Стандартния модел знаеха такива работи, от които имах нужда аз, ако исках да постигна нещо.

Тъкмо когато мислех да се откъсна от заниманията си с тях, Амели ми даде „Против метода“ на философа Паул Файерабенд (Paul Karl Feyerabend). Книгата заговори с мен, но ми съобщи не особено окриляващи вести. Беше нападение изневиделица върху наивността ми, както бях потънал в себе си. Книгата на Файерабенд ми каза следното: „Слушай, чадо, стига мечтал! Науката не е седянка за философи в облаците. Това е човешка дейност, сложна и проблематична като всяка друга. За науката няма единствен метод, нито има прости средства за оценка кой е добър учен. Добра наука е всичко,

което в определен момент движи знанието напред. Хайде не ми досаждай с въпросите как се определя прогресът – определяй го както ти уйдиса, защото все ще си прав“.

От Файерабенд узнах, че понякога прогресът иска дълбоки философски размишления, но по-често не иска. Всъщност го тласкат хора с опортюнистична нагласа, които оглаждат ръбовете, докато преувеличават това, което знаят или са постигнали. Галилей е бил един от тях, много от аргументите му са били грешни, а опонентите му – добре образовани, философски подковани йезуитски астрономи от онова време – лесно правели пробойни в разсъжденията му. Въпреки това правият бил той, а те грешали.

Пак от Файерабенд научих, че няма априорни аргументи, които да указват кое ще работи при всички обстоятелства. Това, което тласка науката в един момент, ще я води към заблуди в друг. От неговите разкази за Галилей научих още: трябва да се бориш за това, в което вярваш.

Посланието на Файерабенд беше позакъсняло телефонно обаждане. Ако исках да правя добра наука, беше време да разбера, че хората, при които се учех, бяха наистина великите учени на деня. Както всички велики учени, те бяха успели, защото идеите им бяха правилни и те се бяха борили за тях. Не губете време за самосъжаление или за носталгично подмазване пред Айнщайн или Бор. Никой вместо вас няма да развие идеите ви, нито ще се бори за тях.

Излязох да направя по-дълга разходка и реших да остана в науката. Скоро разбрах, че мога да предприема изследване върху проблемите на квантовата гравитация, като приложам методи, използвани във физиката на елементарните частици. Това означаваше да оставя за някое време фундаменталните дирения, но все пак беше чудесно да измислям нови формулировки и в техните рамки да правя някои пресмятания.

В знак на благодарност, че спаси кариерата ми, изпратих на Файерабенд копие от дисертацията си. В отговор той ми прати новата си книга „Науката в едно свободно общество“ с покана да му се обадя, ако наминавам някога към Бъркли. Такъв случай ми се представи след няколко месеца, но да го открия там се оказа трудно предприятие. Той нямаше приемни часове в университета, всъщност нямаше дори кабинет. Така че се вмъкнах в един от часовете му със студентите и той се съгласи с готовност да поговорим, ако е за кратко. През тези няколко минути получих безценни съвети. „да, академичният свят се е издънил здраво и не е по силите ви да промените нещо. Но не се кахърете. Просто правете това, което искате. Ако знаете какво искате и го защитавате, никой няма да има достатъчно енергия, та да ви спре“.

Шест месеца по-късно тъкмо, тъкмо бях намерил работа в Института по теоретична физика в Санта Барбара след защита на доктората си, когато получих кратко писмо от Файерабенд. Той пишеше, че е разговарял с талантлив млад студент физик, който също като мен имал философски интереси. Дали не бих се срещнал с него и да му дам съвет накъде да тръгне? Това, което всъщност ме теглеше, бе нов шанс да говоря с Файерабенд, така че се върнах в Бъркли и срещнах двамата на стълбите пред философския факултет. Файерабенд първо ни заведе на ресторант, а после и у тях, където със студента си поговорихме, докато той изглежда любимата си сапунена опера. По пътя на там се возих на задната седалка на спортната му кола заедно с малката

надуваема лодка, която държеше там, в случай че земетресение от 8-а степен го завари на моста над залива на Сан Франциско.

Първият въпрос, който Файерабенд повдигна, беше за ренормализацията – метод за работа с безкрайностите в квантовата теория на полето. С удивление откривах, че знае доста много за съвременната физика. Ясно беше, че обича физиката, но беше доста по-обигран в техническите тънкости от повечето философи, които познавах. Очевидно репутацията му на враг на науката се дължеше на поддържаното от него мнение, че въпросът защо науката работи не е получил отговор. Работи, защото има метод? Но и знахарите си имат.

Разликата може би е в това – рискувах да предположа, – че науката изпозва математика. Но така работи и астрологията, отговори той. Не знаехме какво да му отговорим, когато подхвърли, че Йохан Кеплер, един от най-големите физици на всички времена, има приноси в техническото усъвършенстване на астрологията, а Нютон е посветил повече време на алхимията, отколкото на физиката. Да не би да се мислим за по-големи учени от Кеплер и Нютон?

Файерабенд беше убеден, че науката е човешка дейност, извършвана от приемчиваи хора, които не следват универсална логика или метод и правят всичко възможно, за да увеличат знанието (каквото и определение да му дадем). Затова големият му въпрос беше: как работи науката и защо работи толкова добре? Въпреки че Файерабенд възрази на всичките ми обяснения, чувствах, че страстите му около този въпрос не бяха породени от дух на отрицание на науката, а от привързаност към нея.

С напредване на деня Файерабенд стигна до разказа за своята лична история. Като юноша във Виена проявил обещаваща дарба на физик, но учението му било прекъснато, когато бил призован през Втората световна война. Бил ранен на руския фронт и се озовал в Берлин, където след края на войната намерил работа като актьор. След време се уморил от театралния свят, върнал се във Виена и продължил да следва физика. Включил се във философски клуб – за да открие, че може да победи във философски спорове независимо коя страна заема, като просто използва уменията, усвоени във актьорския занаят. Това го накарало да си зададе въпроса дали академичният успех има изобщо рационална основа. Веднъж студентите успели да склонят Лудвиг Витгенщайн да посети клуба им. Файерабенд бил дотам впечатлен от него, че решил да се прехвърли към философията. Разговарял с Витгенщайн, който го поканил в Кеймбридж да работи с него върху общи изследвания. Но докато замине за Англия, Витгенщайн починал, и тогава някой го посъветвал да говори с Карл Попър, друг виенски емигрант, преподавател в лондонската школа по икономика. Така се преместил в Лондон, а живота си във философията започнал със статии, критикуващи работите на Попър.

След няколко години му предложили работа като преподавател. Попитал свой приятел как би могъл да преподава, след като знае толкова малко. Приятелят го посъветвал да си запише това, което смята, че знае. То запълнило единствен лист хартия. После приятелят му казал да направи от първото изречение тема на първата си лекция, от второто – втората лекция и тъй нататък. И така студентът по физика, превърнал се

във войник, който се превърнал в актьор, станал професор по философия.

Файерабенд ни върна в университетското градче на Бъркли. Преди да се раздели с нас, той ни даде последен съвет. „просто правете това, което искате да правите, и не обръщайте внимание на нищо друго. В моята кариера никога не съм изгубил и пет минути, за да правя нещо, което не искам”.

И това, което повече или по-малко съм правил оттогава насетне. А днес чувствам, че трябва да поговорим не само за научните идеи, но също и за научния процес. Нямаме избор. Носим отговорност пред идващото поколение – да размислим защо успехите ни бяха толкова по-малки от тези на нашите учители.

От времето на срещата ми с Файерабенд съм бил наставник на неколцина талантиливи млади хора в преодоляването на техните кризи, много подобни на моята. Въздържах се да им кажа това, което казвах на младия човек в мен – доминиращият стил е тъй сразяващо успешен, че изисква уважение и приспособяване. Сега трябва да се съглася с младите си колеги, че доминиращият стил не носи успехи.

Преди всичко стилът на научните занимания, който изучих в Харвард, вече не води до напредък. Той беше успешен за установяване на Стандартния модел, но претърпя злополука, когато се наложи да надхвърли границите му. Трийсет години по-късно трябва да си зададем въпрос – не е ли отживяла полезността на този стил. И не е ли настъпил моментът, който изисква по-склонния към размишления, по-рискования и философски стил на Айнщайн и неговите сподвижници.

Проблемът е много по-широк от струнната теория; той съдържа оценки и позиции, очаквани с надежда от цялата физическа общност. Не можем да избягаме от факта че физическата общност е структурирана по такъв начин, че големите изследователски програми, които агресивно пропагандират сами себе си, имат предимство пред по-малките програми, които правят по-предпазливи заявки. Поради тази причина младите академични учени имат най-добри шансове да преуспеят, ако убедят по-старите учени в свои технически по-свежи решения на отдавна поставени проблеми, застъпени в господстващите изследователски програми. Да вършат обратното, като мислят по-дълбоко и независимо и опитват да формулират свои идеи, е лоша идея за успешна кариера.

По такъв начин физиката се оказва неспособна да реши своите ключови проблеми. Време е за промяна на курса към поощрение на неголеми рискови нови изследователски програми и за избягване на добре застраховани подходи. Трябва да дадем предимство на айнщайновците – хората, които мислят сами и пренебрегват установените идеи на могъщите високопоставени учени. Но за да убедим скептиците, трябва да отговорим на въпроса на Файерабенд за това как работи науката.

Струва ми се, че тук са възможни два противоборстващи възгледа за науката. Единият разглежда науката като място за дейността на бунтовници, индивидуалисти, които достигат до велики нови идеи и се трудят усилено цял живот, за да докажат правилността им. Това е митът на Галилей. Днес е вижда колко е остарял – доказват го постижения на учени като математичният физик Роджър Пенроуз, теоретика на сложните системи Стюарт Кауфман и биолога Лин Маргулис. Другият разглежда науката като консервативна съгласувана общност, която допуска само малки отклонения от

ортодоксалното мислене и канализира творческата енергия в продължаване на вече утвърдени изследователски програми.

В определен смисъл и двата възгледа са верни. На науката са потребни както бунтарят, така и консерваторът. На пръв поглед това изглежда парадокс. Как е могло да процъфтява през вековете предприятие, което изисква съвместното съществуване на консерватора и бунтаря? Хитрината, изглежда, е в това бунтарят и консерваторът да бъдат доведени в доживотна и неуютна близост – в общността, а до някаква степен и във всяка отделна личност. Как все пак става това?

Науката е демокрация, в която всеки учен има своя глас, но която няма нищо общо с властта на мнозинството. Вместо това, въпреки че се отдава дължимото на индивидуалното мнение, решаваща роля играе консенсусът. Тук се крие отговорът на въпроса – каква позиция мога да заема, когато мнозинството в моята професия приема изследователска програма, с която не мога да се съглася, въпреки че от това бих имал изгода? Демокрацията е много повече от властта на мнозинството. Това е система от идеали и етика, която е отвъд властта на мнозинството.

Тогава, ако трябва да докажем, че науката е повече от социология и повече от академична политика, трябва да добием представа кое прави науката съвместима с идеята за самоуправляваща се общност от човешки същества, но винаги по-голяма от тази идея. А за да се обосновем, че определена форма на организация или определено поведение е добро или лошо за науката, имаме нужда от основа за оценъчни съждения, която да не е обвързана с това, което е популярно. Трябва да имаме основа за несъгласието си с мнозинството, недопускаща да бъдем определени като подбудители на раздори. Да започнем, като разбием въпроса на Файерабенд на няколко по-прости въпроса. Можем да кажем, че науката бележи напредък, когато учените постигнат консенсус по даден въпрос. Какъв е механизмът това да се случи? Често съгласието е предхождано от неприкрити противоречия. Каква е ролята на разногласията в прокарането на пътя за движение на науката напред?

За да отговорим на тези въпроси, е добре да се върнем към възгледите на философите от по-старо време. През 20-те и 30-те години на миналия век във Виена набира сили философско движение, известно като *логически позитивизъм*. Привържениците му предполагат, че твърденията стават знание, когато са проверени чрез наблюдения за света и прогласяват, че научното познание е сума от тези проверени съждения. Науката напредва, когато учените правят твърдения с проверимо съдържание, което впоследствие се подлага на верификация. Целта на логическите позитивисти е да избавят философията от метафизиката, запълнила огромни токове с твърдения без връзка с действителността. И отчасти успяват, но тяхната непълна характеристика на науката не издържа дълго. Сред многобройните ѝ проблеми е и този, че липса желязна връзка между това, което се наблюдава, и това, което се твърди. Допускания и предубеждения се промъкват в описанието и на най-простите наблюдения. Не е практично, а може би не е и да се разбие изговореното или изписаното от учените на малки атоми, всеки от които да съответства на отделно наблюдение, оголено от теоретизиране.

След неуспехите на верификационизма философите предположили, че причината за напредъка в науката е в следствие на метод, който със сигурност води към истината. Зад този подход застават философи като Рудолф Карнап и Паул Опенхайм. Карл Попър има своя гледна точка – науката напредва, когато учените предлагат фалшифицируеми теории, т.е. твърдения, които могат да бъдат отхвърлени от експеримента. При това никога не можем да докажем правилността на теорията, но ако е издържала на многобройни опити да докажем неправилността ѝ, можем да започнем да вярваме в нея – поне докато не бъде окончателно отхвърлена.

Файерабенд започнал работата си във философията с атака на тези идеи. Така показал примерно, че отхвърлянето на една теория не е проста работа. Често учениците продължават да вярват в теорията след „фалшифицирането“ ѝ, а си помагат, като изменят интерпретацията на експеримента. Или се отнасят със съмнение към самите резултати. Ако теорията не е вярна, това води до задънена улица. Но понякога отстояването на вярата в теорията пред лицето на очевидни експериментални опровержения е правилната постъпка. Как да разберете в коя от двете ситуации се намирате? Файерабенд се стремил да докаже, че няма такъв начин. Няма общо правило кога да захвърлиш една теория и кога да я оставиш жива.

Файерабенд е изцяло срещу идеята, че методът е ключът към напредъка на науката, като показва, че в критични обстоятелства ученият допринася за напредъка, като престъпва правилата. Според мен той е убедителен, твърдейки, че науката може съвсем да запре, ако винаги следва предписанията на „метода“. Историкът Томас Кун атакува понятието „научен метод“ от друга страна – с доказателства, че учените в разни моменти следват различни правила. Не тъй радикален като Файерабенд, той опитал да изложи два метода, единият съответствал на „нормалната наука“ другият – на научните революции.

Друг критик на Попър е унгарският философ Имре Лакатош, който посочил, че асиметриите между фалшификациите и верификацията не са тъй многобройни, както допускал Попър. Ако съгледате красив червен лебед, няма да изоставите теорията си, че всички лебеди са бели, вместо това ще тръгнете да търсите кой го е боядисал. Тези разсъждения ни показват, че успехите на науката все още очакват своето обяснение. Както и подчертаният от Попър проблем, че не сме определили какво отличава науки като физиката и биологията от системи от вярвания като марксизма, черната магия и „интелигентният проект“, който претендира за научност. Ако не може да се направи такова разграничение, остава отворена вратата към страховит релативизъм, според който всички претенции за истинност и реалност имат равно основание.

Заедно с много физици и аз съм убеден, че не следваме единствен метод, но не по-слабо е и убеждението ми, че дължим отговор на въпроса на Файерабенд. Можем да започнем с обсъждане на ролята, която е играла науката в човешката история.

Науката е измежду инструментите на човешката култура, появила се в отговор на положението, в което се намираме от доисторически времена: докато се реем в мечти за безкрайното пространство и време, за безкрайно красивото и безкрайно доброто, оставаме вградени в няколко свята: физическия, социалния, фантазията и духовния.

Дълго сме се стремили да открием уменията, които да ни овластят над тези различни светове. Днес тези умения се наричат наука, политика, изкуство и религия. Те са съпътствали човешкото общество винаги. Науката не е била изобретена. Тя е еволюирала, докато хората са изобретявали своите инструменти и се трудили да направят физическия свят по-близък до нашите разбирания.

Кои са свойствата на природата, които изследва науката? Най-важното е, че природата е относително стабилна. Във физиката и химията не е трудно да се разработят експерименти, чийто резултати да са възпроизводими. Когато експериментите са възпроизводими, е полезно природата да бъде описвана във вид на закони. При това въпросът не е дали действително съществуват такива фундаментални закони; за начина, по който правим науката, има значение дали съществуват статистически значими повторения (регулярности), които да можем да открием и моделираме, използвайки инструменти, които можем да създадем с ръцете си.

Случило ни се е да живеем в свят, който е открит за нашето разбиране. Още от началото на пътя ни като вид сме свидетели на повтарящи се явления в небето, годишните времена, миграцията на животните и развитието на растенията, а и в собствените ни биологични цикли. Белязвайки ги върху кост или камък, сме се научили, че можем да запазим следа от тях, за да се съотнасяме с тях и да извличаме полза. С днешните гигантски телескопи, мощни микроскопи и все по-големи ускорители правим само това, което винаги сме правили – вкарваме в работа технологията, която ни е под ръка, за да се разкрият пред нас нови структури.

Ако науката работи, защото живеем в свят на регулярности, тя го прави по особен начин, който е следствие от особеностите на собствената ни устойчивост. В частност, ние сме майстори в извеждането на заключения от непълна информация. Правилни са го ловци – събирачи, правят го и физиците, изследващи елементарните частици, или микробиолозите. Никога нямаме достатъчно информация, за да потвърдим напълно изводите, които правим. Способността да се опираме върху догадки и интуиция и да планираме действия без информацията ни да има доказателствена сила е съществено умение, което превръща някои от нас в добри бизнесмени, добри ловци или добри учени. То има съществен дял в развитието на човешките същества до преуспяващ вид.

Тази способност обаче поставя висока цена – ние лесно се поддаваме на заблуди. Но ако за всичко търсим доказателства, никога във нищо няма да повярваме. И нищо не бихме свършили – и от кревата няма да ставаме, какво остава да се сприятеляваме и да сключваме бракове или съюзи. Езикът е ефективен и полезен, защото в повечето случаи вярваме на това, което казват другите.

А заблудите практикуваме не само по отделно, но и масово. Склонността на човешките групи бързо да хванат вяра на нещо, което по-късно отделните им членове ще оценят като обичайна заблуда, е наистина смайваща. Най-жестоките трагедии от изминалото столетие се случиха, защото достатъчен брой добронамерени хора се поведоха по ума на калпави вождове, защото те им предложиха лесни решения. От друга страна, постигането на консенсус е част от съществуването ни още от времето, когато успехът в лова или спасението от стихии са изисквали съгласувани действия.

Ето защо, за да оцелее общността, са били потребни механизми за корекция: по-старите са съдържали импулсивността на младите, защото през дългия си живот често са се оказвали на грешен път; младите пък поемали риска да се опълчат срещу вярвания, осветени като непоклатими за поколения наред, но вече станали негодни. Човешкото общество е вървяло напред, защото се е научило да изисква от членовете си бунтовност и страхопочит и да търси социални механизми за уравновесяването им.

