

РЕДАКЦИОННО

От значителните събития, случили се в световната физика за периода до излизането на книжка 1 за 2015 година, ще отбележим развръзката (засага) на докладваното през пролетта на 2014 г. наблюдение на колаборацията, известна като BICEP2 (Background Imaging of Cosmic Extragalactic Polarization). Да припомним, става въпрос за ефект, „отпечатък“ върху космическото микровълново фоново излъчване, за който се предполагаше, че се дължи на гравитационни вълни, разпространявали се в най-ранната Вселена. Отпечатъкът има структура на поляризационна картина, виж редакционната ни статия в брой 2 за 2014 г. За съжаление ефектът, образно казано, се оказва „прах в очите“ на радиотелескопа BICEP2. Още в края на май миналата година две независими групи: M. J. Motonson, U. Seljak, <http://arxiv.org/abs/1405.5857v2>, и R. Flauger, J. C. Hill, D. N. Spergel, <http://arxiv.org/abs/1405.7351>, повторно анализирайки данните от наблюденията на BICEP2, стигнаха до заключението, че влиянието на галактическия прах е недооценено.

Първоначалният анализ на BICEP2 и тези на двете независими групи разчитат на спътника „Планк“, за да отчетат влиянието на междувъзвездния прах в нашата галактика – Млечният път. Това е спътник, създаден и изстрелян от Европейската космическа агенция. Една от задачите на „Планк“ е изработване на карта на разпределението на галактическия прах. Разликата в обработката на данните е в това, че по-късните анализи използват данни от „Планк“, публикувани след като BICEP2-екипът е провел и публикувал анализа си. Новите допълнени данни са с по-достоверна статистика и показват, че приносът към поляризацията на галактическия прах не е 3.5%-5%, както е оценката на BICEP2-екипа, а 8-15%. Това се оказва достатъчно да направи статистически недоказана интерпретацията, че наблюдаваната поляризационна структура се дължи на гравитационни вълни.

В края на януари тази година съвместен анализ на колаборациите BICEP2 и Планк недвусмислено потвърди, че наблюдаваната поляризационна картина може да бъде обяснена практически изцяло с влиянието на галактическия прах. Общата статия е изпратена за публикуване в Physical Review Letters, но основните заключения на изследването изтекоха във вид на „слухове“ до множество медии. Необходимо е да се каже, че този резултат не изключва възможността да се наблюдават ефекти, дължащи се на „първичните“ гравитационни вълни върху „екрана“ на космическото микровълново фоново излъчване. За целта обаче са необходими по-прецизни измервания и разширяване на обхвата от честоти, на които се извършват наблюденията.

За България на дневен ред е готвеният нов Закон за предучилищното и училищното образование. Надеждите бяха, че законът ще обърне пагубната тенденция на постепенно изключване на физиката и другите научни предмети от училищната програма. За съжаление, проектът за закона е лош и беше подложен на множество критики и конкретни предложения за поправки. Както и може да се очаква, критиките са разнопосочни, като някои от тях допълнително влошават проекта. Съюзът на физиците в България изработи становище по проекта, което представихме в брой 4-ти за 2014 г. Становището беше внесено в парламентарната Комисия за образование и наука. За съжаление, то не беше взето предвид. Кратка история на проблема и съвременното състояние са представени в раздела „Съюзен живот“ на настоящия брой.

ОБЛЕДЯВАНЕТО

Димитър Николов

Обледяването е процес на отлагане и замръзване на преохладени облачни или дъждовни водни капки, полепване на омокрени (и най-често слепени) снежни кристали или кристализация на водна пара върху повърхността на обекти, изложени на атмосферни въздействия. Обледяването е включено в списъка на Световната метеорологична организация (СМО) като едно от опасните и особено опасни метеорологични явления. То влияе директно и сериозно върху различни сектори от човешката дейност като производството и преноса на електрическа енергия, телекомуникацията, наземния, въздушния и морския транспорт.