Аз съм убеден, че науката е такъв механизъм. Тя е начин за отглеждане на новото знание, но най-вече е сбор от всички изкусни умения и практики, доказали се като средство за разобличаване на грешки. Тя е най-доброто ни сечиво за справяне с вродената склонност да се самозаблуждаваме и да подвеждаме другите.

Може би сега стана по-ясно кое е общото между науката и демокрацията. Научната общност, както и цялата човешка общност, трябва да стигнат до изводи и да вземат решение, основани върху непълна информация. И в двата случая липсващата информация е причина за разногласия и са необходими механизми за разрешаването им. За да се постигне съгласие, трябва да се открият грешките и да се предложат нови подходи за решаване на неподатливите проблеми. Основната идея на демокрацията е, че обществото функционира най-добре, когато споровете се решават по мирен начин. Науката и обществото имат трагична яснота по склонността ни да изпадаме във заблуди, както и оптимистичната вяра, че ще съумеем да ги коригираме, за да бъдем след време заедно по-мъдри, отколкото произволен индивид.

Ако вече сме поставили науката в правилния ѝ контекст, можем да се върнем към въпроса защо тя работи толкова добре. Мисля, че отговорът е прост: *науката е успявала, защото учените съставляват общност, дефинирана и поддържана от спазването на споделена етика*. Именно привързаността към етиката, а не към определен факт или теория, е това, което по мое убеждение служи на научната общност като основен механизъм за поправяне на грешките.

Два са принципите на тази етика:

1. Ако спорът може да бъде решен от добросъвестни хора чрез използване на рационални аргументи по отношение на публично достъпни доказателства, със това той следва да се смята за решен.
2. Ако обаче рационалните аргументи и публично достъпните доказателства не успяват да доведат добросъвестните участници до съгласие по спора, то обществото трябва да допусне и дори да насърчи изводи, различни от предложените.

Аз твърдя, че успехите на науката се дължат на спазването на тези две правила. За да разберем дали съм прав, нека разберем какво изискват те от нас.

– Съгласни сме да спорим рационално, и добросъвестно, като споделяме изходните си данни, независимо дали от това се променя броят на споделените изводи.

– Всеки учен е свободен да прави изводи от данните. Същевременно е задължен да представи основанията за изводите си. Аргументите му трябва да са рационални и също основани на всеобщо достъпни данни. Данните, средствата за получаването им и логиката на извеждане на заключенията от данните трябва да са с открит достъп за членовете на научната общност.

– Способностите на учените да изведат заключенията се дължат на съвършеното влияние на инструменти и процедури, разработени дълги години. Те се преподават, защото опитът показва, че обикновено водят до надеждни резултати. Всеки учен, преминал през обучението в тези умения, осъзнава в дълбочина богатството от възможности за грешки и самозаблуждения.

– Консенсусът, към който се стреми научната общност, може да не дойде бързо. Крайната присъда на научния труд ще бъде произнесена в далечното бъдеще, когато за членовете на общността ще е по-лесно да преценят обективно доказателствата. Никой възглед обаче няма да възтържествува, докато не бъдат убедени скептиците.

– Членството в научната общност е отворено за всяко човешко същество. Никакви лични характеристики нямат значение, когато се обсъждат научни доказателства, и не са основание за ограничаване на възможностите за разпространяването им. Има само два критерия за приемане в общността. Първият е майсторско владение на поне едно умение в някоя научна подобласт до степен да можете самостоятелно да свършите работа, която останалите членове да оценят като висококачествена. Второто е вярност към общоприетата етика.

– Възможно е временно установяване на ортодоксалност в определена подобласт, но общността осъзнава, че противопоставяните мнения и изследователски програми са необходими за здравето на общността.

Когато се присъединяват към научната общност, хората се отказват от детинското, но всеобщо желание да се чувстват винаги прави и едва ли не пазители на абсолютната истина. В замяна получават членство в непрекъснато действащо начинание, което след време ще достигне невъзможното за отделния човек. Ще получат обучение от експерти. А в замяна на труда си в прилагане на наученото могат да разчитат общността да опазва правото на защита за всеки възглед или изследователска програма, за които са убедени, че се подкрепят от известните им данни.

Такава общност, членството в която се определя от верността към етичен кодекс, и практическото умение, разработено, за да бъде разбран този кодекс, бих нарекъл *етична общност*. Твърдя че науката е пример за такава общност в чист вид.

Определянето на науката като етична общност, тъй като някои етични общности съществуват, за да се съхраняват стари знания, а не да откриват нови истини. Науката в съвременния ѝ вид се е развила от манастирски и теологични школи – етични общности, чиято задача е да съхранят религиозните догми. За да има смисъл определението ни за наука, трябва да добавим някакъв критерий, който да разграничи физическия институт от манастира.

За тази цел ще въведем второ понятие – „*творческа общност*”. Етиката и организацията на такава общност включват *увереност в неизбежността на прогреса и отвореността*. Тъкмо тази отвореност оставя пространство, творческо и институционално, за нововъведения и неочакваности. Освен увереността, че бъдещето ще е по-добро, тук има и разбиране, че не можем да предскажем как ще пристигнем там.

Нито марксистическата държава, нито фундаменталистката религиозна структура са творческа общност. Те може и да вещаят по-добро бъдеще, но са уверени, че знаят

как точно да го постигнат. През юношеството си често чувах от баба ми, марксистката, и от нейните приятели, че са прави, защото тяхната „наука” ги учи на „точен и конкретен анализ”.

Творческата общност не се съмнява, че бъдещето ще носи изненади във вид на нови открития и нови кризи, които ще трябва да се преодоляват. Вместо да укрепват вярата в сегашното знание, членовете на общността поверяват надеждите и очакванията си на бъдещите поколения във вид на етически предписания и мисловни инструменти, които да им помагат да надделяват, използвайки обстоятелства, които са извън границите на въобразимото.

Добрите учени се надяват, че учениците им ще ги надминат. Академичната система дава достатъчно основания на добрия учен да добие увереност в собствената си власт, но като добър учен той разбира, че ако си внуши, че знае много повече от най-добрите си студенти, ще престане да бъде учен.

Всичко казано до тук трябва да сочи ясно, че противоречията са съществено важни за напредъка на науката. Моят първи принцип твърди, че когато данните ни принуждават да намерим консенсус, трябва да сторим именно това. Вторият ми принцип казва, че докато дирим консенсус, трябва да насърчаваме голямо разнообразие от гледни точки. Теоретичните ни идеи влияят на експеримента, който правим, и на тяхната интерпретация. Ако се съсредоточим върху единствена теория, с голяма вероятност ще попаднем в интелектуалните капани, които тя създава.

Файерабенд привеждаше аргументи, че дори когато имаме широко призната теория, съгласуваща се с известни факти, пак трябва да се създава конкурентни теории, за да се върви напред. Експерименти, които могат да оборят една теория и да доведат до развитие, могат да бъдат замислени обикновено само от конкурентна теория. Затова Файерабенд настояваше учените никога да не се съгласяват, освен ако не са принудени да го направят. Когато учените достигат съгласие, преди доказателствата да са ги заставили, науката е в опасност. Тогава трябва да зададем въпрос кое е повлияло върху преждевременното им заключение. Тъй като те са само хора, това вероятно ще да са същите фактори, които карат хората да се споразумяват без доказателства и по всякакви поводи – от религиозната вяра до модните тенденции. Можем ли да приемем съгласието между учените да произлиза от желанието да блеснат или защото всичките им познати мислят еднакво, или за да бъдат с отбора на победителите? Повечето хора са склонни на съгласие все по такива причини. Заради здравето на науката сме длъжни да се борим с такива подбуди и да насърчаваме противоположностите доколкото ни позволяват фактите.

Науката върви напред, когато се опитваме да възприемем нещо неочаквано, ако мислим, че *знаем* отговора, ще се стараем да вградим всеки резултат в предварително съставена идея. В среда, изпълнена със спорове между съперничаещи си възгледи, социалните механизми не могат да приведат хората в мир и съгласие. Затова в редките случаи, когато се стига до консенсус, причината е, че нямаме друг избор: фактите ни карат, дори да не ни се харесват. Затова и напредъкът на науката е реален.

Няколко са очевидните възражения срещу подобно представяне на науката.

Преди всичко, срещат се явни нарушения на описаната етика от страна на членове на общността. Учените често увеличават или подценяват фактите. Възраст, положение, мода – всичко това влияе върху работата на научната общност. Случва се изследователски програми да набират последователи и финансиране без подкрепата на фактите, а други програми, които в последна сметка придвижват познанието напред, са потискани от „социологически” сили. Тъй като броят на учените, които се придържат към етиката, е достатъчно голям, времето изиграва своята роля – след десетилетия модата бива забравена, а междувременно почти винаги се натрупват факти, върху които се изгражда консенсусът. Друго възможно възражение може да дойде от логическата непълнота на представената от мен характеристика на науката. Действително, аз не предлагам никакъв критерий за определяне на уменията, които трябва да се владеят до съвършенство. Затова пък съм убеден, че е по-добре това да сторят научните общности в продължение на много поколения. Нютон или Дарвин по никакъв начин не биха могли да предскажат инструментариума и процедурите, които ползваме днес.

Следването на обща етика никога не е строго, така че винаги има простор за усъвършенстването на научната практика. Това е особено вярно днес, когато на модата бе отредена прекалено голяма роля, поне във физиката. Затова не е рядко да срещнете надарен млад учен току що защитил докторат, който в частен разговор ще сподели, че иска да изследва Х, но всъщност работи над У, защото това е направлението или методът, към който се придържат влиятелните по-възрастни хора, и това е начинът да се осигурят финансиране или работно място. Но докато има свободно пространство за тези, които все пак ще предпочетат да работят Х вместо У, науката няма да спре движението си напред.

Както и във всяко друго човешко дело, успехът в науката е плод на храброст и характер. Въпреки че за всеки голям отрязък от време напредъкът в науката зависи от възможностите за изработването на консенсус, решенията, които вземат учените за това какво да правят и как да тълкуват фактите, винаги са основани върху непълна информация. Науката се развива затова, защото е построена върху етическото съзнание за всеобщо равенство пред лицето на непълната информация. Няма човек, който да може да предскаже твърдо дали един подход ще изведе науката напред, или ще остави само много пропиленни години след себе си. Всичко, което можем да сторим, е да предаваме на учениците си уменията, за които опитът е показал, че най-често помагат за надеждни изводи. След това трябва да ги оставим свободно да следят своят усет и да намират време да ги изслушваме, когато ни съобщават къде ги е извел той.

Задачата за изграждането на научната общност няма да бъде завършена никога. Винаги ще се налага да се преборваме с господството на общоприетото, модата, по-старото поколение или високопоставените. И винаги ще съжителстваме с изкушението да поемем по леките пътища, да се присъединим към отбора, спечелил първото полувреме, вместо да опитваме наново да проумеем проблема. Когато е в най-добрата си форма научната общност се възползва от най-добрите ни подбуди и желания, но ни предпазва от най-лошите. Общността си проправя път, впрегнала

онези наши самонадеяност и амбиция, от които всеки изследовател черпи сили. Вероятно най-добре го е казал Ричард Файнман: „науката – това е организираният скептицизъм спрямо надеждността на експертното мнение”.

Превод: Рада Мутафчиева
(„Факел”, кн. 4, 2008)

ИНТЕРЕСНИ УЕБ-СТРАНИЦИ

Капки привеждащи се сами в движение: Когато капка флуид се постави на асиметрична повърхност, например с формата на зъби на трион и нагрята над точката на кипене, тя започва да се движи ускорително. Това интересно явление е открито от Хейнер Линке и съавтори от Физическия факултет на Университета в Орегон. Оригиналната статия, публикувана в Physical Review Letters, филми, показващи явлениято, заснето с обикновена и високоскоростна камери, обяснение на ефекта, а така и идеи за приложения – например за охлаждане на процесори – можете да видите на: http://www.uoregon.edu/~linke/res_droplets.html.

Мозайка от спътникови снимки на Антарктида: По повод на международната полярна година 2007, четири институции обединяват усилията си за да създадат уеб-страница, съдържаща снимки на Антарктида, направени от Космоса. Институциите са Националната научна фондация на САЩ, НАСА, Американското геологическо дружество и Британското Антарктическо дружество. Организацията и качеството на страницата са изключителни: комбинирайки повече от 1100 снимки, направени в рамките на програма Landsat, „наблюдението“ на ледения континент създава впечатление на непрекъснатост. Всичките снимки са избрани, когато дните са били безоблачни. Да припомним, че Landsat е най-старата, все още функционираща програма за наблюдение на Земята. Първият от серията спътници е изстрелян в далечната 1972 г., а последният Landsat 7, през 1999 г. Landsat 7 покрива осем спектрални диапазона, като пространствената резолюция е между 15 и 60 метра. Следващият спътник от програмата се планира за 2012 г. Можете да гледате Антарктида през камерите на Landsat чрез: <http://lima.usgs.gov/>

Изкуството на физиката: През 1992 г. Канадската асоциация на физиците обявява конкурс на тема „Изкуството на физиката“. Участниците в конкурса трябва да уловят в снимка някакво пленително физическо явление и да го обяснят с не повече от 200 думи, при това така, че да е разбираемо и за неспециалисти. На страницата ще намерите всички снимки, спечелили приз от 1993 година насам. От обясненията би могло да се иска малко повече, но да не забравяме, че повечето от снимките и коментарите са дело на ученици. В момента е отворен конкурса за 2011 година с краен срок 15 април 2011 г. Може да се кандидатства в три категории от конкурс за ученици до категорията, която е отворена за всички на: <http://www.cap.ca/aop/art.html>.

Подготвил страницата: Олег Йорданов

КВАНТОВИЯТ ЖИВОТ

Пол Дейвис¹

За физика животът е почти чудо – всичките тези глупави атоми да се събират и да изпълняват такива остроумни трикове! В продължение на векове на живите организми се е гледало като на някаква вълшебна материя. Днес вече знаем, че в биологията не действа никаква „животворна сила“ – има обикновена материя, която прави необикновени неща, като през цялото време се подчинява на познатите физически закони. Тогава какъв е секретът на забележителните свойства на живота?

В края на 1940-те и през 1950-те години беше модно да се предполага, че квантовата механика, или навярно някоя предстояща в близкото бъдеще „постквантова механика“, съдържа ключа към загадката на живота. Въодушевени от успеха си при обяснението на свойствата на неживата материя, основателите на квантовата механика се надяваха, че тяхната теория е едновременно достатъчно странна и достатъчно мощна, за да обясни също така своеобразното живо състояние на материята. Нилс Бор, Вернер Хайзенберг и Юджин Уигнър предлагаха свои хипотези, докато прочутата книга на Ервин Шрьодингер „Какво е животът“, публикувана през 1944, прокара пътя към зараждането на молекулната биология през 1950-те години. Половин столетие по-късно мечтата, че квантовата механика някак ще съумее „с един замах“ да обясни живота, така както беше обяснила толкова изчерпателно и разбираемо други състояния на материята, остана неизпълнена. Няма съмнение, квантовата механика е необходима за обяснението на размерите и формите на молекулите, както и на детайлите на тяхното химическо свързване, но от квантовата област не възникна никакъв ясно очертан „принцип на живота“, който би обрисувал живота състояние като нещо по-специално. Още повече, че класическите модели на пръчките и топчетата изглеждат достатъчно адекватни за повечето обяснения в молекулната биология.

Въпреки това настойчиво продължават твърденията, че квантовата механика може да играе фундаментална роля в биологията – например посредством кохерентните суперпозиции и преплитането. Тези твърдения обхващат както приемливи идеи, каквото е квантово обусловеното сглобяване на протеини, така и спекулативни допускания като това, предложено от Роджър Пенроуз от Оксфордския университет и от Стюарт Хаме-роф от Университета на Аризона, че квантовата механика обяснява съзнанието, като действието ѝ в мозъка обхваща макроскопични размери. За съжаление биологичните системи са толкова сложни, че много е трудно да се отделят „чисти“ квантови ефекти от подвижната смесица на съществено класически процеси, които също протичат. Така че съществува много широк спектър от възможности за разногласия относно степента, до която животът използва нетривиални квантови процеси.

Но защо квантовата механика трябва непременно да е свързана с живата материя извън това, че обяснява структурата и взаимодействията на молекулите? Едно общо съображение е, че квантовите ефекти могат да улесняват процесите, които според

класическата физика са или бавни, или невъзможни. Физиците познават добре факта, че дискретността, квантовото тунелиране, суперпозицията и преплитането създават нови и неочаквани явления. Животът е разполагал с три и половина милиарда години, за да реши проблемите и да оптимизира процесите. Ако квантовата механика може да подобрява неговите функции или да разкрива нови възможности, много вероятно е животът да е открил този факт и да е изпробвал предоставените му обстоятелства. При положение, че основните процеси на биологията протичат на молекулно ниво, впрягането на квантовите ефекти не изглежда *a priori* неправдоподобно.

Даже ако животът не използва активно «квантовата машинария», ние не можем да пренебрегваме влиянието на квантовата механика върху биологията. Квантовата неопределеност налага фундаментално ограничение върху надеждността на всички молекулни процеси. Една характерна черта на биологията е изцялата хореография, с която се осъществяват нейните високо комплицирани молекулни самоорганизация и самосглобяване. За да може клетката да функционира правилно, от решаващо значение е точно определени части да са на точно определено място в точно определено време. Квантовата механика налага фундаментални ограничения на точността, с която молекулите могат да действат в определена посока по колективен и организиран начин. Можем да предполагаме, че някои от жизнените процеси еволюират поне до «ръба» на квантовите ограничения, където е установен компромис между скоростта и точността.

Възгледът на учените от 19 век за живота като «магическо вещество», откъдето иде и терминът «органична химия», беше заменен от модел на клетката като сложна система от свързани наномашини, функциониращи под контрола на дигиталната програма, закодирана в ДНК. Тези миниатюрни компоненти, съставени най-вече от протеини, включват помпи, ротори, зъбчати колела, кабели, лостове, сензори и други механизми, добре познати на физика и инженера. Тяхната изтънчена конструкция, усъвършенствана в продължение на хилядолетия, демонстрира необикновена ефективност и гъвкавост, заради които служи като извор на вдъхновение за нанотехнологите. Интуицията, придобита от макроскопичните и мезоскопичните механизми, може да бъде подвеждаща в наномасщаб, където ролята могат да започнат да играят квантовите явления от рода на ефекта на Казимир и те драматично изменят природата на действащите сили.

Ранни спекулации

Една ранна идея относно квантовите ефекти в биологията е предложена от Херберт Фрьолих, от университета на Ливърпул. През 1968 Фрьолих предположи, че някои от трептенията на клетъчните мембрани могат да проявят явлението на Бозе – Айнщайнова кондензация, при която в едно квантово състояние могат да попаднат много кванти и между тях да има далечна кохерентност. Обикновено Бозе – Айнщайновите кондензати се асоциират с много ниски температури, но Фрьолих допуска, че нелинейната връзка между съвкупност от диполни осцилатори, стимулирани от термична среда, по принцип би могла да насочи енергията към единичен кохерентен осцилатор даже при биологични температури. Не е съвсем ясно каква би била изгодата на един

организъм от този вид енергийно натрупване, макар че то вероятно би могло да се използва за управляеми химически реакции.

Друго ранно и повтарящо се предположение е, че някои биологични мутации възникват в резултат на квантово тунелиране. Генетичната основа на живота е написана в четирибуквената азбука на нуклеотидите А, Г, Ц и Т, които се сдвояват и образуват усуканата стъпаловидна структура на ДНК. Обикновено Т се сдвоява с А, а Г с С, което се дължи съответно на двойни или тройни водородни връзки. Обаче нуклеотидните бази могат също така да съществуват в алтернативни, химически взаимно свързани форми, известни като тавтомери² – в зависимост от положението на даден протон. Квантовата механика предсказва, че даден протон може да тунелира с крайна вероятност през потенциалния бариер, разделящ тези две състояния, което води до изменено сдвояване, например, на Т с Г вместо с А. Мутациите са двигателят на еволюцията, така че в този ограничен смисъл квантовата механика със сигурност допринася за еволюционните изменения³. Физикът Джонджо Макфаден, от университета на Съри, се опира на този процес, за да предложи квантов модел на адаптивните изменения, при които бактериите, подложени на стрес от околната среда, имат, както изглежда, способността да подбират благоприятни мутации, благодарение на които техните възможности за оцеляване се повишават.

Друг пример за квантово тунелиране с биологични резултати е свързан с химията на протеините – големи молекули, които се нагъват в сложни тримерни форми. Някои протеини съдържат активни части, които се свързват с водород, а за да стигне до тези части, водородният атом трябва да преминава през ландшафт на променлива потенциална енергия. Квантовото тунелиране може да ускори този процес. Изучаването на значението, което може да има квантовото тунелиране, е голямо предизвикателство, тъй като различни сложни взаимодействия могат да възникват благодарение на предизвиканите от топлинното възбуждане премествания и деформации на протеиновата молекула. Химичката Джудит Клинман, от Калифорнийския университет в Бъркли, подхожда към този проблем, като работи с деутерий вместо с водород. Тъй като деутерият е близо двойно по-тежък от протона, неговото тунелиране е доста различно. Сравняването на относителните скорости на реакциите с водород и с деутерий в широк температурен интервал позволява на експериментаторите да оценяват относителния принос на квантовите ефекти. Резултатите показват, че квантовото тунелиране наистина е съществен фактор. Това повдига въпроса дали някои от протеините в действителност не са еволюирали така, че да се възползват от квантовото тунелиране, благодарение на което те се превръщат в „тунелни усилватели“. При еволюцията даже едно малко предимство в скоростта или точността може да се превърне в решаващ успех, доколкото при многобройни поколения естественият подбор многократно увеличава относителната пропорция на най-приспособените.

Фотосинтез и орнитология

Макар че предишните примери вече от много години се намират в литература-

та, те не успяха да внушат широко разпространено мнение, че квантовата физика е от значение за биологията. Тази тема обаче е достатъчно богата, за да ме накара да организирам през декември 2007 в центъра „ОТВЪД“ към щатския университет на Аризона цяла работна група (уъркшоп) по квантова биология, а по-късно подобна група беше организирана през януари 2009 в Националния университет на Сингапур от физиците Вл. Ведрал и Е. Рийпър. Тази нарастваща активност беше стимулирана от нови и твърде драматични експериментални постижения.

Първото от тях е свързано с изучаването на фотосинтезата от химика Греъм Флеминг и неговата група в Бъркли. Фотосинтезата представлява твърде сложен и изтънчен механизъм, който впряга светлинната енергия, за да разцепи водата и с помощта на отделни фотони да създаде каскада от реакции. Този процес е извънредно ефективен и представлява класически пример за това как еволюцията е настроила една физическа система така, че тя да работи с почти съвършена точност.

Основният рецептор на светлинната енергия е един комплекс от пигментни молекули, известни като хромофори. Те могат да бъдат възбудени и да предадат енергията на възбуждане по един многостъпален процес до последния реакционен център, където става разделяне на заряди. Тъй като дължината на вълната на фотона е много по-голяма от молекулния ансамбъл, първоначално се създава състояние на суперпозиция на голям брой възбудени пигментни молекули, като този процес трае във времена от порядък няколко стотин фемтосекунди. Флеминг и неговата група използват лазерно възбуждане и пробни импулси, за да изучават релаксационните траектории на светосъбиращите комплекси и наблюдават своеобразен ефект на «квантово биене», при който максималната амплитуда на възбуждане по кохерентен начин посещава многократно различните молекули в системата. Флеминг смята, че при подходящо разпределение по време системата може да «залови» кохерентното възбуждане (което продължава няколко стотин фемтосекунди) с по-голяма вероятност, отколкото ако е просто разпределена в съответствие с класическата статистическа механика. Според него това би довело до многократно увеличение на скоростта, с която се пренася енергията.

Неотдавна тези резултати бяха допълнени от изследванията на Е. Колини и Г. Шолис в университета на Торонто, които показаха, че при пренасянето на възбудени електронни състояния по полимерни вериги съществува кохерентност и при стайни температури. Важно свойство на фотосинтезата е, че свързаната с нея молекулна архитектура има твърде необикновена и компактна структура, което подсказва, че тя е била «специално пригодена» да използва далечно действащи квантови ефекти. Възможно е дадена конкретна конфигурация да се окаже особено ефикасна за съхраняване на кохерентността за удивително дълги времена, с което на системата се дава възможност да «изследва» едновременно множество траектории и по такъв начин да ускори «решението» (т.е. отдаването на енергия на центъра на реакцията).

Второто неотдавнашно събитие, което подсказва, че квантовата физика играе роля в биологията, са далечните полети на птиците. Добре известно е, че някои птици извършват същински чудеса на навигацията, като използват различни начини за ориен-

тиране включително локалната посока на земното магнитно поле. Обаче природата на този магнитен сензор остана нещо като загадка и проблемът се изостря особено силно поради факта, че магнитното поле прониква в целия организъм. Не е ясно например по какъв начин ъгълът между посоката на полето и посоката на летене се превръща в информация по нервите. Проучванията на изследователски групи в Калифорнийския университет, в Оксфордския университет и в Националния университет на Сингапур показваха, че е твърде вероятно, поне за европейската червеношийка, ключът към загадката да се намира в един клас протеини, разположени в ретината на птицата⁴.

Механизмът, който понастоящем е подложен на изследване, е свързан с фотоактивиране над термичния фон на двумерна линейна редица от протеини, създаващи йонни двойки, съдържащи синглетни двуелектронни състояния. Спиновете на тези преплетени електрони са свързани и в присъствието на еднородно магнитно поле те биха прецесирали синхронно, запазвайки синглетната конфигурация. Обаче, ако изпуснатият електрон малко се отдалечи, двата електрона могат да изпитват различно магнитно въздействие. Макар че и двата електрона ще изпитват едно и също действие на земното магнитно поле, електронът, свързан с йона в протеина, ще изпитва още въздействието на магнитното поле на ядрото на йона, което създава свръхфино разцепване. Тази разлика между магнитните полета, която се изпитва от преплетените електрони, кара синглетното състояние да осцилира до триплетно състояние, като периодът зависи отчасти от интензитета и ориентацията на земното магнитно поле по отношение на редицата от протеини. Тогава системата може да премине в основно състояние на няколко етапа и да предизвика реакция, която фактически действа като химически компас, тъй като относителната пропорция на продуктите от реакцията може да зависи от честотата на осцилациите синглет – триплет.

Остават редица неизяснени неща както относно този механизъм, така и точно кои молекули са включени. При все това в полза на квантовия модел говорят някои експерименти на група в университета на Франкфурт, изучаваща поведението на червеношийките в присъствието на осцилиращо слабо магнитно поле. Установено е, че за честоти около 1.315 MHz прехвалената летателна способност на птиците силно е накърнена. Едно възможно обяснение е, че смущаващото поле създава “резонанс”, който причинява преходи синглет – триплет и по този начин разстройва химическия компас.

Как да се избегне декохеренцията⁵

Макар че някои от тези примери говорят, поне на пръв поглед, в полза на възможната роля на квантовата механика в биологията, всички те се натъкват на един сериозен и фундаментален проблем. Ефекти като кохерентност, преплитане и суперпозиция могат да се проявяват само ако квантовата система избягва декохеренцията, причинявана от нейните взаимодействия с околната среда. При наличието на шум от околната среда деликатните фазови съотношения, характерни за квантовите ефекти, се объркват и превръщат чистите квантови състояния в смесени, с което фактически

се бележи преход от квантово към класическо поведение. Само когато декохеренцията може да се ограничи, квантовите ефекти ще могат да се проявят. Така че изводите на квантовата биология ще са валидни или не в зависимост от темпото на декохериране. При много бързо декохериране на системата тя ще стане класическа, преди да възникне нещо, представляващо биохимичен или биологичен интерес.

През последните години на декохеренцията и на възможностите за нейното избягване се обръща все повече внимание от страна на физиците, работещи в бурно развиващата се област на квантовата компютеризация и на науката за квантова информация. Квантовият компютър като начин за обработка на информация е по-ефикасен от възможностите на класическата физика; той използва квантови състояния, на които е разрешено да извършват логически операции посредством кохерентна еволюция на квантови суперпозиции. Декохеренцията е източник на изчислителни грешки, което кара физиците да се опитват да създадат такива околни среди, които теоретически не пораждаат декохеренция или минимизират нейното въздействие. Един ключов параметър е температурата: колкото по-висока е тя, толкова по-силна е декохеренцията. Поради това повечето опити за създаване на квантови компютри се правят в среди с ултраниски температури, каквито са свръхпроводниците или студените атомни уловки.

На пръв поглед топлата и влажна вътрешност на една жива клетка е твърде безперспективна среда за ниска декохеренция. Немного строгите изчисления дават за повечето биохимични процеси при температурата на кръвта времена на декохеренция по-малки от 10^{-13} s. Съществуват обаче аргументи, че реалните биологични системи могат да се окажат по-невъзприемчиви към декохеренцията, отколкото се предсказва от опростените модели⁶. Един такъв аргумент е, че биологичните организми са силно нелинейни, отворени системи, които функционират далеч от термодинамичното равновесие. Физиката на такива системи не е напълно изяснена и би могла да крие друг вид квантови свойства, които животът е открил преди нас. Действително, поточните изчисления показват, че като правило простите модели силно преувеличават скоростите на декохеренция. Например Дж. Бригел от университета на Инсбрук и С. Попеску от университета на Бристол установиха, че квантова система със спин 2, която е динамично изведена от равновесие, може да проявява кохерентно поведение даже когато е поставена в гореща и шумна среда, която бързо би декохерирала една статична система. Пресмятанията на Антъни Легет от университета на Илинойс, основани върху т.нар. спин-бозонен модел, също говорят за силно увеличени времена на декохеренция за нискочестотни фонони. Легет изтъква също така, че тъй като доминиращата мода на декохеренция действа посредством фононна връзка с околната среда, акустичното разсъгласуване между най-близката и по-далечната среда на квантовата система би могло да удължи времето на кохеренция при ниски честоти. Освен това не е необходимо всички степени на свобода да са с потисната декохеренция: възможно е за съществени квантови биологични ефекти да е нужно само малка част от тях да не са засегнати от декохеренция.

Произход на живота

Преди век и половина, след като Чарлз Дарвин публикува *Произход на видовете*, произходът на самия живот остава упорита и дълбоко проблемна загадка. И най-прости-ят познат жив организъм вече е така смайващо сложен, че е немислимо да е възникнал спонтанно, в резултат на случайно сглобяване. Повечето изследователи предполагат, че животът е възникнал или от саморепликиращи се, носещи дигитална информация молекули, които са много по-прости от ДНК, или от автокатализиращ се химически цикъл, който не е запазвал точна генетична информация, но е бил способен да създава допълнителни количества от същата химическа смес. И двата подхода се фокусират върху възпроизводството на материални субстанции, което е съвсем естествено, защото в крайна сметка познатият ни живот се възпроизвежда посредством копиране на генетичен материал. Обаче най-важните свойства на живота – репликиране с изменяемост и естествен подбор – не налагат логическо изискване за самите материални структури да бъдат репликирани. Достатъчно е да се репликира *инфармацията*. Това разкрива възможността животът да е започнал с такава форма на квантов репликатор – Q-живот, ако щете.

Добре известно е, че вълновите функции като такива не могат да бъдат клонирани, но дискретната квантова информация, каквато е например посоката на спина или заемането на енергетична яма, може да се копира. Предимството на простото копиране на информация на квантово ниво спрямо построяването на дубликатни молекулни структури е скоростта. Химическото копиране или това с тунелиране би могло да протича във времеви мащаб от фемтосекунди. Последният трябва да се сравни с нужните за репликирането на една ДНК базова двойка 10 ms. Следователно Q-животът може да еволюира с много порядъци по-бързо от химическия живот. Нещо повече, квантовите флуктуации предлагат естествен механизъм за изменения, докато кохерентните суперпозиции позволяват на Q-живота да еволюира бързо, като изследва едновременно целия ландшафт от адаптивни възможности. Разбира се, околната среда на този хипотетичен Q-живот е неизвестна, но повърхността на зърно от вътрешността на звезда или на комета от облака на Оорт говори за вискотемпературни среди с богат физически и химически потенциал.

Как е можел Q-животът да еволюира до познатия ни химически живот? Един възможен сценарий е органичните молекули да са били овладяни от Q-живота като по-издръжлива форма за съхраняване на информация. Добра аналогия е компютърът. Процесорът е извънредно малък и бърз, но заедно с това е деликатен – изключете компютъра и данните са загубени. Поради това компютрите използват хард дискове за съхраняване на цифровата информация. Хард дисковете са относително огромни и извънредно бавни, но те са здрави и надеждни, така че могат да запазват информацията при широк диапазон от груби въздействия откъм околната среда. Възможно е органичният живот да е започнал като бавния, но надежден “хард диск” на Q-живота. Благодарение на по-голямата си гъвкавост, променливост и устойчивост той в крайна сметка успява в буквалния смисъл на думата “да започне свой собствен живот” да се

откъсне от своя прародител и да се разпространи в по-малко специализирани и по-малко рестриктивни среди – такива например като Земята. Нашата планета непрекъснато поглъща дъжд от междוזвездни гранули и кометен прах, така че пренасянето не е проблем. Колкото до съдбата на Q-живота той вероятно ще бъде изцяло разрушен при навлизането в земната атмосфера.

Съществува все повече натрупваща се и по-убедителна информация, че квантовата механика играе ключова роля на едно или друго място в биологията. Онова, което липсва, е ясно формулиран “принцип на квантовия живот”, който би обезпечил нова концептуална рамка, в която да могат да се обяснят забележителните свойства на живите системи, каквато е била надеждата на Шрьодингер и други учени. Но физиката на сложните и силно неравновесни квантови системи е все още в своята детска възраст, така че без съмнение в бъдеще ще ни предложи много изненади. Междувременно изследователите в областта на квантовата информация може да установят, че стремежът им към понижаване на декохерентността би могъл да се окаже изненадващо възнаграден при изучаването на биологичните наномашини.

Бележки

1. За Пол Дейвис писахме, когато в рубриката *Четиво с продължение* за 2007 поместихме откъси от неговата монография „Относно времето“. Тук ще добавим, че като астробиолог Пол Дейвис е директор на Центъра за фундаментални научни представи, наречен „ОТВЪД“, към Университета на Аризона в САЩ.

2. Изомерни форми на химическите съединения, които се различават по структурата на молекулата и по физикохимическите си свойства.

3. Химията на протеините включва тяхната изкусна хореография в сложен енергетичен ландшафт. Физиците откриха убедителни свидетелства, че квантовото тунелиране е фундаментално за ефективността на тези процеси.

4. Неотдавнашните изследвания показаха, че европейската червеношийка използва верига от линейно подредени протеини в ретината си като сензор на магнитното поле, който ѝ помага да се ориентира при полет.

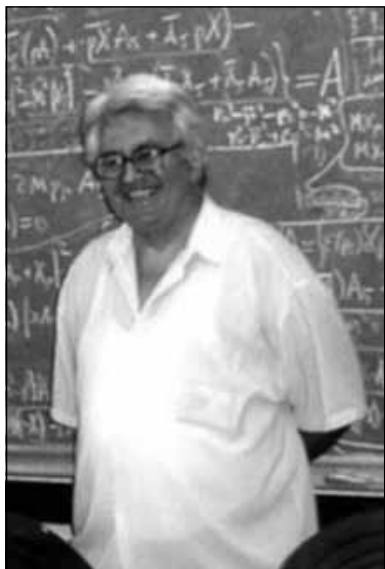
5. За срещаните тук и по-горе термини “преплитане” и “декохеренция” читателят може да прочете в статията на М. Менский “КВАНТОВАТА МЕХАНИКА: приложения и нови формулировки”, *Светът на физиката* 2/04, сс. 117-130.

6. Квантовата биология е възможна само ако бъде избегната декохерентността, което на пръв поглед е непостижимо в топлата среда на живата клетка. Но резултатите, постигнати в теорията на квантовите компютри, показват, че биологичните системи могат да се окажат по-малко възприемчиви към декохерентността, отколкото се предсказва от опростените модели.

(Paul Davies. *The quantum life*. Physics world, 22 (2009) N 7, p. 24)

Превод: М. Бушев

СЕМИНАР В ПАМЕТ НА ДОЦ. АЛ. ДОНКОВ



На 26 май т. г. във Физическия факултет на СУ се проведе възпоменателен семинар на тема: „Математическа физика и квантова теория“, посветен на паметта на доц. д-р Александър Донков. Целият си съзнателен живот Александър Донков отдаде на физиката и на Физическия факултет, където бе преподавател от 1963 до 2005 година. Той беше блестящ лектор и учител на много поколения студенти, изключително задълбочен и вискателен в изследванията си физик-теоретик, човек с най-широки познания в различни области на физиката и математиката, ярка личност с много богата култура.

Идеята за тази научна среща се зароди малко след неговата ненавременна кончина на 4 май 2009 г. Предложението бе на негови бивши студенти, които с благодарност си спомнят наученото от него и ролята, които тези знания са играли в по-сетнешното

им превръщане в високо професионални физици.