Видове обледяване

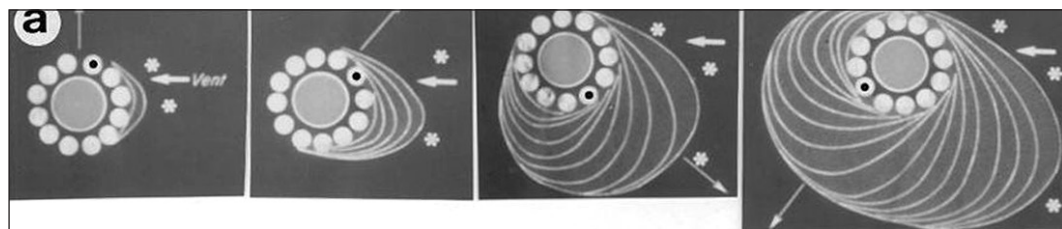
Според метеорологичните условия и произхода на хидрометеорите обледяването може да се раздели основно на валежно и облачно и допълнително да се класифицира в следните типове: поледица, зърнест и кристален скреж, мокър сняг и комбинация от тях, като единствено кристалният скреж не представлява риск.

Поледицата представлява прозрачен (стъкловиден) или полупрозрачен (матов) лед с голяма плътност. Чистият прозрачен лед има плътност 900 kg/m^3 . При абсорбиране на въздух ледът добива бял непрозрачен цвят, а плътността му намалява до $800\text{--}500 \text{ kg/m}^3$. Поледицата се получава при падане на преохладен дъжд или ръмеж, както и при отлагането на преохладени облачни капки, при температура на въздуха най-често между -1 и -6°C . При обледяване от валеж или ръмеж се отлага равномерно около обекта или на висулки, а при мъгла (облак) – по наветрената страна.

Зърнестият скреж представлява снеговидно отлагане на рохкав зърнест лед, получен при замръзването на преохладените водни капчици на мъгла или облак при съприкосновението им с препятствие. Отлагането по неподвижни обекти е силно асиметрично откъм наветрената страна, а по такива, които позволяват въртене около оста си или усукване, е цилиндрично. Същият механизъм действа и при мокрия сняг. Най-често се образува при температура на въздуха между -3 и -14°C и силни ветрове. Плътността му е между 100 и 350 kg/m^3 .

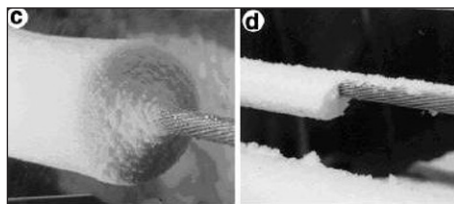
Кристалният скреж представлява бяло ледовидно образуване, състоящо се от добре различими кристалчета, и е лесно разруσιμο. Възниква при кристализация – директен преход на водната пара в лед – в условия на ясно време или слаба димка и много по-рядко слаба мъгла, много ниска температура на въздуха и безветрие или слаб вятър. Интензивността му е най-силна при слаб вятър, слаба мъгла и температура около -12.0°C , когато разликата в налягането на наситените пари над водна и ледена повърхност е най-голяма и нарастването на скрежа става за сметка на изпарението на водните капчици. Плътността му е малка – около 100 kg/m^3 . Характерен е за райони около водни басейни и планински долини – у нас по поречието на р. Дунав.

Мокрият сняг пада при положителни, близки до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ температури на въздуха. Елементите на това отлагане са отделни или слепени мокри снежинки с неправилна форма, понякога в съчетание с водни капки. Плътността му варира между $300\text{--}600\text{ kg/m}^3$, но може да достигне и до 700 kg/m^3 . Отлагането от мокър сняг по проводници, също както при зърнестия скреж, може да бъде цилиндрично или аксиално откъм наветрената страна. Първоначално мокрият сняг се натрупва по наветрената страна и впоследствие под действието на гравитацията при слабо сцепление на отлагането с повърхността на проводника се плъзга надолу, или при силно сцепление и слабо съпротивление на усукване на последния се получава първоначално усукване, което от своя страна води до излагане на нова част от проводника на въздействието на носещия поток и образуване на ново отлагане върху тази част и съответно ново завъртане, включително и под въздействието на аеродинамичното съпротивление върху вече образуваното се несиметрично до момента отлагане. Този процес се повтаря многократно до образуването в крайна сметка на равномерно цилиндрично отлагане по почти цялата дължина на проводника. Това е представено на фигура 1. Теоретично това нарастване е неограничено при продължаващ валеж от мокър сняг, но практически се ограничава, когато отлагането стане много голямо и се разрушава под действието на силите на вятъра и тежестта. Единствено в краищата на проводника, които са захванати неподвижно на носещите кули, или когато по други причини не е позволено въртене на проводника около оста му, се образува едностранно и ограничено по размери отлагане върху наветрената страна. Разликата в двата механизма е илюстрирана на фиг. 2, където са представени резултатите от лабораторните тестове на Дейл и Адмирал [1] за нарастването от мокър сняг върху свободно въртящ се (с) и върху неподвижен (d) проводник за време от 2 часа.