На поканата за семинара се отзоваха повече от 50 колеги—физици, от най-различни възрасти — настоящи студенти, млади и по-стари преподаватели във Физическия факултет, сътрудници от институтите на БАН, негови приятели, колеги и състуденти. В изказванията си всички участници споделиха спомени и впечатления от срещите и общуването си със Сашо Донков.

Семинарът беше открит от проф. Христо Попов, който се обърна към гостите и участниците със следните думи:

„Измина година откак Сашо напусна четиримерното пространство-време. Някои вярват, че се е преселил в пространство с други измерения — дано са прави! Освен във физическото пространство-време обаче, всеки от нас обитава и едно свое духовно пространство, в което са нашите идеи, интереси, стремежи, радости и разочарования. Духовното пространство на някои хора има повече, на други — по-малък брой измерения, но Сашовото беше безкрайномерно. Тези човешки духовни пространства се преплитат, проникват едно в друго, и затова, когато Сашо ни напусна, в моето остана огромна празнина. Надявах се, че за една година тази празнина поне ще започне да се затваря. Уви, това не става... Предполагам, че същото се случва и с останалите негови приятели и колеги, и това е една от причините да се съберем днес тук, заедно с някои от неговите многобройни ученици.

Семинар като този не е нещо обичайно за нашия факултет, който е изпратил в небитието много преподаватели. Мнозина от тях са били и по-тителувани, и с по-

високо обществено положение от доц. Донков. И въпреки това никому и през ум не е минавало да им посвещава семинар. Ако трябва да формулирам кратко с какво Сашо заслужи такава чест, бих посочил неговите високи критерии, с които разграничаваше наука от псевдонаука и неговата всеотдайност в преподавателската дейност. В тази дейност той се отличаваше с педагогическото си майсторство и с непримиримостта си към всякакви компромиси и опити за принижаване на обучението във факултета — факт, който го направи трън в очите на някои факултетски „деятели“.

Сашо беше невероятно емоционална и високо принципна личност. Човек можеше да не е съгласен с някои от неговите принципи, но не можеше да не се възхищава от страстта, с която ги защитава и от твърдостта, с която ги следва. Това, заедно с неговата завладяваща харизма, също е една от причините, заради която го обичахме и заради която сега сме тук.”

Пред участниците в семинара акад. Матей Матеев разказа за дългогодишното си приятелство и плодотворното си сътрудничество с А. Донков. Акад. Владимир Георгиевич Кадишевски (Русия), дългогодишен директор на Обединения институт за ядрени изследвания (Дубна), си припомни тяхната съвместна работа по време на командировките на А. Донков в Дубна, сподели впечатленията си от неговата ерудиция и задълбоченост. За човека и учения А. Донков сподели спомени и проф. Иван Лалов. Акад. Иван Тодоров изнесе научно съобщение на тема “Как математичните физици разбират диаграмите на Файнман”. Кратки научни съобщения направиха и няколко негови ученици: проф. Стойчо Язджиев, доц. Румен Ценов, доц. Екатерина Грънчарова, гл. ас. Петко Николов.

Стойчо Язджиев

Посетете нашия сайт
WOR.COINTECH.NET

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

БЪДЕЩЕТО НА ЕВРОПЕЙСКОТО ФИЗИЧЕСКО ДРУЖЕСТВО

Европейското физическо дружество⁴ е нестопанска организация на физиката и физиците в Европа. То се управлява от Генерална асамблея, Съвет и Изпълнителен комитет. Органи на Изпълнителния комитет са: Секретариата, Отделенията и Групите, Действениите комитети и Форуми. До момента Европейското физическо дружество е имало 21 президенти. Действащият 21 президент с мандат (2009-2011) е Макиеж Колвас⁵ от Института по физика на Полската академия на науките. Президенти преди него са били: Фридрих Вагнер (2007-2009), Ове Пулсен (2005-2007), Мартин Хубер (2003-2005), Марсиал Дюклоа (2001-2003). Членове на Изпълнителния комитет на Европейското физическо дружество са: Анжела ди Вергилио от Пиза, Маркиз Аусинш от Рига, Хендрик Фердинанде от Брюксел, Андерс Кастберг от Ница, Мартина Кнооп от Марсилия, Макиеж Колвас от Варшава, Колин Латимер от Белфаст, Ана Проjkова от София, Виктор Валеско от Мадрид.

Днес Европейското физическо дружество наброява 41 национални дружества, 3500 индивидуални членове, асоциирани и почетни членове. Структурата му е съставена от 11 отделения (по Атомна, молекулна физика и оптика; Физика на слънцето; Обучение; Кондензирана материя; Физика на околната среда; Високи енергии и Физика на частиците; Физика на живата материя; Ядрена физика; Физика на плазмата; Квантова електроника и Оптика; Статистическа и нелинейна физика) и 6 групи (Ускорители; Компютърна физика; Експериментална физика и Системи за контрол; История на физиката; Физика за развитие; Технология). То има успешно изградена мрежа от конференции, научни публикации и награди.

Последните 40 години Европейското физическо дружество⁶ е работило за построяване на мостове между физическите общности в Европа. През 2009 година Съветът предложи да се актуализира стратегията му, приета през 2001 г. На срещата с Президентите на големите дружества (Институтът по физика в Англия, Германското физическо дружество, Дружеството на Италианските физици и Дружеството на Френските физици) през януари 2010 е предложена широка консултация с всички членове на Европейското физическо дружество. Поради това Изпълнителният комитет е подготвил и представил документ за обсъждане на Стратегията. Независимо от него Институтът по физика и Немското физическо дружество са представили Общо изявление.

Съветът на Европейското физическо дружество на 19-20 март 2010 г. е разгледал двата документа и е приел предложението за създаване на работна група (съдържащо се и в двата документа), която да направи пълен преглед на мисията и стратегията на

⁴ (<http://www.eps.org>)

⁵ Maciej Kolwas (kolwas@ifpan.edu.pl)

⁶ Светът на физиката, 2008, кн. 4, с. 451-452

Европейското физическо дружество. За да осигури широко и балансирано представяне на членовете на Европейското физическо дружество работната група е била съставена от представители на Дружествата членки, Отделенията, Групите, Индивидуалните членове, Асоциираните членове, Президента и Вице-президента. За членове на Работната група са избрани: от Изпълнителния комитет – М. Колвас и Л. Цифарели⁷; от националните дружества – А. Валлард⁸ (IoP); К. Мейер⁹ (DPG); Г. ван дер Стеенховен¹⁰ (NNV); П. Осланд¹¹, Норвежко физическо дружество; от Отделенията и Групите – Ж. Дудлей¹² (QEOD); Ф. Пиуззи¹³ (PDG); Ф. Вагнер¹⁴ (EG), от индивидуалните членове – Д. Нагу¹⁵ и от асоциираните членове – Х. Биндслев¹⁶.

Работната група ще се консултира широко със всички членове на Европейското физическо дружество, както и с външни лица за мисията и стратегията на ЕФД. Процесът на консултации ще продължи до октомври 2010 година. На специална среща на съвета, която ще бъде организирана през ноември 2010 година ще бъдат обсъдени постъпилите предложения. Съветът през 2011 г. ще дискутира и приеме крайните препоръки.

Г. Камишева

⁷ L. Cifarelli (luisa.Cifarelli@bo.infn.it)

⁸ A. Wallard (awallard@bipm.org)

⁹ K. Meier (meierk@kip.uni-heidelberg.de)

¹⁰ G. van der Steenhoven (gerard@nikhef.nl)

¹¹ P. Osland (per.osland@ift.uib.no)

¹² J. Dudley (john.dudley@univ-fcomte.fr)

¹³ F. Piuze (francois.piuze@cea.fr)

¹⁴ F. Wagner (fritz.wagner@ipp.mpg.de)

¹⁵ D. Nagy (nagy@rmki.kfki.hu)

¹⁶ H. Bindslev (hebi@risoe.dtu.dk)

In memoriam

С дълбока скръб съобщаваме, че на 25.07.2010 г. внезапно ни напусна

**акад. проф. дфмн
МАТЕЙ ДРАГОМИРОВ МАТЕЕВ**

(1940-2010)

Председател на Съюза на Физиките в България

Роден е през 1940 г. в София, завършва ФФ на СУ през 1964 г., назначен за асистент към катедра “Теоретична физика”, където работи като доцент и професор (от 1984 до 2009 г.). Кандидат на физическите науки от 1971, доктор на физическите науки от 1980, академик от 2003 г. Основните му приноси са в областта на квазипотенциалния подход в релативистичната задача за две частици със спин $\frac{1}{2}$, теорията на поле с фундаментална дължина в нелокален и локален вариант, изследвания по високотемпературна проводимост, израстване на кристали в условията на микрогравитация и др. Резултатите от тези изследвания са публикувани в над 120 работи в реномирани специализирани научни списания и са високо оценени. Той е главен редактор на Български физически журнал. Бил е декан на ФФ, член на Академичния съвет и зам.-ректор на СУ. Бил е зам.-предс. на Комитета за Наука към МС, първи зам.-министър и Министър на Народната просвета (1990-1991). Бил е зам.-председател на Балканския физ. съюз (1997-2003). Председател е на СФБ от 2001 г.

Поклон пред светлата му памет!

По случай 100 години от рождението на Н. Н. Боголюбов, Редколегията на “Светът на Физиката” предлага две глави от “Спомени за Николай Николаевич” на неговия ученик и сътрудник акад. Дмитрий Василевич Ширков

**ИЗ “СПОМЕНИ ЗА
НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ БОГОЛЮБОВ”**

Д. В.Ширков

Гл. III. Боголюбов и Ландау

Взаимодействието между двамата велики учени е деликатна материя. Около тези отношения, както лични, така и между научните им школи, отдавна са натрупани много различни неща. Понеже моят пръв учител в съвременната физика беше Лев Давидович, смятам за уместно да изложа някои впечатления и своето виждане на историята на развитие на тези отношения.

Ще започна с характеристика на личността на Дау, с когото се запознах през 1946 година като студент от 2-и курс. След кратък телефонен разговор със знаменития учен, веднага бях поканен у тях за встъпителното математично събеседване по известния теоретичен минимум. Проницателния и весел вид, орлов поглед и къдрав перчем, стремителна реч, бърза реакция и *рязкост*, с която той се втурна по вътрешното стълбище към кабинета си на втория етаж, оставяйки ме да мисля по поставените въпроси, ми направи ярко впечатление. Аз се задълбочих в изучаването на “Механиката” (първото довоенно издание с автори Ландау и Л.Пятигорски) и започнах да посещавам теоретичния семинар в “Капичника”. Дау беше артистичен по натура, обичаше и умееше да произвежда ефектно впечатление. Ръководейки семинара, в който той професионално се извисяваше с една глава над останалите участници, не пропускаше случай да развлича аудиторията с ярки мизансцени, в движение вниквайки в сложните оригинални построения на автора (сред които се случваха доста известни учени), и често, след няколко реплики, от докладчика оставаше само “мокро петно”. Пред мен на такава процедура беше подложен Гелфанд. Обаче само най-близките сътрудници на Дау знаеха, че за да получи достъп до трибуната на семинара, претендентът трябваше да премине през “чистилището”, т.е. предварително да изложи работата на самия Дау.

За разлика от много именити теоретици, Дау прекрасно разбираше значението





Семейството на Николай Михайлович
Боголюбов, Киев 1928 г.

свръхфлуидността на хелия на Общото събрание на физико-математичното отделение на АН на СССР. По това време Дау вече близо пет години минаваше за класик на свръхфлуидността, автор на известната феноменологична теория, съдържаща класическо обяснение на явлението, основано на наличието в спектъра на колективен линеен клон на звукови трептения, както и на използването на представата за въведените от него кванти на особено възбуждане (въртеливи трептения) – ротоните.

По спомени на участници на събранието, Ландау в рязка форма е полемизирал с докладчика, полагащ в основата на своите разсъждения физическата хипотеза за определената роля на кондензата, т.е. предложената явна картина за природата на колективния ефект. Обаче Лев Давидович, бързо схванал и оценил чутото, още след две-три седмици предлага кратка статия за печат [2], в която предлага кривата с пречупване за спектъра на възбуждане. Ротонният спектър от независим от спектъра на звуковите възбуждания, се превръща в част от единната крива.

Феноменологичната крива на Ландау следва от формулите на НН при известно предположение за явния вид на отблъскващото взаимодействие между атомите на



Н.Н.Боголюбов и акад. Н.М.Крилов, 1924 г.

на математиката за теоретичната физика и често я използваше виртуозно. Показателно е, че през първите етапи на “теорминимума”, в него се включваха два изпита по математика, в това число и по качествена теория на диференциалните уравнения, с ударение върху анализа на сингулярностите. Известна е максимата на Дау: “Там, където се появява сингулярност, започва физиката”.

1. Три епизода. Първият епизод се отнася за октомври 1946 г., когато НН представи своята работа [1] по теория на

хелий II. Съобщението на Дау завършва с фраза, представляваща парафраза на боголюбовското заключение от доклада му и неговата публикация [1]. Обаче в кратката бележка на Ландау липсва каквото и да е позоваване или цитат на доклада или тази публикация на Боголюбов. Наистина, в по-подробната статия [3] (както и в [4]), той явно отбелязва приоритета на Боголюбов: “Полезно е да се каже, че Н. Н. Боголюбов неотдавна успя, с помощта на остроумно прилагане на вторичното квантуване, да определи в

общ вид енергетичния спектър на бозе-айнщайновия газ със слабо взаимодействие между частиците”.

“Вторият рунд” протича през 1955 г. и е свързан с т.нар. „нулев заряд” в квантовата електродинамика. Без да се впускам в подробности, ще отбележа само, че според анализа проведен от НН с помощта на току що развития от него апарат на ренормгрупата [4], извода на Ландау и Померанчук за вътрешна противоречивост на локалната квантова теория на полето, няма статуса на строг резултат, независещ от теорията на пертурбациите. В определен смисъл, повтаряше се психологичната схема от колизията през 1946 г., когато строгото математично разсъждение на по-дълбоко ниво съществено уточняваше резултата от полуинтуитивните построения. Както е известно, след 10-15 години локалният лагранжиан на теорията на пертурбациите си възвърна напълно статуса на основен метод за изследвания в теорията на частиците. Обаче категоричността на заключението на знаменития теоретик [5], затормози съществено развитието на теорията и доведе до развитието на някои безперспективни направления като теорията на “бутстрапа”, например.

Най-сериозно изпитание за самолюбieto на Ландау беше поставено през 1957 г. при внезапното втурване на НН в теорията на свръхпроводимостта. Явлението на свръхпроводимостта, открито през далечната 1911 г., още от края на 20-е години излъчваше болезнен призив към водещите теоретици. Беше ясно, че свръхпроводимостта представлява макроскопична проява на законите на квантовата механика. Той беше интензивно изучаван от експериментаторите, обаче ключът за теоретичното му обяснение не се намираше. Дау беше автор на знаменитата теория на фазовите преходи (1937), на чиято основа през 1950 г. заедно с В. Л. Гинзбург построиха феноменологична теория на свръхпроводимостта, базираща се на двукомпонентен параметър за реда.

Стартиращ импулс за включване на Николай Николаевич за разработване на теорията на свръхпроводимостта, става кратката бележка на Купър, съдържаща представата за двойки корелиращи електрони. НН веднага вижда аналогията с феномена за двойки корелиращи бозони в неговата теория на свръхфлуидността. Поставяйки в основата хамилтониана на Фрьолих за взаимодействия на електроните с фононите (възбуждания на йонната решетка) и модифицирайки своето (u, v) -преобразование от теорията на свръхфлуидността за случай на фермиони, Боголюбов използва нов виртуозен прием [6] – условието за компенсации на възможните сингулярности в околността на повърхността на сферата на Ферми и получава от него израз за енергетичния процеп от типа на Купър с неаналитична зависимост от квадрата на константата на връзка на Фрьолих.

В периода, когато НН завършва изследването си и започва да докладва на семинари, в това число и на съвместния семинар на Боголюбов и Ландау по теория на свръхпрово-



Н.Н.Боголюбов, 1930

димостта, става известно за появилия се на Запад дебел препринт на Бардийн, Купър и Шрифър. Обаче до Москва този препринт така и не стига. Както се помни, Дау бързо оценява работата на Боголюбов. На първото заседание на съвместния семинар, след доклада на НН Дау е казал: “Николай Николаевич, аз не знам какво съдържа работата на Бардийн и другите, но мисля, че такъв красив и убедителен резултат те нямат!”

Този епизод показва, че в описваното време Дау е ценял високо НН като крупен физик-теоретик, успявайки да преодолее емоциите си. Семинарът Ландау-Боголюбов просъществува още няколко месеца и прекрати своята работа след появяване на броя на Physical Review, съдържащ работата на тримата автори, които тръгваха не от хамилтониана на Фрьолих, а от приближена феноменологична конструкция, постулирайки ефективното привличане между електрони с противоположни импулси и спинове, намиращи в околността на повърхността на Ферми. Думите на Дау се оказаха пророчески.

Предизвиква съжаление, че в публикации, представени от школата на Ландау по свръхпроводимост, работите на Боголюбов се споменават рядко, микроскопската теория на свръхпроводимостта се нарича “теория БКШ”, а терминът “теория на свръхпроводимостта”, като правило се свързва само с името на Ландау.

2. Допълвайки се взаимно. Спонтанното нарушение на симетриите (СНС) е един от сюжетите на Нобеловата награда за 2008 г. Тази тема, в известен смисъл, обединява и двамата велики физици-теоретици Боголюбов и Ландау, с техния общ принос за обяснение на механизма на фазовите трансформации в големи квантови системи, съпровождащи спонтанното нарушаване на симетриите.

Става дума за системи, които се описват математически с изрази, притежаващи някаква симетрия, докато реалното състояние на системата, отговарящо на частното решение на уравнението на движение, не притежава такава симетрия. Подобно положение възниква тогава, когато най-ниското от симетричните състояния не достига абсолютен минимум на енергията и е неустойчиво. При това частното ниско състояние не е единствено, а тяхната съвкупност образува симетричен набор. Реална причина за

нарушаването на симетрията и прехода на системата в едно от ниските несиметрични състояния, се оказва каквото и да е малко несиметрично смущение.

За проста илюстрация да се обърнем към класическата механика. Да вземем система, състояща се от празен съд с вдлъбнато дъно (бутилка от шампанско) и малко топче. Съдът представлява въртящо се вертикално тяло и нека над съда, точно по оста, да поставим топчето. Такава система е симетрична относно опе-



Н.Н.Боголюбов и Р.Опенхаймер

рацията на въртене около вертикалната ос. Нека пуснем топчето да падне на дъното. Достигайки го, топчето не може да се удържи върху централната издатина и ще се подхлъзне в една от страните. По такъв начин, началните условия са симетрични, а крайното състояние е несиметрично.

Изходният материал на физиката, данните от наблюденията, подлежат на подреждане и осмисляне. Начинът на подреждане обикновено се състои в построяването на някаква феноменологична схема, в основата на която лежат някакви представи, физическа картина за природата на явлениято, облечено в математична форма, форма на физичния закон. Важен критерий за успеха на схемата и нейните изходни представи се оказва не само описването на вече наличните данни, но и възможността за предсказване на резултати от нови експерименти и посочването на начините на тяхното провеждане. Това е пътят на теоретика-феноменолог – “от явлениято към теоретичната схема и обратно”.

Наред с този, за построяване на физични теории много съществени резултати са постигнати по друг, по-умозрителен път. Да си спомним за обединението на земната тежест и небесната гравитация, електричеството и магнетизма, а също и откритият не толкова отдавна “принцип на симетриите”, довел до построяването на теорията на електрослабите взаимодействия и квантовата хромодинамика. Привържениците на подобен подход, стараещи се тръгнат от някакви по-дълбоки физични представи, основни принципи ab initio, често се наричат “редукционисти”. Има се предвид стремежът да се сведе (редуцира) описването на цялото наблюдавано многообразие на явленията, към неголям брой прости и общи понятия и принципи. В статистическата физика “редукционистите”, като правило, са автори на микроскопския подход.

Ще приведа определението, дадено от Боголюбов през 1958 г., в публикацията “Основни принципи на свръхфлуидността и свръхпроводимостта” [7]:

“Задачата на макроскопската теория е получаването на уравнения от типа на класическите уравнения на математичната физика, които да отразяват цялата съвкупност от експериментални факти, отнасящи се до изучаването на макроскопичния обект. (...)”

В микроскопската теория се поставя по-дълбока задача, заключаваща се в това да се разбере вътрешният механизъм на явлениято, изхождайки от законите на квантовата механика. (...) При това, в частност, следва да се получат също и връзките между динамичните величини, от които следват уравненията на макроскопската теория”

Обаче не трябва да се увличаме излишно в противопоставяне на двата начина на



Н.Н.Боголюбов и В.Хайзенберг, 1973

мислене. Важният елемент е в това, че между уравненията, например класическите уравнения на механиката или уравненията на Максвел, и законите които описват последователността на събитията – като законите за движението на планетите на Слънчевата система или закона на Майсиер в свръхпроводника – съществува логическа пропаст. Именно в подобни ситуации се проявява силата на феноменологията. Затова усилията на феноменолозите и редукционистите се допълват взаимно. Обяснението на формата и след това на електрослабото взаимодействие, феномена на свръхфлуидността и свръхпроводимостта, представляват ярки примери от съвременната квантова теория в това отношение.

Боголюбов и Ландау успяха да внесат решаващ принос при изграждане на теорията на макроскопичните квантови явления – на свръхфлуидността и свръхпроводимостта, съпроводжани от спонтанно нарушение на симетриите на квантово ниво.

Свръхфлуидност. Историята за създаването на теорията на свръхфлуидността е ярък пример на взаимно влияние между феноменологична конструкция и физическа идея. Първоначалното обяснение на явлениято свръхфлуидност, дадено от Ландау, се основава на общата представа, че при ниски температури свръхфлуидното свойство на течния ^4He се определя от линейният спектър на колективните възбуждания (фононите). От това предположение следва, че при движение със скорост, не превишаваща някаква критична стойност, не може да се охлади течността чрез предаване на енергия и импулс на отделни атоми към преградата, защото линейният вид на спектъра на фононите не позволява да бъдат спазени едновременно законите за запазване на енергията и на импулса. Необходимостта от съгласуване на двата вида спектри и термодинамичните свойства на течността на хелия, е довел Ландау до идеята формално да въведе, в допълнение на фононите, и възбуждания с квадратичен спектър, започващ от някакъв енергетичен процеп, които той нарича ротони.

Теорията на Боголюбов [8] се основава на физичното предположение, че в слабо идеален бозе-газ, подобно на случая на идеален бозе-газ, се появява кондензат. Съществуването на бозе-кондензата води до единна вълнова функция на цялата система, т.е. към колективен ефект, и затова съществуването на дори и много слаби взаимодействия преобразува едночастичното възбуждение в спектър на колективни възбуждения. За изчисляването на този спектър Боголюбов предполага, че при ниски температури именно бозе-кондензатът играе определена роля, понеже съдържа макроскопично по-голям, от порядъка на числото на Авогадро N_A , брой частици N_0 . Вследствие на това, матричните елементи на операторите на раждане и унищожение на частиците на кондензата са пропорционални на “големи” числа N_0 , а основния принос в динамиката на системата дават процесите на преход на частиците от кондензата в непрекъснатия спектър и на възвръщане в кондензата. Основаната на тази физична хипотеза опростена система на квантовомеханични уравнения има решение, а полученият спектър на новите колективни възбуждения (богони) обединява фононите и т.нар. ротони на Ландау. Смелата интуитивна догадка на Боголюбов за съществената роля на кондензата получава пряко експериментално потвърждение едва след половин век.

Съществено е също, че в боголюбовската картина възниква естественият, макар и не много прозрачен, отговор на въпроса за природата на симетрията, нарушавана при фазовия преход на ^4He в свръхфлуидно състояние. Това е фазова симетрия на квантовата бозе-система, която (на основата на теоремата на Ньотер) отговаря за запазването на пълния брой N частици, т.е. атомите на хелия, в разглежданата система. Колективните квазичастици, богоните, не отговарят на някакъв определен брой атоми на HeII , и представляват суперпозиция на безкраен набор двойки частици с нулев пълен импулс.

Свръхпроводимост. Друг пример за фазов преход в голяма квантова система, съпроводжан от спонтанно нарушение на симетрията, е свръхпроводимостта, където, както и при фазовия преход в свръхфлуидно състояние, става нарушение на фазовата инвариантност. Въпреки, че свръхпроводимостта е била открита през 1911 г. (значително преди свръхфлуидността на ^4He), теоретичното разбиране на феномена свръхпроводимост беше постигнато едва след обяснението на свръхфлуидността.

За своето време значителен успех представляваше предложената от Гинзбург и Ландау феноменологична теория (теорията Г-Л), в която свръхпроводящото състояние се описваше от ефективна квази-вълнова функция на колектив от електрони, играеща ролята на 2-компонентен параметър на порядъка. В рамките на теорията Г-Л беше успешно описано поведението на свръхпроводника във външно магнитно поле и ред други негови важни свойства. Същевременно природата на свръхпроводящия преход оставаше неизяснена.

Теорията на свръхпроводимостта на микроскопично ниво се появи едва след 7 години, през 1957г., благодарение на работите на Бардин, Купер и Шрифер (теорията БКШ) и на Боголюбов. БКШ разглеждаха опростен вторично квантуван модел, в който взаимодействието на електроните посредством обмяна на фонони беше заменен от пряко ефективно притегляне между електроните с противоположни импулси и спинове, чиято енергия се намираще в близост до повърхността на Ферми. Теорията на БКШ включваше термодинамиката и електродинмиката на свръхпроводника, изчисляване на температурата на свръхпроводящия преход и даваше универсално отношение между процепа в спектъра при нулева температура и температурата на фазовия преход. Процепът в спектъра възниква за сметка на образуването на свързани състояния на двойки електрони с противоположни импулси и спинове – “купърви двойки” и е пропорционална на експонентата $e^{-1/\lambda}$, където λ е интензивността на ефективното притегляне между електроните.

Още преди появяването на подробния текст на БКШ, Боголюбов беше успял да построи в прекия смисъл микроскопска теория на свръхпроводимостта за пълния електрон-фононен модел на Фрьолих. С помощта на новите Ферми-амплитуди, той проведе компенсация на т.нар. “опасни диаграми”, отговарящи за раждането на електронни двойки с противоположни импулси и спинове. Получените от Боголюбов уравнения за процепа и свръхпроводящата температура, по форма съвпадаха с резултатите от теорията на БКШ, с константа на връзката $X = g_{\text{FP}}^2$, непосредствено определена от константата на връзката на Фрьолих g_{FP} , в хамилтониана на взаимодействие на електроните и фононите.

Квазичастиците на Боголюбов (понякога наричани “боголони”) дават ясна физическа картина на спектъра на квазичастиците на възбуждане, като суперпозиция на частици и дупки, които имат процеп в спектъра на повърхността на Ферми. На основата на представата за квазичастици, Боголюбов лесно пресметна термодинамичните и електродинамични характеристики на свръхпроводника. Фермиевският вариант на каноничното (u,v) -преобразуване на Боголюбов се използва широко при решаването на много съвременни задачи в теорията на свръхпроводимостта.

Боголюбов стигна до представата за единството на тези макроскопични квантови явления: свръхфлуидността на куперовите двойки създава и свръхпроводящия ток. Ето цитат от обзора на Боголюбов от това време [9]: *”Свойството свръхпроводимост може да се интерпретира като свойство на свръхфлуидност на системата от електрони в метала”*

Единството на явленията свръхфлуидност и свръхпроводимост неотдавна беше потвърдено от преки опити с ултразвучени фермионни газове в капани.

Гл. IV. Учен и учител

1. Особенности на творчеството на Боголюбов. Искам да посоча някои наблюдения, произтичащи от анализа на научното творчество на Боголюбов в теоретичната физика през 50-е години. През това десетилетие НН работи примерно в дузина направления:

Тема	Брой публ.	Период
1. Уравнение на Томонага-Шуингър	4	1950-52
2. Плазма в магнитно поле	8	1951-52
3. Представяне на континуалния интеграл	1	1954
4. Условие за причинност и матрица на разсейв.	3	1955-56
5. Умножение на сингулярни функции и R-опер.	5	1955-57
6. Ренормализационна група	4	1955-56
7. Физични дисперсионни съотношения	3	1956-57
8. Тънкости на доказателства на ДС	7	1956-58
9. Свръхпроводимост в модела на Фрьолих	4	1957-58
10. Моделни хамилтониани и двойни корелации	4	1959-60
11. Индефинитна метрика в КТП	2	1958
12. Квазисредни	2	1960-61

Всичко около 50 работи, покрай още 5 монографии.

Изпъква обстоятелството, че по всяка тема НН е работил средно не повече от две години, като в някои години е публикувал по 4-5 различни теми. Особено плодотворна е средата на 50-е години. За сравнение може да се вземат такива разностранни корифеи като Хайзенберг и Ландау. Беглият поглед на списъка на техните публикации показва, че всеки един от тях се връща към една и съща тема в продължение на повече от десетина години. За стила на НН повече подхожда девиза “Veni, vidi,

visi”. Той се е обръщал към проблема, решавайки го изчерпателно и преминавал към друга задача.

Точно в тези години Николай Николаевич създава Лабораторията по теоретична физика в Обединения Институт за Ядрени Изследвания в Дубна и полага основите на своята школа по взаимодействие на частиците.

Образно казано, в онези години Боголюбов представлява фонтан от научни идеи с първостепенна важност. Доброжелателността към хората, щедростта на природата му водят до това, че този фонтан оплодотворява всеки, който иска да се приближи към него и може да попие от животворната влага.

2. Учител. За разлика от Ландау, НН не издигаше бариери между себе си и новопосветения във вид на сложни приемни изпити. Той ценеше не толкова нивото на първоначалната подготовка, колкото умението бързо да се навлезе в кръга на новите идеи и, особено, способността към самостоятелно творчество. Спомням си, че при подготвянето на дипломната ми работа НН “ме хвърли да се уча да плувам направо в дълбоката вода”. Според разказите, подобен е бил подходът на Ръдърфорд. Обаче в случай на неуспех, НН не отхвърляше новака, а му даваше по-лека задача. Може би затова ядрото на научната школа на Боголюбов в квантовата теория на полето, във втората половина на 50те години, се образува доста бързо.

Определящ елемент на неговото учителство беше научната му щедрост: първите три статии в Докладите на АН СССР от 1955 г. за ренорм-групите [10], [8] и [13], излязоха като съавторски на нашите две фамилни имена. Обаче, оправяйки се с помощта на КЕД както с ултра-виолетовите, така и с инфрачервените асимптотики, и достигайки до извода за отсъствието на доказателствена сила в аргументацията на Ландау и Померанчук [11] по проблема за нулевия заряд, НН охладня към ренорм-групата и, поставяйки ми задача, свързана с мезон-нуклонната теория, премина на друг проблем. И от съавторство в следващата ми публикация [12] той се отказа решително.

Вторият негов педагогически подход беше привличането на младия колега към голям проект – съвместна работа над книга. И накрая, третият метод, беше възпитаването на самостоятелност, която се свеждаше до ускорено обучаване на младия съавтор в изкуството на докладване на съвместните изследвания. Така, без да броим институтските семинари, през 1956 г. ми се наложи да докладвам с обзорец доклад [13] на 3-ти Всесъюзен Математически конгрес в Москва, а през 1959-а с репортерски доклад [14] на Рочестерската конференция в Киев. При това в този случай сюрпризът със заменянето на докладчиците ми беше поднесен от НН буквално в последния момент. Приведеният пример на “минимално съавторство” е илюстрация на научната коректност на Николай Николаевич. Тук трябва да се посочи и високата (понякога изглеждаща излишно висока) взискателност и акуратност на цитирането на предшествениците по един или друг научен сюжет. И накрая – отговорността буквално за всеки ред на научния текст.

В резултат на многогодишния опит от съвместно “писателство” с НН у мен се изгради, понякога доста отегчителна за мен (и моите съавтори) склонност към ясно



Н.Н.Боголюбов

осъзнаване и максимална прозрачност на формулировките на научните разсъждения и резултати, както и към пределна точност при посочване на причините за споменаването на една или друга статия. И като следствие – отрицателно отношение към “братските могили” при цитиранията, а в случай на разногласие между съавторите по важен елемент на изследването, излизане от състава на авторите.

Накрая, няколко думи за човешката коректност. Не помня случай да съм изпитвал някакъв натиск от страна на Николай Николаевич. А той беше не само научен лидер, но и административен началник. Обикновено, НН предлагаше на сътрудника научната идея и някакво практическо решение на проблема. Предложението беше в мека форма и ако не получеше позитивен отклик, не настояваше. “От всеки, според

възможностите му”. Така беше и с мен когато му беше необходим помощник по организационните грижи при създаването на Лабораторията по теоретична физика на ОИЯИ през 1956 г., както и при второто ми появяване в ЛТФ през 70-е. Така беше неведнъж както с мен, така и с други негови ученици по различни научни сюжети. Най-често НН предвиждаше посоката на развитие на актуалната научна идея и своевременно предупреждаваше своите сътрудници да се заемат с едни или други въпроси. И когато днес си спомням подобни случаи, съжалявам, че бидейки в такъв момент увлечени по някакви други задачи (и както показва времето – често значително по-маловажни), често пропускахме покрай ушите си неговите препоръки.

Боголюбов не беше безразличен към личните качества на младите хора, които допускаше близко до себе си. НН се грижеше за здравословната човешка обстановка и моралния климат сред своите сътрудници. Спомням си за два случая на остракизъм. Единият се отнася за тогава млад и извънредно способен, но вече излишно безцеремонен към другите си колеги, работещи по близки въпроси, учен У. Списъкът на трудовете на НН показва, че той често привличаше няколко човека за решаването на някаква задача. Дружеските отношения между тях бяха нещо нормално. Обаче в случая с У., след няколко конфликта, сътрудниците се обърнаха към шефа. И той изостави У. Във втория епизод фигурира вече по-възрастният колега Z, със сложна биография, породена от репресиите през 30-е години. В един момент на поредното “затягане на идеологичните гайки” в началото на 70-е Z стана свидетел на “крамолни” политически изказвания в не много тесен кръг сътрудници на физическия факултет. Опасявайки се от

донос от някой друг от свидетелите, Z беше проявил инициатива и беше го изпреварил. И това стана официално известно. Реакцията на шефа беше бърза. Забележителното е, че НН беше по човешки разбрал постъпката на Z, беше почувствал в душата си и поясняваше мотивите му с индийска притча. Но да има работа с човек, с когото беше плодотворно сътрудничил близо 20 години, той повече не пожела.

Най-важните нравствени уроци на Николай Николаевич се извличаха не от някакви негови поучения или нотации, а от неговото поведение и начин на действие. Така умението да се съчетае научното творчество с изпълнението на гражданския дълг, в това число и на научно-административни постове, послужи за добър пример на редица негови изтъкнати ученици. Това се прояви и в сложния постсъветски период. Много от видните учени, представители на боголюбовската школа служиха и продължават да служат на своето Отечество. Благодарение на тях, духът на Николай Николаевич продължава да живее сред нас.

Литература

- [1] – N.N.Bogoliubov, “On the Theory of Superfluidity”, J.Phys. (USSR), 11 (1947), 23-32. (Submitted 12.X.1946).
- [2] – L.D.Landau, J.Phys. (USSR), 11 (1947), 91-92 (submitted 15.XI.1946).
- [3] – Л.Д.Ландау, ДАН СССР, 61 (1948), 253 [получена 15.VI.1948].
- [4] – Н.Н.Боголюбов, Д.В.Ширков, “Модель типа Ли в КЭД”, ДАН СССР, 105 (1955).
- [5] – L.D.Landau, “On the Quantum Theory of Fields”, *Niels Bohr and the Development of Physics*, eds. W.Pauli et al., Pergamon, London, 1955.
- [6] – Н.Н.Боголюбов – “О новом методе в теории сверхпроводимости”, ЖЭТФ, 34 (1958)
- [7] – Н.Н.Боголюбов – “Вопросы сверхтекучести Бозе- и Ферми-систем”, Вестник АН СССР, апрель 1958, 4, 25.
- [8] – Н.Н.Боголюбов, Д.В.Ширков, “Приложение Ренормализационной Группы к улучшению формул теории возмущений”, ДАН СССР, 103 (1955)
- [9] – Н.Н.Боголюбов, “Основные принципы теории сверхтекучести и сверхпроводимости”, Вестник АН СССР, август 1958, 8, 36.
- [10] – Н.Н.Боголюбов, Д.В.Ширков, “О ренормализационной группе в квантовой электродинамике”, ДАН СССР, 103 (1955)
- [11] – Л.Д.Ландау, И.Я.Померанчук, ДАН СССР, 102 (1955), 489.
- [12] – Д.В.Ширков, ДАН СССР, 105 (1955), 972.
- [13] – Н.Н.Боголюбов, Д.В.Ширков, “Некоторые вопросы КТП”, Труды 3-го Всес.Мат. съезда, т.2, Изд-во АН СССР, 1956.
- [14] – Д.В.Ширков, “Теоретические исследования по дисперсионным соотношениям”, Труды 9-й Меж.Конф.Физ.Выс.Энергий, т.2, Киев, 1959.