Фиг. 1. Схематично нарастването на отлагането от мокър сняг (от Адмирал в [26])

Най-застрашени от преохладени валежи са северните страни като САЩ, Канада, Финландия и др., но и някои по-южни географски райони като България, Словения, Хърватия. Мокрият сняг е типичен за Япония, Франция, Исландия, Великобритания и Норвегия, а у нас ежегодно се наблюдава в Родопите и по-рядко в Югоизточна и Северозападна България. Заскрежаването е

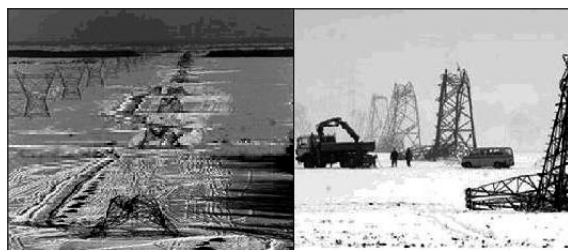


Фиг. 2. Снимки от част от експериментите на Дейл и Адмирал [1]

редовно наблюдавано явление в скандинавските страни, Русия, Украйна, Германия, Словакия и др., най-често в хълмисти равнини и планински райони, разположени близо до големи водни басейни. В България тези райони също се характеризират с извънредно силни и продължителни заскрежавания, причинени от гъсти адвективни* облачни системи или приземни мъгли с високи влажност и скорост на вятъра. Най-големите измерени досега у нас отлагания от зърнест скреж са на Черни връх (1966 г.) и на Ботев връх (1976 г.), а районите на Франгенското, Лудогорското и Добруджанското плато и Самуиловите височини в североизточната част на страната са следващите по суровост на заскрежаването.

Въздействия от обледяването и социално-икономически последици

Основните ефекти от обледяването са нарастване на преките вертикални натоварвания от отлагания върху конструкцията лед и на аеродинамичното ѝ съпротивление заради увеличената и с променен от леда профил площ. Ако обледяването е силно и продължително, може да причини сериозни щети, така че целият икономически и социален живот в засегнатия район да бъде сериозно затруднен и дори да застраши живота на хората. По данни на Националната метеорологична служба на САЩ за периода 1990-1998 ледени бури са нанесли щети за повече от 2 милиарда долара, причинили са близо 3000 наранявания и 69 смъртни случая (www.nws.noaa.gov/om/hazstats.htm). Една малка част от примерите за такива сурови приземни обледявания са опустошителните ледени бури в североизточните райони на Америка и Югоизточна Канада през януари 1998 и 2014 г., аварийните обледявания в България през януари 1969, 1971 и 1987 г., февруари 1979, 1986 и 1998 г., март 1969 и 1984 г., ноември 1988 и 1998 г. и декември 1995 и 1996 г., както и тежкият мокър сняг през зимата на 2011/2012 г., силната снежна буря в Германия от 2005 г., екстремният преохладен валеж в Словения и Хърватия през февруари 2014 г. и като най-актуален случай – поледицата в Северозападна България през декември 2014 г., почти всички от които предизвикали обявяването на бедствено положение (на фигури 3 и 4 са показани част от тези примери).



Фиг. 3. Аварии след поледица в Канада (ляво), януари 1998; и след мокър сняг в Германия (дясно), ноември 2005 г.

Най-засегнати от обледяването са електропреносните мрежи, тъй като те покриват най-големи площи – съизмерими с площите на дадената страна, и съответно са най-изложени на метеорологични въздействия.

При въздушния транспорт дори и не особено силно обледяване може да застраши безопасността на полета, защото променя съществено аеродинамичните характеристики на

* Адвекция – атмосферен процес, свързан с хоризонтално преместване на въздуха (бел. ред.).