НЕ Е ДАЖЕ ПОГРЕШНА Неуспехът на струнната теория и търсенето на единство във физическите закони

Част III

Питър Войт

Глава 13. КРАСОТА И ТРУДНОСТ

Но когато формулата е твърде сложна, онова, което ѝ съответства, се схваща като незакономерно. Може да се каже, че по какъвто и начин Бог да е създал света, светът винаги би бил закономерен и в определен ред. Бог обаче е избрал най-съвършения, т.е. онзи, който заедно с това е най-простият по хипотези и най-богатият по явления, какъвто е случаят с геометричната линия, чието построяване е лесно, но чиито свойства и следствия са извънредно забележителни и твърде значителни. Използвам тези съпоставки, за да обрисувам определено несъвършено сходство с божествената мъдрост и за да подчертая онова, което може като минимум да издигне нашите умове, така че те да възприемат неща, които другояче не могат да се изразят. Но изобщо не претендирам, че по този начин мога да обясня великата мистерия, която определя цялата вселена.

Г. В. Лайбниц, *Дискурс върху метафизиката*

Философът и математикът от втората половина на 17 в. Готфрид Вилхелм фон Лайбниц е широко известен с твърдението си, че ние живеем в “най-добрия от всички възможни светове” – изказване, което е било осмяно от не един философ, като се започне от Волтер (*Кандид*, 1759). Достатъчен е един бърз поглед наоколо, за да се усъним в идеята на Лайбниц, че някакво доброжелателно божество е избрало измежду всички възможни светове онзи, който съдържа най-малко злини, но Лайбниц е имал пред вид и нещо по-правдоподобно. Заедно с Нютон той е откривател на диференциалното и интегралното смятане – математическите оръдия, които Нютон използва, за да формулира извънредно простата и мощна теория, позната днес като Нютонова или класическа механика. С някои подобрения и с прибавянето на полета и частици класическата механика съставя фундаменталната структура на цялата физика – до първото десетилетие на 20 в., когато на сцената идват специалната относителност и квантовата механика. Фактът, че толкова много неща за явленията в околния свят могат да бъдат обяснени с няколко прости уравнения и математически анализ, без съмнение е част от убеждението на Лайбниц, когато описва нашия свят като такъв, който измежду всички възможни светове е “най-простият на хипотези и най-богатият на явления”.

Замяната на класическата механика с новите теории на относителността и кван-

товата механика направи само по-внушително съответствието между математиката и физическата реалност. Квантовата механика включва по-сложна математика от тази на Нютоновата механика, но тя обяснява много по-широк кръг от явления надолу до атомното ниво, като предимно използва само едно просто уравнение (уравнението на Шрьодингер). Общата теория на относителността е в състояние точно да опише ефектите на гравитационната сила за такива мащаби на разстояния, които обхващат от космологичните до най-малките, за които можем да измерим ефектите на гравитацията. Това се постига с помощта на изтънчени методи на съвременната геометрия и на този език теорията може да се сведе до едно твърде просто уравнение. Съвременната физика замени Нютоновата физика с цяла нова съвкупност от фундаментални понятия, но когато бъдат изразени с езика на съвременната математика, те включват твърде прости хипотези и обясняват невероятно богато разнообразие от явления.

Физикът Юджийн Уигнър написа прославилата се статия, озаглавена “*Необяснимата ефективност на математиката в природните науки*”, която завършва със следната бележка: “Чудото езикът на математиката да бъде така добре пригоден за формулирането на физическите закони е удивителен дар, който ние нито разбираме, нито заслужаваме”¹. В днешно време стандартният модел е най-яркото въплъщение на идеята, че при правилен математически език фундаменталните физически принципи могат да бъдат записани в извънредно прост вид. Сега този език използва същата математика на 20 в. с калибровъчната симетрия, спинорите и Дираковото уравнение. С помощта на този съвременен език ние можем да запишем на няколко реда уравнения, които управляват всички познати взаимодействия на всички известни частици (с едно важно изключение относно начина, по който можем да включим гравитационното поле).

Ерик Баум, колегата от университетските ми години в Харвард и Принстън, защити докторат в областта на квантовата гравитация, но по-късно започна да се занимава с невронни мрежи и когнитивни науки, като неотдавна публикува книга, озаглавена “*Какво е мисълта?*”. Тезата на неговата книга може да се резюмира приблизително така: “мозъкът е сложна, но компактна програма, която улавя и изследва основополагащата компактна структура на света”. Физиката ни учи, че законите, управляващи физическия свят, имат в основата си проста и компактна структура. Според Баум нашият мозък принципно има същата природа като компютърните програми и тези програми улавят същата структура като тази на физическия свят и ни позволяват ефикасно да взаимодействаме с него. Тъй като мащабите на разстояния, с които обикновено взаимодействаме, са тези, за които е валидна класическата механика, то именно тази структура съставя нашите мисловни процеси. По-рафинираната съвременна физика, която е валидна за много големи или за много малки разстояния, не е вградена в нашите мозъци на фундаментално ниво, а е нещо, което ние можем с огромна трудност да се научим да манипулираме с помощта на по-абстрактните си умствени способности. Макар че това не е лесно, нашата способност да го постигаме се дължи на факта, че съществува основополагаща проста структура, която при все това може да бъде изразена само с помощта на твърде рафинирана математическа конструкция.

Фактът, че повечето фундаментални физически теории притежават компактни

формулировки на езика на математиката, е именно онова, което физиците подразбират, когато говорят за красота или елегантност на тези теории. Дирак изразява това с прочутата си фраза: “Ако стремешт е да се постигне красота в уравненията и те лежат на истински здрави възгледи, това е сигурната посока на прогрес” или дори още по-радикално: “По-важно е уравненията да притежават красота, отколкото да се съгласуват с експеримента”². Много физици биха отхвърлили второто изказване, но първото изразява стремеша на повечето теоретици.

През периодите, когато експериментите ни поднасят неочаквани нови резултати, първата задача на теоретиките е да излязат с определен обяснителен модел на онова, което разкриват експериментите – модел, който не само се съгласува с вече направените експерименти, но и предсказва какви нови резултати трябва да се очакват. В такъв случай съображенията за красота и елегантност са от второстепенно значение, а на преден план са съображенията в съответствие с бърснача на Окам, а именно: при наличието на много възможни модели, които се съгласуват с експеримента, трябва да изберем най-простия от тях. В период като сегашния, когато има малко или изобщо няма необяснени експериментални резултати, принципът да се търсят прости, красиви теоретични обяснения придобива особено голямо значение. Един аргумент, който често се изказва в подкрепа на суперструнната теория, е, че една толкова красива и изящна теория трябва да има нещо вярно в себе си.

Този аргумент винаги ме е озадачавал много силно. Макар че посветих много време на изучаването на суперструнната теория, никога не съм смятал, че тя е нещо, което би могло да се опише като красиво. Квантовата теория на полето в стандартния модел съдържа физически и математически идеи, които са удивително красиви, а струнната теория не може да се сравнява с тях. Фундаменталните конструкции в стандартния модел (уравнението на Дирак и понятието за поле на Янг-Милс) съответстват точно на математическите структури, които са в сърцевината на развитата през 20 в. съвременна представа за геометрия. Концептуалната структура на суперструнната теория изисква от нас да вярваме, че това са само приблизителни, нискоенергетични граници на нещо по-фундаментално, но не може да каже какво представлява това по-фундаментално нещо.

Когато се опитваме да разберем защо някои физици смятат, че суперструнната теория притежава естетична привлекателност, получаваме различни обяснения. Най-повърхностното от тях е, че красива е самата идея да се получат гравитацията и стандартният модел въз основа на проста и нагледна представа. Образът на трептящата струна, чиито моди на трептене обясняват всички познати частици и сили, е нещо, което мнозина смятат, че прави теорията красива. Този вид красота обаче е твърде повърхностна. След като започнем да научаваме детайлите на десетмерната суперструнна теория, анулирането на аномалиите, пространствата на Калаби-Йо и т.н., установяваме, че трептящата струна и нейните музикални тонове притежават само поетична връзка с реалността.

В едно интервю Джон Шуорц обяснява по следния начин какво разбира под красота на суперструнната теория:

Въпрос. Споменахте за красотата на струнната теория. Бихте ли разяснили своето схващане по-подробно.

Отговор. Различните хора виждат това по различни начини. Един стандартен начин да се обясни това е да имате просто по форма уравнение, което обяснява широк кръг от явления. Това е твърде задоволително. Популярни примери в това отношение са уравненията на Нютон, на Айнщайн и т.н. Фактически в струнната теория ние не разполагаме с компактна формула, която да обяснява множество неща, така че тук красотата има малко по-различен характер. Онова, което според мен увлича хората към тези проблеми, е откритието, че те имат работа с много стегната математическа система, в която са включени неща, които никой дотогава не е разбирал. Така е, когато човек прави някакво сложно изчисление и открие, че отговорът е удивително прост, много по-прост, отколкото е очаквал. . .

Тогава ти се струва, че е възникнало нещо като математическо чудо. Чудеса, разбира се, няма и когато човек попадне на нещо, което прилича на чудо, това просто означава, че съществува някакво важно понятие, което все още не си разбрал. Когато изпитах това няколко пъти, усещаш как тематиката те увлича. Това беше моето собствено преживяване и мисля, че същото е било и с други хора, които сега са също толкова ентусиазирани, а може би дори повече от мен, след като са изпитали подобно усещане.

Шуорц ни казва, че суперструнната теория не е красива в смисъла, в който уравнението на Дирак е красиво, тъй като тя не се основава върху проста и непреодолима идея, която води до мощни следствия. Вместо това теорията представлява сложна съвкупност от взаимносвързани конструкции, които при разработка дават да се разбере, че съществуват основополагащи структури, останали все още неразбираеми. Нейната красота е красотата на мистерията или на магията – две от предположените от Уитън значения на М в М-теорията. Такъв вид красота може, разбира се, безследно да изчезне, след като бъде разгадан трикът на фокусника или логиката на нещата в мистерията.

Първоначалните надежди по отношение на суперструнната теория, които през 1984 мотивираха мнозина да се заловят с тази проблематика, се въртяха около условията за премахване на аномалиите, открити от Грийн и Шуорц, които подбраха по подходящ начин калибровъчната група на теорията. Това изчисление, наред с подобното, но по-старо условие за анулиране на аномалиите, което изисква суперструните да се намират в десетмерно пространство-време, е едно от главните неща, които имат предвид хората, когато говорят за красотата на суперструнната теория. Тя наистина би могла да се разглежда като красиво математическо обяснение на структурата на света, ако условията за анулиране предсказваха неща, които се наблюдават, но пространство-времето има четири, а не десет измерения, а калибровъчната група на стандартния модел е значително по-малка от калибровъчните групи, предсказвани от анулирането на аномалиите. През 1984 надеждата беше, че тези несъответствия биха могли да се преодолеят посредством компактификацията на шест от измеренията в пространство на Калаби-Йо. По онова време бяха известни само малко на брой многообразия като

Калаби-Йо, поради което не беше съвсем неразумно да се очаква, че едно от тях ще свърши работа и ще даде структурата на стандартния модел.

Изследванията, продължили повече от двадесет години, показаха, че това са само пожелания. Съществува огромен и вероятно неограничен брой класове от пространства на Калаби-Йо, а с въвеждането на браните допълнително се откриха огромен брой нови възможности. Някои от суперструнните теоретици сега твърдят, че теорията в действителност не е елегантна, но нейното достойнство е, че може да опише най-различни сложни неща, някои от които са достатъчно сложни, за да създадат интелигентен живот. В излязлата неотдавна книга *“Космична панорама”* Ленард Съскинд описва какво се е случило, след като първоначалните надежди за уникалност на струнната теория започват да се сричат:

Все повече нови възможности започнаха да изникват, нови математически съгласувани версии на нещо, което се предполагаше, че представлява уникална теория. През 1990-те години броят на възможностите растеше експоненциално. Струнните теоретици ужасени наблюдаваха как пред тях зейна необятна Панорама с толкова много долини, че в тях можеше да се намери почти всичко.

При търсенето на Панорамата за стандартния модел конструкциите ставаха неприятно сложни. Все повече “помощни части” трябваше да бъдат въведени, за да бъдат удовлетворени всички изисквания. . .

Оценявана по обичайните критерии за уникалност и елегантност, струнната теория се беше превърнала от образа на Красавицата в образа на Звяра.

Продължавайки, Съскинд посочва любопитен аргумент, който ще обсъдим по-нататък, като заявява, че сложността и грозотата в действителност са нещо добро. Смятайки за установен факт, че суперструнната теория, която и да е тя, притежава огромна и неимоверно сложна съвкупност от възможни вакуумни състояния, той признава, че неизвестната основополагаща теория може да бъде по-малко сложна и даже елегантна, като казва по този повод: “Струва ми се, че бих приел универсалните принципи на струнната теория за извънредно елегантни – стига да знаех какво представляват те”. Той пояснява възникналата ситуация по следния начин:

Елегантността изисква броят на дефиниционните уравнения да бъде малък. Пет е по-добре от десет, а едно е по-добре от пет. В този дух бихме могли полунашега да кажем, че струнната теория е окончателният символ на елегантността. През всичките години, когато струнната теория беше изучавана, никой не можа да открие нито едно дефиниционно уравнение! Броят им до днес е нула. Не знаем нито кои са фундаменталните уравнения на теорията, нито дали изобщо има такива. Е добре, но какво представлява теорията, ако не сбор от дефиниционни уравнения? Наистина не знаем.

Макар че различни физици могат да имат различни мнения относно красотата на суперструнната теория, почти няма разногласие относно трудностите на теорията. Даже най-простият вариант на струнната теория, при който се търси квантуване на класическата теория на трептяща струна, вече налага да се справяме с многобройни технически

препятствия. По предположение теорията не би трябвало да зависи от начина, по който струната се параметризира, но постигането на това е доста заплетено и води до изискване за съгласуваност, според което струната трябва да съществува в 26-мерно пространство-време. Простата версия на струнната теория по всяка вероятност не притежава устойчив вакуум, така че се налага да разглеждаме суперсиметрична версия, включваща фермиони, т.е. суперструна. Основните уравнения на суперструната са сложни и се формулират по няколко различни начина, като сега изискването за непротиворечивост налага измеренията да бъдат 10 вместо 26. Компактифицирането на шест от измеренията поражда пълната сложност на геометрията на шестмерните пространства на Калаби-Йо, една твърде трудна област на съвременната алгебрична геометрия.

Но ако десетмерната суперструнна теория, компактифицирана върху пространство на Калаби-Йо, е извънредно сложен и труден за овладяване предмет, в съвременната суперструнна теория това е само началото. Надеждата е, че съществува основополагаща непертурбативна М-теория, но засега има само смущаваща колекция от частични резултати относно тази теория. Предполага се, че М-теорията описва не само струни, но и обекти с по-висока размерност, наречени брани. С последните са правени много и различни видове изчисления, но все още няма фундаментална теория, която да ги описва непротиворечиво.

Тъй като цялата област е така сложна и трудна, теоретиците често пъти се опират не на собствените си преценки за нея, а на казаното от други. Фактът, че Уитън през 1984 с такъв ентусиазъм се залавя със суперструнната теория, създава убеждението, че това е най-перспективната тематика. Основната причина за това е, че мнозина се опират на неговата преценка, тъй като сложността на струнната теория не им позволява сами да си изработят мнение за ситуацията.

Освен че издига високо препятствие пред навлизането в тематиката, суперструнната теория затруднява също така смяната на тематиката. По времето, когато изследователят е добил определена експертиза по суперструни, той вече е изразходил много полезно време, така че психологически и професионално много трудно се решава на такава смяна. По този повод Филип Андерсън³ отбелязва:

Тъжното тук е, че, както споделих с мен няколко млади бъдещи теоретици, проблемите са твърде сложни и изискват изцяло да им се посветиш само за да си в курса на нещата. Това означава, че талантиливи млади хора нямат време за изучаване на други насоки на изследване и за тях са затворени алтернативните възможности за работа.

А е вярно също така, че няма такива алтернативи на суперструнната теория, които човек лесно да изучи и бързо да започне изследователска работа. Много от новите идеи изискват да се изучи огромен масив от математически знания. Математиците малко помагат в тази насока, тъй като рядко пишат достъпно за съвременните теми в математиката. Ценностите в математиката са прецизност, строгост и абстрактност, но те не съдържат мотивациите и грижливо подбраните примери, които правят предмета достъпен за новодошлите. Това често пъти прави изследователската литература

недостъпна за всички освен за онези, които вече са специалисти в дадената област. Сред математиците понякога се среща своеобразно арогантно отношение: ако ние сме преодолели тежките препятствия, защо да правим лесен живота на другите.

Но арогантността на математиците бледнее в сравнение с тази, която понякога се среща между суперструнните теоретици. Те като че ли смятат, че само истински гении могат да работят в тази теория и че всеки, който критикува подобна работа, най-вероятно е просто твърде глупав и невежа, за да може да я разбере. Съществува поразително сходство между начина, по който се правят суперструнните изследвания във физическите факултети, и начина, по който се работи върху постмодерната “теория” в хуманитарните факултети. И в двата случая се срещат такива специалисти, които буквално се опияняват от трудностите и недостъпността на тяхната област и това им внушава повишено самочувствие. А бариерите на неразбирането пред подобен род работа правят много трудно за външни хора да оценяват колко ценно е дадено постижение и дали изобщо има постижение.

Равнището на сложност и трудност на суперструнната теория вероятно просто е показател, че разработките вървят по грешна следа, и отразява факта, че никой няма идея дали действително съществува някаква неизвестна и проста фундаментална М-теория. При успешните физически теории, какъвто например е стандартният модел, основните идеи може трудно да се осмислят от студенти, но след като се достигне до определено равнище, основополагащите идеи стават ясни и човек може да разбере как структурата и следствията на теорията произтичат от определени основни предположения. Незадоволителните черти на някои от аспектите на стандартния модел ни карат да смятаме, че зад този модел стои някаква по-фундаментална структура, която ние все още не разбираме. Можем да вярваме, че след като веднъж изясним какво представлява тази структура, нейното разбиране едва ли ще бъде по-трудно за неспециалистите от изучаването на стандартния модел. Обаче разкриването на такъв нов, по-дълбок и по-добър начин за вникване във фундаменталната физика предполага много сериозни интелектуални усилия. Не е изключено това да е свръх възможностите на човешкия разум, ако на помощ не му се притекат получени от експеримента факти.

Глава 14. НАУКА ЛИ Е СУПЕРСТРУННАТА ТЕОРИЯ?