летателното средство или пък пречи на нормалното функциониране на различни датчици за външна информация. В авиационната история има редица регистрирани случаи на инциденти, включително фатални, свързани с обледяване. В случая с полет F444 на Air France от 02.06.2009 г. тъкмо обледяване (на датчиците за скоростта), макар и не силно, е първопричината за възникналите проблеми с управлението на самолета, довели до разбиването му.



Фиг. 4. Поледица в района на гр. Суворово (ляво), 03.02.1986; и в Словения (дясно), февруари 2014 г.

Подобно е и влиянието на обледяването върху бурноразвиващото се в последните години производство на електричество от силата на вятъра. И тук обледяването променя геометрията на перките на вятърните турбини, понякога до такава степен, че може да доведе дори до повредата им, ако не се изключат навреме, защото отложените лед внася силни динамични ефекти, които могат да нарушат равномерното им въртливо движение. Обледяването блокира и работата на сензорите за скоростта на вятъра, а периодите с продължителни обледяващи процеси намаляват съществено пълноценното използване на енергийния потенциал на вятъра.

Други чувствителни към обледяването технически конструкции са: телекомуникационни мачти, ретранслаторни кули, антени и антенни съоръжения, лифтове и въжени линии, въздушните електрически линии на железопътния и пътните настилки на шосейния транспорт. Обледяването влияе не само на безопасността и нормалното функциониране на техническите съоръжения и конструкции, но и например на аграрния сектор, най-вече на горски, овощни и лозови масиви и високопланински пасбища.

Освен преките вертикални натоварвания и промяната на аеродинамиката на обледената конструкция са възможни и следните допълнителни въздействия от обледяване: слаби или силни резонансни трептения на проводниците („игра” или „галопиране” съответно), заради голяма аеродинамична неустойчивост на въздушния поток при обледяване с несиметрична форма; възникване на напречни на посоката на вятъра трептения при напълно обледени мачти и кули; предизвикване на късо съединение през образуваната ледена маса или чрез „играта” на проводниците; пораждаването на силни динамични ефекти и напрежения в конструкцията заради внезапното падане на част от натрупания лед; директни щети заради паднал лед.

Трябва да се спомене и за две положителни страни на обледяването. Първата е приносът му във водния баланс на дадено място. В много райони, където през зимата заскрежаването е често срещано и със силна интензивност и голяма продължителност, количеството вода от него може да превиши значително месечната или сезонната сума на валежа. Втората е, че чрез специализирани измервания на заскрежаването може да се получи много точна информация за медианния обемен диаметър на капчиците на преохладен облак и неговото водно съдържание.

Развитие на изследванията по обледяване

Първите изследвания върху обледяването започват още в началото на миналия век. Немският учен Мейнардус е първият, който установява условията за преохладени (замръзващи) валежи, изследвайки една ледена буря от 1898 г. в Германия. Използвайки информация от високопланински метеорологични станции за разкриване на термодинамичния вертикален профил, той открива във височина топъл влажен въздух с температура над 0 °C и с влажност, близка до наситено състояние, разположен над студен приземен слой въздух с отрицателна температура. Мейнардус заключава, че в топлия въздушен слой трябва да има достатъчно силни възходящи движения, които водят до кондензация на водната пара и нарастване на облачните капки до валежни, а образуваният валеж се преохлажда в по-долния студен слой и замръзва при контакт с обектите на земната повърхност. До подобни изводи малко по-късно достигат и други изследователи. В следващите около 50 години усилията са насочени предимно към разкриване на детайлната синоптична структура и климатологичните характеристики на преохладените валежи, някои прости зависимости за определяне суровостта им и оценка на икономическия ефект, който оказват, към разработването на прогностични схеми и на експериментални и теоретични модели за симулация на процеса и оценка на ледените отлагания.

Първите проучвания и наблюдения на мокрия сняг започват във Франция и Япония като едни от най-засегнатите от това явление страни. През 1953 се появяват първите научни описания на механизма на отлагане на сух и мокър сняг, а японски и френски изследователи стават водещите учени в тази област. През 1965 Вакахама [2] представя метаморфозата на снега при температура, близка до точката на топене, а по-късно екип под негово ръководство провежда първи експериментални проучвания на мокрия сняг във ветрови тунел и полеви условия. През 1973 излиза теорията на Колбек [3] за метаморфоза на мокрия сняг, а през 1982 Колбек и Екли [4] представят на Първия международен семинар по атмосферно обледяване на конструкции (IWAS) механизма на свързващите сили в процеса на обледяване от мокър сняг. През следващите години в специализираната литература се появяват и първите предложения за опростени модели на отлагане на мокър сняг, както и техни актуални подобрения.