40 основни атрибута на Обединеното поле, които могат да бъдат приравнени на характерните атрибути на 40 аспекта на Веда и Ведическата литература, бяха изведени от математическата формула на Обединеното поле, дадена от суперструнната теория.
– Махариши Махеш Йоги,
“Обединено поле на всички природни закони”

Без да е от значение как ще се развият нещата, историята на суперструнната теория

е такъв епизод, който няма подобен на себе си в историята на съвременната физическа наука. Повече от двадесет години на интензивни изследвания от хиляди от най-добрите учени в света, произвели десетки хиляди научни публикации, не са довели до едно-единствено предсказание на теорията, което да подлежи на експериментална проверка. Тази безпрецедентна ситуация ни кара да се запитаме дали наистина изследванията в областта на суперструнната теория могат да се квалифицират като научни изследвания в областта на физиката. Този въпрос често се задава в две различни формулировки. В едната от формулировките въпросът се задава от много физици и гласи: дали всъщност суперструнната теория не е по-скоро математика, отколкото физика. Във втората формулировка се пита дали теорията изобщо е наука.

Тъй като работата ми е главно в математическия факултет, на мен ми е много ясно как моите математически колеги биха отговорили на въпроса дали суперструнната теория е математика. Те биха отговорили с един глас: “Определено не е!” Математиците смятат, че по дефиниция тяхната дисциплина се състои във формулирането на прецизни теореми относно абстрактни математически същности, както и в построяването на строги доказателства на тези теореми. Фактът, че суперструнната теория се отнася до спекулативни физически същности, в действителност не е проблем, тъй като математиците са майстори на абстракциите и лесно могат да изменят всяка прецизна теоретична конструкция в такава, която да бъде изразена на езика на абстрактната математика. Проблемът е, че суперструнната теория в действителност не е теория, а по-скоро съвкупност от очаквания, че съществува теория. За математика съвкупността от очаквания за съществуването на една теория, произтичащи единствено от физически съображения, определено не е никаква математика. Точно както става във физиката, подобна съвкупност от очаквания може по принцип да се използва като мотивация за създаването на прецизна съвкупност от предположения относно това какво е истинно, но не е ясно как тя реално би могла да се използва.

От друга страна много физици, които не работят в областта на суперструнната теория, често я характеризират като математика. В повечето случаи в тази характеристика се влага негативен оттенък, тъй като много физици споделят отношението, което Гел-Ман е имал по-рано⁴ и според което абстрактната математика е някаква форма на самообίδα. До голяма степен суперструнната теория се смята от водещите физици за математика, а от водещите математици – за физика, като всяка група е убедена, че теорията не може да има смисъл в нейната отправна система, но вероятно би могла да има смисъл в нечия друга отправна система.

През средата на 1980-те години една често срещана украса на вратите на кабинетите на теоретиците по физика на елементарните частици беше един много колоритен плакат, разпространяван от Международния институт Махариши. На плаката бяха изобразени основните уравнения на единадесетмерната супергравитация, към които беше прибавен обяснителен текст за връзката на всеки член в уравненията с версията на Махариши за индийската философия. Епиграфът в началото на тази глава е от един по-нов, също така колоритен документ, който сега се разпространява онлайн

от университета по мениджмънт Махариши. Новият документ е по-съвременен (супергравитацията е заменена със суперструнна теория), но иначе е напълно в духа на предишния.

Главното действащо лице зад всичко това не е Махариши, а физик, чието име е Джон Хейглин. Той беше дипломант в Харвард по теория на елементарните частици към края на 1970-те години и аз си спомням, че по това време заедно ходехме на лекции по квантова теория на полето. Тъй като мой съквартирант се интересуваше от Трансцендентална медитация (ТМ) и познаваше Хейглин от местния ТМ център, аз също се запознах с него. Неговият интерес към квантовата теория на полето беше стимулиран от странното желание да приложи тази теория за обяснението на левитацията, практикувана от адептите на ТМ. В други отношения той се държеше като всички останали студенти.

Хейглин завърши Харвард след няколко години като автор на няколко сериозни статии по теория на елементарните частици, а после започна работа в Центъра на Станфордския линеен ускорител (SLAC). Там той работеше върху суперсиметрични разширения на стандартния модел и върху великите обединени теории, като сътрудничеса с много от водещите фигури в тази област и публикува голям брой статии, някои от които често се цитират и до днес. Към 1984 Хейглин напуска SLAC и постъпва в Международния Махариши институт във Феърфийлд, щата Айова, където започва да изгражда физически факултет. По това време факултетите размножаваха статиите на своите сътрудници по елементарни частици и ги разпращаха до другите факултети. Спомням си, че тогава виждах няколко препринта на университета Махариши по елементарни частици. По съдържание те не се отличаваха от другите препринти на тази тематика, но бяха отпечатани на розова вместо на бяла хартия.

От средата на 1984 до средата на 1990-те години Хейглин продължи да публикува статии в главната насока на научните изследвания, като често се опитваше да развие изведени от струнната теория следствия на различните велики обединени теории. Към 1995 Хейглин беше публикувал 73 научни статии, повечето в много престижни списания по елементарни частици, като много от трудовете му бяха цитирани в повече от сто последващи изследвания. Ако човек разгледа списъка на тези статии в базата данни на SLAC, няколко от заглавията ще му направят впечатление: *“Може ли съзнанието да е обединеното поле? (От гледна точка на теорията на полето)”* и *“Фундаментално преструктуриране на физиката в светлината на ведическата наука на Махариши”*. При четене на тези статии става ясно, че от средата на 1980-те години нататък Хейглин е отъждествявал “обединеното поле” на суперструнната теория с “обединеното поле на съзнанието” по Махариши. Международният университет Махариши изискваше всички негови студенти първокурсници да прослушат “двадесет урока като въведение в концептуалните основи на обединените полевни теории”, където се цели подробно да бъде обяснена връзката между суперструнната теория и съзнанието. В последно време Хейглин престана да пише статии по физика и стана известен като кандидат за президент на “Партия природен закон”, която пропагандира идеята за борба с теро-

ризма с помощта на “нова непобедима защитна техника, основана върху откритието на обединеното поле”⁵.

Практически всеки физик теоретик в света отхвърля всичко това като пълна безсмислица и дело на умопобъркани, но случаят на Хейглин показва, че умопобъркани могат да имат титла PhD от Харвардския физически факултет и голям брой често цитирани статии, публикувани в първокласни списания по теоретична физика. Как тази научна област се предпазва от умопобърканите? Макар че Хейглин без съмнение вижда своята дейност като нещо цялостно, как може да се отдели онова, което правомерно се смята за наука, от неговото ирационално пожелателно мислене?

Човешките същества правят най-различни опити да обяснят света около себе си, но само един особен вид обяснение обикновено се смята за научно. Когато човек направи експеримент, който по-рано никога не е правен, обяснението, което позволява да се предскаже успешно и подробно какво ще се случи, може с пълно право да бъде наречено “научно”. Обясненията, които се коренят било в традиционни, било в религиозни вярвания и които не могат да се използват за предсказването на онова, което ще се случи, очевидно не заслужава това название. Това се отнася също така до обясненията, основани върху пожелателно мислене или идеология, където източникът на доверие в обяснението може да се идентифицира с нещо, което е различно от рационалното мислене.

Въпросът дали е възможно да се реши какво не е и какво е наука е централен във философията на науката. Най-известният критерий за определяне какво е наука и какво не е се свързва с името на философа Карл Попър. Според неговия т.нар. критерий за фалсифицируемост дадено обяснение е научно, ако с негова помощ могат да се правят такива предсказания, които подлежат на фалсификация, т.е. може да се покаже, че са грешни. В някои случаи критерият за фалсифицируемост може да се окаже доста хлъзгав, защото невинаги е ясно какво да се смята за фалсификация. Наблюденията могат да са теоретично натоварени, тъй като някакъв вид теория е необходима даже за да се опише онова, което се наблюдава при експеримента. Но този въпрос едва ли е от значение в настоящия контекст.

Докато конкретните модели могат непосредствено да бъдат фалсифицирани, въпросът дали може да се фалсифицира една по-обща теоретична конструкция е по-сложен. В продължение на години неведнъж бяха съобщавани предварителни експериментални резултати, които противоречат на предсказанията на стандартния модел. При всеки от тези случаи по принцип беше възможно да се направи такова разширение на стандартния модел, което да го доведе до съгласие с новите резултати, но това би станало с цената на значително повишена сложност на теорията. Но нито един от тези експериментални резултати не устоя, тъй като по-внимателният анализ винаги показваше, че в действителност не е нужно разширение на стандартния модел. Когато имаме някаква теоретична конструкция, много често могат да се намери начин да се съгласуват най-различни експериментални резултати, ако се използват произволно усложнени модели вътре в тази конструкция. Естетиката е от значение, когато трябва

да се изясни дали дадена конструкция е фалсифицируема, тъй като се изисква да се ограничаваме с относително прости и естествени модели вътре в конструкцията. Ако си позволим извънредно сложни барокови конструкции, много често можем да стигнем до съгласие практически с всеки един експериментален резултат.

Стандартният модел е чудесен пример за фалсифицируема теория, тъй като той е един от най-простите възможни модели от този вид и може да се използва за създаването на безкрайна съвкупност от предсказания относно резултатите на експерименти с елементарни частици – всички те могат по принцип да бъдат проверени по напълно еднозначен начин. От друга страна суперструнната теория в днешно време представлява без съмнение пример за теория, която не може да бъде фалсифицирана, защото тя не прави никакви предсказания. Няма предложен нито един модел вътре в рамките на суперструнната теория, който да се съгласува с известни факти от физиката на елементарните частици. Всички опити да се направи това винаги са водели до твърде усложнени конструкции, които имат всички признаци на опит неподходяща теоретична конструкция да се съгласува с експериментални резултати. Заедно с това, поради липсата на непертурбативна теория, конструкцията на суперструнната теория все още е твърде неясна, за да можем да сме напълно сигурни, че определени видове съвсем логични модели ще намерят мястото си в нея.

На конференция през 1998, на която присъстваха предимно експериментатори, суперструнният теоретик Джоузеф Полчински заяви: “Сигурен съм, че всички експериментатори биха искали да узнаят: ‘Как да фалсифицирам струнната теория? Как мога да я накарам да си отиде и да не се връща?’ Е, добре, няма как. Поне засега.”

По критерия за фалсификация суперструнната теория не прилича на наука, но положението е още по-сложно. Коварният момент се съдържа в думите на Полчински “поне засега”. Повечето от теоретичната дейност на учените е спекулативна, в смисъл, че тя се състои от задаване на въпроси като например: “Какво, ако допусна, че X е вярно? Ще мога ли в такъв случай да построя истинска теория въз основа на това предположение?” Това със сигурност е нещото, което учените правят през голяма част от времето си и едва ли някой би го нарекъл ненаучно. Суперструнната теория е в голяма степен спекулативно усилие от такъв вид. Теоретиците, работещи в тази област, обсъждат твърде спекулативното предположение: да заменим понятието елементарна частица със струни или по-екзотични обекти и да се опитаме да разберем дали въз основа на това предположение може да се построи научна теория, способна да прави фалсифицируеми предсказания.

Ако обобщим схващането за “научно”, с цел да включим и спекулации от подобен тип, определено ще направим суперструнната теория наука. Но наистина ли бихме искали да повярваме, че подобна спекулативна дейност е научна? Според една популярна сред космолозите история (тази версия дължим на Стивън Хокинг, но има и много други):

Известен учен (според някои Бертран Ръсел) веднъж изнасял публична беседа по астрономия. Описвал как Земята се върти по орбита около Слънцето и как

Слънцето на свой ред се върти по орбита около центъра на огромна съвкупност от звезди, наречена наша галактика. В края на лекцията крехка възрастна дама, седяща в дъното на залата, станала и заявила: “Говорите нелепици. Светът е плоска чиния, закрепена на гърба на огромна костенурка.” Ученият се усмихнал покровителствено, след което отвърнал: “А на какво е стъпила костенурката?” Отговорът на дамата бил: “Вие сте много умен, млади човече, много умен. Само че по-нататък надолу са все костенурки.”

Докато физиците се забавляват с тази история и с много нейни версии (на мястото на Ръсел често са Уилям Джеймс или Айнщайн), антрополозите разказват друг вариант на историята:

Има една индийска история за англичанин, който като чул, че светът е разположен върху платформа, поставена върху гърба на слон, а слонът на свой ред стоял върху гърба на костенурка, попитал (той трябва да е бил етнограф, те са такива) на какво се държи костенурката. На друга костенурка. А тя? “А, Сахиб, надолу все са костенурки”

Теорията на елементарните частици, за разлика от етнографията например, е наука, която има фундамент, и колкото по-дълбоко навлизаме във фундамента, толкова по-пълна се смята теорията. Стандартният модел е теория, която предлага фундамент за предсказването и изясняването на широк кръг от явления. Смята се, че съвременните изследвания са насочени както към укрепване на отделни неустойчиви части на фундамента, така и към намирането на още по-пълна теория.

Какво, ако предложи на много малки мащаби на разстояния физиката да се описва не в термините на частици, струни и т.н., а в термините на костенурки? Ако оповестя, че изследвам перспективите на обединена теория, построена върху предположението, че светът е изграден от извънредно малки костенурки и че от това допускане аз се надявам да изведа стандартния модел и да изчисля неговите неопределени параметри, повечето хора вероятно биха казали, че това не е наука. От друга страна, ако след няколко месеца работа аз наистина успея да изведа параметрите на стандартния модел въз основа на идеята за костенурките, хората ще трябва да променят мнението си и ще приемат, че действително всичко това е наука. Така че въпросът дали дадена спекулативна дейност е наука, както изглежда, няма абсолютен отговор, а зависи от цялостната оценъчна система на научната общност и от нейната еволюция заедно с новите теоретични и експериментални открития. Спекулативното изследване на някакъв проблем с помощта на подход, който повечето учени, работили дълго и упорито върху него, оценяват като неподходящ и неперспективен, вероятно не би трябвало да се нарича научно изследване, особено ако то трае много години и не дава никакви признаци да води до нещо разумно. От друга страна, ако голяма част от научната общност повярва, че дадена спекулативна идея не е безсмислена, тогава нейното разработване ще се смята за наука.

Спекулацията, известна като суперструнна теория, продължава да се възприема като наука по този критерий, доколкото голяма част от теоретиците я разглежда като смислено предположение, което заслужава да бъде изследвано. Решението да бъде така наречено до голяма степен е социално и се основава върху споделяното мнение от много, но не всички, физици. В случая на суперструнната теория не са малко физиците, които смятат, че включваните спекулативни предположения вероятно са грешни и че най-вероятно няма надежда те да се превърнат в теория, въз основа на която да се правят предсказания. Суперструнните теоретици добре разбират, че по този въпрос има спор в научната общност и че ако теорията и занапред не е в състояние да предскаже нещо, в някакъв момент общността ще престане да нарича наука техните занимания.

Угризенията на съвестта, които много учени изпитват във връзка със суперструнната теория, често биват изразявани като безпокойство, че теорията вероятно е пред угрозата да се превърне от наука в религия. Глашоу е един от физиците, които изразиха този възглед на всеослушание:

Възможно е да съм преувеличил казаното от някои струнни теоретици в защита на своята нова версия на средновековната теология, където ангелите са заменени с многообразието на Калаби-Йо. Заплахата обаче е ясна. За пръв път става възможно да се види как може да се сложи край на нашето възвишено изследване и как на мястото на науката отново може да дойде религиозната вяра.

Чувал съм и за друга форма на това безпокойство, изразено от неколцина физици, а именно, че суперструнната теория се превръща в култ, чийто гуру е Уитън. За пример да си спомним цитираните по-горе коментари на Магусейхо. Някои струнни теоретици наистина изразяват своята вяра в струнната теория с помощта на религиозни термини. Например един струнен теоретик във физическия факултет на Харвард завършваше всяко свое електронно послание с думите: “Суперструнната/М-теорията е езикът, на който Бог е написал света”. Струнният теоретик Мичио Каку по време на едно радиоинтервю описа основната същност на струнната теория с думите: “Умът на Бог е музика, която резонира в 11-мерното хиперпространство”. Някои физици се шегуват, че, поне в Съединените щати, струнната теория ще може да оцелее, ако се кандидатира пред федералното правителство за финансиране като “инициатива на религиозна основа”. През последните години фондацията Темпълтън, пропагандираща сближаването между науката и религията, оказва подкрепа на конференции, в които са участвали много изтъкнати струнни теоретици. Понякога загрижеността на Глашоу, че е възможно теологията да дойде на мястото на науката, изглежда много сериозна.

Лично аз не смятам, че категории като култ или религия са особено подходящи за тези обстоятелства, тъй като те се отнасят за човешки дейности, много от характеристиките на които са твърде различни от спецификата на процесите, протичащи във физическата общност. От друга страна с изминаването на годините, колкото по-ясно става, че суперструнната теория се е провалила като плодотворна идея за унификация, толкова отказът да се признае това добива все по-смустващи последствия. Убедихме

се, че няма начин ясно да се раздели въпросът що е наука и ненаука от чисто човешките въпроси за нещата, в които хората избират да вярват и защо решават така. Така че науката не е имунизирана против някои от опасностите на култовото поведение, чиято плячка стават хората. Необходими са силни вътрешни норми на рационалност и те трябва непрекъснато да се укрепват, за да сме сигурни, че дадена наука продължава да заслужава това име.

Глава 15. АФЕРАТА БОГДАНОВИ

Докато пишех тази книга, една сутрин през октомври 2002 влязох в кабинета си и както винаги започнах с преглед на електронната си поща. Няколко приятели физици ми съобщаваха за някакъв слух, който те знаеха, че ще ме заинтригува. Мълвата се състоеше в това, че двама братя французи, Игор и Гришка Богданови, бяха скалпипили нещо, което някои хора наричаха “преобърната измама на Сокал”. През 1996 физикът Алън Сокал беше написал внимателно съчинена, но съвършено безсмислена статия, озаглавена “Да прекосиш границите: към трансформативна херменевтика на квантовата гравитация”. В статията нямаше никакъв рационален аргумент, но затова пък се навързваха произволни твърдения, спиращи дъха логически скокове и огромна колекция от най-глупавите части в писанията както на теоретици на постмодернизма, така и на някои представители на природните науки. Краят й нямаше никакъв смисъл, но като цяло тя беше потресаващо смешна (за хората, които са запознати със шегата). Сокал дава статията за печат в известното и доста престижно академично списание *Social Text*, чиито редактори я приемат за публикуване в рубриката “Научни изследвания”.

Според мълвата, за която ми съобщаваха в електронната поща, братята Богданови направили нещо подобно, като съчинили съвършено безсмислени статии на тема квантова гравитация, успели да ги пробутат за печат в няколко списания и даже стигнали дотам, че успели да накарат един френски университет въз основа на тези статии да им присъди PhD.

След първата поява на пародията на Сокал аз обмислях доста сериозно идеята да се опитам да напиша пародия на статия по теория на суперструните и да видя дали бих могъл да я публикувам във физическо списание. Ако започнех с някоя от по-засуканите и непоследователни статии по суперструнна теория, преработих аргументацията й, за да прибавя нов пласт от непоследователност и неправдоподобност, както и няколко остроумни шегички, резултатът би бил нещо, което няма изобщо никакъв смисъл, но вероятно би минало през много редактори и рецензенти. След като обмислях идеята известно време, накрая реших да се откажа от нея, защото не ми беше ясно, ако успея в това начинание, какво бих могъл да претендирам. Опонентите на Сокал бяха посочили, че той е построил неособено добра аргументация, но в духа на онази, която те самите подкрепят, и няма значение дали самият той вярва в нея или не. По подобен начин всяка пародия на суперструнна теория, предложена от мен, би могла да се характеризира като немного добър образец на изследване по суперструни, което

аз съм успял да пробутам през претоварените и невнимателни рецензенти. Фактът, че аз не вярвам в това, което съм написал, не би доказвал нищо.

Същата сутрин потърсих материалите на братята Богданови в мрежата и бързо ги прегледах. Не ми приличаха на пародия. В частност, за разлика от статията на Сокал в тях нямаше нищо смешно. По-късно през деня дочух пресни слухове, че репортер на *New York Times* се е свързал с единия от братята, който възмутено отрекъл, че може да става дума за пародия. Изглеждаше така, като че ли това е още един пример за некомпетентна работа по квантова гравитация – нещо, което не беше съвсем необичайно.

На следващия ден получих още повече електронни съобщения относно “пародията” на Богданови. Например някой, който беше на посещение в Харвард при групата по теория на струните, беше изпратил на свой приятел следното съобщение:

Никой от групата по струни в Харвард не може да каже дали тези статии са истински или мошенически. На сутринта, след като беше казано, че те са измама, всеки със смях твърдеше, че това е напълно очевидно. По-късно, когато беше казано, че авторите са истински професори и че не става дума за измама, всички започнаха да говорят, че най-вероятно става дума за нещо истинско.

Това съобщение в крайна сметка стигнало до единия от братята Богданови, който го разпространи на широко, като заедно с това категорично отричаше да има каквато и да е измама. Тъй като разполагах с малко свободно време, реших да се запозная по-добре с двата материала на братята. Този на Гришка беше почти непробиваем, предимно в сферата на квантовата алгебра – нещо, което аз не познавах добре. Другият, на Игор, беше главно за топологична квантова теория на полето – област, която познавам много по-добре. Тезата на Игор беше доста кратка, като голяма част от нея беше приложение, състоящо се от четири негови публикувани статии. Запознавайки се внимателно с тези статии, веднага забелязах, че две от тях бяха почти тъждествени, включително съвпадащите дума по дума резюмета, а и двете статии приличаха на извадки от една от другите статии. При по-нататъшното проучване се оказа, че съществува и пета статия, която братята са публикували в друго списание и която отново беше повече или по-малко тъждествена на другите две.

Това силно привлече вниманието ми, защото макар мнозина да пишеха логически непоследователни статии, никога не бях чувал някой да се е занимавал с такъв вид екстремно автоплагиатство посредством публикуването на почти тъждествени статии в три различни списания. Разучавайки по-внимателно най-дългата от техните статии – онази, от която бяха извлечени другите три статии, -разбрах, че това е доста внушителна нелепица, значително превишаваща всичко друго, което някога бях виждал във физическо списание. Въведението беше невероятен сбор от позовавания на различни идеи, много от които свързани с топологичната квантова теория на полето, но повечето от тях или безсмислени, или просто грешни. Същинската част на статията не беше по-добра – тя съдържаеше множество напълно смехотворни изказвания. Всичко това беше смешно, но нещата все повече изглеждаха така, като че ли не са правени нарочно.

Като цяло онова, което братята Богданови бяха успели да направят (освен че са прокарали дисертационните си работи), беше, че са публикували в рецензируеми списания пет статии, три от които са почти тъждествени. Две от списанията са с високи реномета (*Classical and Quantum Gravity* и *Annals of Physics*), третото има славна история, но през последните години стандартите му се понижиха (*Nuovo Cimento*), а последните две не са особено известни (*Czechoslovak Journal of Physics* и *Chinese Journal of Physics*). Очевидно е, че петте групи редактори и рецензенти са прегледали тези статии и са ги допуснали за печат, без да забележат, че това са въпиющи нелепици. По-късно стават известни няколко от мненията на рецензентите и се разбира, че две от тях са твърде повърхностни, но едно е значително по-изчерпателно и съдържа седем препоръки за промени в статията, преди тя да бъде приета за печат. В крайна сметка едно от списанията (*Classical and Quantum Gravity*) помества редакционна бележка, в която се заявява, че по мнението на редакционната колегия тя е допуснала грешка с публикуването на тази статия и че ще бъдат взети мерки (не се посочва какви) занапред това да не се случва. Редакторът на едно от другите списания (*Annals of Physics*), Франк Уилчек⁶, също признава, че отпечатването е било грешка, направена наистина, преди той да стане главен редактор, но с намерение да повишат стандартите на списанието.

Някои журналисти се заинтересуваха от тази история и на няколко места бяха публикувани материали относно Богданови, включително в *Chronicle of Higher Education*, *Nature* и *The New York Times*. Така станаха известни много факти относно братята и как са получили своите PhD. Те са на възраст около петдесет години, имали са телевизионни изяви във Франция през 1980-те години, включително по научна фантастика, а сега имат ново телевизионно шоу, в което изнасят кратки беседи и отговарят на въпроси, свързани с науката. Моше Флато, математик физик от Дижонския *Universite de Bourgogne*, се съгласил да ги приеме като свои студенти към началото на 1990-те години, но неочаквано починал през 1998. След неговата смърт братята представили своите дисертации и единият от тях (Гришка) получава PhD по математика през 1999. Вторият брат, Игор, не успява, но му било казано, че би могъл да опита отново, ако успее да публикува три статии в списания с рецензиране – нещо, което той веднага направил с резултата, който вече описахме. Накрая всичко се урежда и той получава PhD по физика през 2002.

Трудно е да се направи нещо като резюме на Богдановите статии, тъй като в тях откриваме твърде малко смисъл, но в общи линии те твърдят, че установяват нещо относно началото на пространството и времето, като използват топологична квантова теория на полето, и всичко това е свързано по някакъв начин с квантовата теория на полето при високи температури. Дискусионният раздел в края на техните три идентични статии изцяло се занимава с връзките на тяхната работа със суперструнната теория и с проблема за нарушената суперсиметрия. За да добием известна представа относно това, което рецензентите са мислели за статиите, тук привеждаме единствения съществен параграф в една от рецензиите:

Бидейки мотивиран от резултати на струнната теория, авторът на тази статия об-

създа пространство-времето под Планковите мащаби като термодинамична система, която е подчинена на КМС условието. Тъй като физиката в Планков мащаб е твърде малко проучена, представеният в статията възглед може да бъде интересен като възможен подход към физиката в Планкови мащаби.

Значението на аферата Богданови беше разгорещено обсъждано сред физиците през последвалите няколко месеца, като повечето суперструнни теоретици споделяха мнението, че това е просто случай на неколцина мързеливи рецензенти и че това все едно не са статии относно суперструнната теория. Макар че твърде малко хора от общността на теорията на елементарните частици се опитаха да защитят работата на Богданови или да твърдят, че тя има дълбок смисъл, все пак бяха разпространени някои твърде странни електронни съобщения. Един суперструнен теоретик разпрати до свои колеги нападки срещу математичен физик, който беше посочил доказателства, че Богданови не разбират какво е това топологична квантова теория на полето, като от текста на суперструнния теоретик ставаше ясно, че самият той споделя грешните представи на братята.

През февруари 2003 Богданови ми написаха любезно писмо, в което защитаваха своята работа и ме питаха какво според мен е грешно в нея. Аз допуснах грешка, смятайки, че те вероятно ще вземат пред вид някои полезни съвети и им пратих добро-намерен отговор. В него се опитах главно да изтъкна, че написаното от тях е твърде мъгляво и несвързано, за да има много смисъл, и че те трябва да изяснят и повече да прецизират идеите си, преди някой да е в състояние да прецени дали те имат някаква стойност.

Към края на 2003 получих електронно писмо от някой си професор Лю Янг, представящ се като сътрудник на Международния институт по теоретична физика в Хонг Конг и защитаващ с подробности работата на Богданови в областта на Римановата космология. Проучих нещата и се оказа, че такъв институт не съществува, нито пък има такъв професор Янг. Данните за писмото показваха, че то е дошло от компютър с набираща се връзка в Париж, но така конфигуриран, че да изглежда с интернет адрес в Хонг Конг. Не обърнах особено внимание, но това ме убеди, че братята Богданови не са така невинни и простодушни, както първоначално смятах. В началото на юни 2004 Богданови публикуваха книга във Франция под заглавието *Avant le Big-bang* (Преди Големия взрив), която вървеше доста добре на пазара. В книгата си те използват част от електронното писмо, което им бях пратил предишната година, като твърдяха, че аз съм техен поддръжник. Бях превели грешно един ред от писмото ми (в което бях прекалено учтив): “Твърде възможно е да имате някои ценни нови резултати по квантови групи” като “Il est tout a fait certain que vous avez obtenu des resultats nouveaux et utiles dans les groupes quantiques” (Съвсем сигурно е, че вие сте получили нови и ценни резултати по квантови групи”).

Горе-долу по същото време се появи съобщение в защита на Богданови, подписано от “Роланд Шварц”, чийто компютър използваше точно същия парижки

интернет адрес като професор Янг. Месец по-късно братята започнаха да разпращат електронни писма от интернет страница, претендираща да е на Международен институт по математическа физика в Рига. На този адрес беше поместен сайт на Математически център по Риманова космология, посветен на работите на Богданови. В съобщенията си братята услужливо обясняват, че Рижският университет е създал специален сайт за тях и затова той носи литвийско име. Проблемът обаче е, че Рига е в Латвия, а не в Литва. Мен това ме засяга лично, тъй като моят баща е роден в Рига (латвийското произношение на името ми е Войтс). Баща ми и неговите родители са станали изселници по време на съветската окупация през Втората световна война. Бях посещавал Рига няколко пъти (включително и Рижския университет); първият път беше малко след обявяването на независимостта, пътувахме заедно с баща ми, който тогава беше още жив. Рига е красив град и центърът ѝ малко е променен спрямо предвоенните години. В последно време старата част на града и неговият център бяха с вкус обновени и Рига отново е голям и оживен град с чудесни ресторанти, хотели и магазини. Напълно съм сигурен, че в града няма Международен институт по математическа физика.

Да оставим настрана въпроса дали братята Богданови са мошеници или наистина вярват в публикациите си. Но този епизод ясно показва, че в областта на квантовата гравитация човек може лесно да публикува пълни безсмислици и то в много списания, някои от които са твърде реномирани. Докато Сокал е вложил доста усилия, за да преметне редакторите на *Social Text*, нелепите статии на Богданови биха могли да са произведени по неграмотно простодушие и после да са предложени не в едно, а в пет списания. Това ни изправя пред въпроса за практиката на рецензирането в тази област на физиката, доколкото целят този процес очевидно е твърде прогнил.

Една необикновена особеност на статиите на Богданови е, че те никога не са били прасани за отпечатване като препринти, каквато е практиката почти на всички теоретици и на повечето математици. В днешно време все по-малко на брой физици надникват в печатните списания, доколкото практически всички интересни статии са достъпни в базата данни на Мрежата. Това, че списанията продължават да съществуват и оцеляват, е доста загадъчно, особено след като много от тях са твърде скъпи. Един типично голям университет изразходва годишно над \$100 000 за покупка на физически списания, чието съдържание почти винаги е по-лесно достъпно онлайн и то безплатно. Нещото, което списанията действително осигуряват, а базата данни в препринти не може, е процедурата на рецензирането. Основното нещо, което списанията продават, е гаранцията, че публикуваните в тях материали внимателно са прочетени от експерти. Историята на Богданови подсказва, че поне за статии по квантова гравитация и за някои от списанията тази гаранция вече почти нищо не струва.

Друга причина за оцеляването на списанията е, че те изпълняват една важна роля в академичната общност, където твърде често основният критерий при оценката на работата на учените е броят на техните публикации в рецензирани списания – нещо, което се е задействало при решението да се одобри дисертацията на Игор Богданов.

Така че пробивът в системата на рецензирането е една сериозна заплаха за цялата академична изследователска дейност.

Защо в този случай рецензентите са приели за публикуване такава очевидна безсмислица? Една причина без съмнение е в това, че много физици не искат да си признаят, че не разбират някои неща. Изправени пред смес от позовавания на физика и математика, в която те не са специалисти, вместо да я върнат на редакцията или да огледат внимателно какво искат да кажат авторите, рецензентите решават да допуснат, че в материала се съдържа нещо интересно и допускат статиите за печат с минимално количество коментари. Приведеният по-горе откъс от рецензия ясно илюстрира каква е била линията на мислене: “А, това има нещо общо със струнната теория, квантовата гравитация и началото на вселената; авторът използва нещо, наречено ‘КМС условие’, което вероятно е важно. Нищо от публикациите в цялата тази област не е напълно смислено, така че може би и този материал не е по-лош от много други и даже вероятно в него някъде се съдържа някаква прилична идея. Защо просто да не го препоръчам за печат?”

Аферата Богданови убедително показва, че нещо се е сериозно пропукало в онази част от научната общност, която развива спекулативните изследвания в областта на квантовата гравитация. Един значителен брой рецензенти и редактори не са били способни да разпознаят предложената им пълна безсмислица или, ако са могли да направят това, са сметнали, че не си струва да си навлекат беля на главата. Засега общността на физиците теоретици като че ли реагира на този епизод, опитвайки се да отрече или да минимизира неговото значение, с което показва, че обсъдените проблеми няма да бъдат разрешени в обозримо бъдеще.

Бележки на преводача

[1] Виж руския превод: Е. Вигнер. *Этюды о симметрии*. “Мир”, М. 1971.

[2] P. Dirac. *Scientific American*, May 1963, pp 45-53.

[3] Физик теоретик. Основна област на изследвания – кондензирани системи. Нобелов лауреат по физика за 1977 г.

[4] Виж глава 12 (“СФ” 2/2010).

[5] Дж. Хейглин е посещавал България два пъти. Махариши също е идвал в България (малко преди смъртта си, през 2009, на 90-годишна възраст). На срещите със съмишленици те са изнасяли лекции на посочената тематика.

[6] Нобелов лауреат по физика за 2004 г. заедно с Д. Грос и Х. Полицър.

(Peter Woit. “*NOT EVEN WRONG. The failure of string theory and the search for unity in physical law*”. Basic books, New York, 2006)

Подбор и превод (с известни съкращения): **М. Бушев**

Нашиите автори:

И. Николов – проф. д.т.н., ФзФ, СУ „Св. Климент Охридски”,

Д. Динев – ст.н.с. д-р, ИИЯЕ – БАН

С. Б. Попов – ст.н.с. д-р, АИ „Щернберг” при МГУ, Русия.

Н. Балабанов – проф. д-р физ. н., ПУ „Паисий Хилендарски”

В. И. Арнолд – академик, РАН

Лий Смолин – професор в РИ за Теоретична физика, Канада

П. Войт – професор, Колумбийски университет

В книжка 4/2010 г. на “Светът на физиката” четете:

И. Тодоров – Математиката като метафора

Й. Намбу – Спонтанното нарушение на симетриите във физиката на елементарните частици (Нобелова лекция, 2008)

Л. Панамаров – В защита на науката

П. Фройнд – Страст за откривателство

И. Гинзбург – нерешените проблеми на фундаменталната физика

Ф. Дайсън – Въпросът за глобалното затопляне

М. Замфилов, Н. Вучков – Нека бъде монохроматична, кохерентна и насочена светлина

СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА 3’2010

СЪДЪРЖАНИЕ

НАУКАТА

– Иван Николов – Фотонната метрология
– Динко Динев – Магнитният момент на мюона задава въпроси
– Сергей Попов – Хипотези в астрофизиката: с какво тъмната материя е по-добра от НЛО?

ИСТОРИЯ

– Никола Балабанов – Андре-Мари Ампер (“Нютон на Електричеството”)

ФИЗИКА И МАТЕМАТИКА

– Давид Хилберт – Естествознание и логика

ФИЗИКА И ОБЩЕСТВО

– Владимир Успенски – Проблем за милион долара
– В памет на акад. Владимир Арнолд (1937-2010)
– Фр. Лалое, Р. Мосери – Библиометричното оценяване на индивидуалните учени: нито правилно, нито дори грешно

ФИЗИКА И МЕТАФИЗИКА

– Лий Смолин – Пред лицето на непълната информация
– Пол Дейвис – Квантовият живот

СЪЮЗЕН ЖИВОТ

– Стойчо Язаджиев – Семинар в памет на доц. Ал. Донков
– Ганка Камишева – Бъдещето на Европейското Физическо Дружество

IN MEMORIAM

– Акад. проф. дфмн Матей Драгомиров Матеев

PERSONALIA

– Д. В.Ширков – Из “Спомени за Николай Николаевич Боголюбов”

ЧЕТИВО С ПРОДЪЛЖЕНИЕ

– П. Войт – Не е даже погрешна – III част

THE WORLD OF PHYSICS 3’2010

CONTENTS

THE SCIENCE

– I. Nikolov – Photon Metrology 253
– D. Dinev – Muon’s Magnetic Moment Sets Questions 264
– S. Popov – Hypotheses In Astrophysics: What Makes Dark Matter Better Than UFO? 272

HISTORY

– N. Balabanov – André-Marie Ampère (“Newton of Electricity”)..... 285

PHYSICS AND MATHEMATICS

– D. Hilbert – Natural Science and Logic.. 293

PHYSICS AND SOCIETY

– Vl. Uspenski – A Million-Dollar Problem 301
– In Memory of acad. Vladimir Arnold (1937-2010)..... 308
– F. Laloë, R. Mosseri – Bibliometric Assessment of Individual Scientists: neither right, nor even wrong..... 320

PHYSICS AND METAPHYSICS

– L. Smolin – Before the Face of Incomplete Information 326
– P. Davies – Quantum Life 338

SCIENTIFIC LIFE

– S. Yazadjiev – Seminar in Memory of assoc. prof. Al. Donkov 346
– G. Kamisheva – The Future of European Physical Society 348

IN MEMORIAM

– Acad. prof. DSc Matey Dragomirov Mateev..... 350

PERSONALIA

– D. V. Shirkov – From “Memories about Nikolay Nicolaevich Bogolyubov” 351

SERIAL

– P. Woit – Not even Wrong – Part III 362