Историята на заскрежаването също започва в началото на миналия век с работите за наблюдението и измерването му. Силно развитие тези две дейности получават в бившия СССР през миналия век, когато са организирани редица станции за специални експериментални изследвания на обледяването. Ценен принос както към практическия наблюдателен опит, така и към теоретичното описание на процеса дават специалните изследвания на обледяването в приземния слой до 300 m, провеждани на височинната мачта към Института по експериментална метеорология в Обинск и на телевизионната кула Останкино в Москва. През втората половина на века започват и първите опити за количествена оценка на интензивността на процеса на заскрежаване, като първите резултати са опростени зависимости, получени чрез статистически анализ на експериментални измервания.

Важен катализатор за по-нататъшното интензифициране на изследванията по обледяване на приземни стационарни обекти стават постиженията в теоретичното описание на обледяването на самолети, нарастването на градови зърна и изобщо във

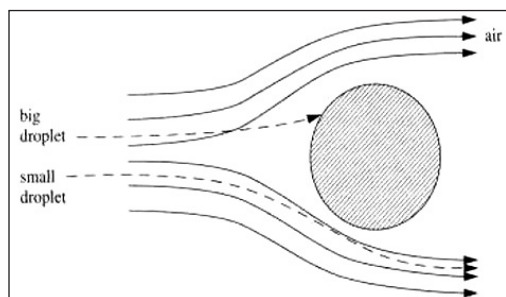
физиката на облаците. През 1946 г. се появява основополагащото изследване на Ленгмюр и Блоджет [5] за траекториите на водни капчици, където се дефинира и оценява **коефициентът (или ефикасността) на сблъскване**, а няколко години по-късно и работата на Мазин [6] за обледяване на самолети. През 1938 г. Шуман [7] дава първото количествено описание на нарастване на градови зърна, а през 50-те и 60-те години, доразвивайки тази теория, Лъдлъм [8, 9, 10], Месиндер [11], Маклин, Пайне [12, 13], Лист [14, 15] публикуват важни теоретични и експериментални студии за топлинния баланс, температурата на ледена повърхност при отлагане върху нея на преохладени водни капчици и плътността и структурата на отлагането. Лъдлъм [10] въвежда термините **критично водно съдържание** и **сух и мокър режим на нарастване**. През 1961 г. Маклин изследва структурата на ледените отлагания и извежда емпирична зависимост за определяне на плътността им, основната част от която по-късно добива официално наименование като **параметър на Маклин**. От изследванията най-вече на Лист [16], Вакахам и колектив [17] и др. върху процесите на отскачане на отлагащите се или на откъсване на отложени се частици (ледени кристали, преохладени водни капки или мокри снежинки) се оформя дефиницията за **коефициент (ефикасност) на прилепване**. Базирайки се основно на споменатите разработки за топлинния баланс и интензивността на нарастване на градови зърна, Макконен [18] въвежда в теорията на приземното обледяване и термина **коефициент (ефикасност) на нарастването**.

Физически основи на процеса на обледяване

Интензивността на процеса на обледяване – изменението на масата на отлагането за единица време – се определя на първо място от количеството водно съдържание във въздуха и от скоростта на частиците (капки или снежинки) спрямо обекта. Максималното водно съдържание във въздушния поток, което би могло да се отложи за единица време на единица площ от повърхността на препятствието, перпендикулярна спрямо въздушния поток, се дава от wV – т. нар. **плътност на потока** вода ($\text{kg/m}^2\text{s}$). Тази потенциална максимална интензивност се намалява от три фактора. Част от капките – тези с малки размери, се отклоняват заедно с въздушната струя от препятствието и минават покрай него (фиг. 5.). Друг фактор, който може да намали интензивността на обледяването, са процесите на отскачане на отлагащи се частици или откъсването на вече отложени се и замръзнали капки. Появата на воден филм при трансформация на процеса от сух в мокър режим, която може да настъпи както при нарастване на температурата на въздуха, така и при увеличаване плътността на потока, също променя значително интензивността на процеса. Освен това в този случай са възможни и загуби поради оттичане на незамръзнала вода или отдухването ѝ от повърхността на обекта, когато силите на повърхностно напрежение станат по-малки от гравитацията и вятъра. Така реалното изменение на масата за единица време се описва от формулата:

$$I = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 w V A,$$

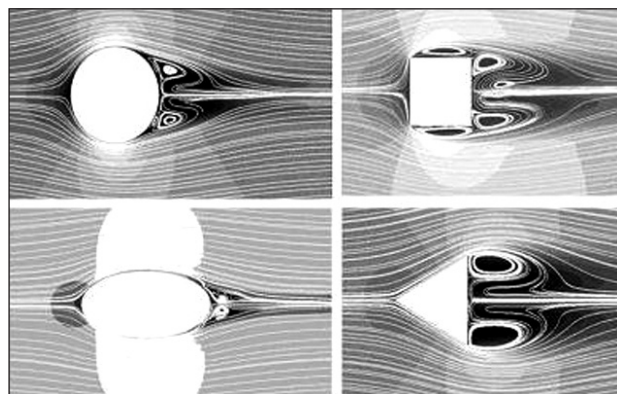
където w е в kg/m^3 , A е напречното сечение на площта на препятствието в m^2 , а V_{imp} (m/s) е скоростта на частиците, трите α са коефициенти със стойности между 0 и 1,



Фиг. 5. Токови линии на въздуха и траектории на капки около цилиндър

авиационното обледяване и имат за цел да установят колко и къде по повърхността, най-вече на крилата, ще се отложат преохладените облачни капчици, предизвикващи обледяване. Най-пълна теоретична обосновка на проблема и най-точни изчисления правят Ленгмюр-Блоджет и Мазин.

С помощта на два безразмерни параметъра (K и ϕ) Ленгмюр и Блоджет представят своите резултати, без да е нужно да знаят размера на капчиците. Освен това те им позволяват да решат и обратната задача – чрез измерване на скоростта и количеството на отлагане на скреж върху въртящи се цилиндри с различни диаметри, т. нар. RMC-метод (Rotating Multicylinder method), да се определят радиусите на капчиците в облака или мъглата, предизвикали заскрежаването (т.е. обледяване от сух процес), както и тяхната водност. Авторите дефинират **ефикасност на отлагането E** , **максималния ъгъл θ_M** , зад който не може да има отлагане при дадена стойност на K , **зона на отлагане**, която лежи между $\pm \theta_M$ и **тотална ефективност на отлагането E_M** , отнасяща се за съответната зона. Няколко други емпирични оценки на базата на табулираните данни на споменатите изследователи за ефикасността на сблъскване са правени през годините след това. Последно Финстад и колектив [19] преизчисляват наново траекториите на



Фиг. 6. Токови линии около различни по форма обекти (от [21])

капки, които отразяват трите фактора на намаляване на интензивността: α_1 е ефикасността на сблъскване; α_2 е ефикасността на прилепване, а α_3 е ефикасността на нарастване.

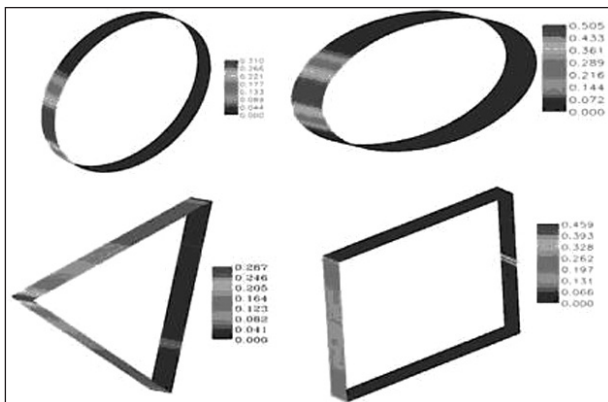
Ефикасност на сблъсъците

Основополагащите открития по този проблем датират от 40-те години на миналия век, когато излизат работите на Тейлор, Глауерт, и Ленгмюр и Блоджет [5], както и монографията на Мазин през 1957 [6]. Всички тези изследвания са свързани с

капчиците, интегрирайки числено с помощта на компютър уравненията на движение и работейки с подобрена формулировка за коефициента на съпротивление на сфера. През 1987 г. Макконен и Сталабрас [20] провеждат експериментална проверка на предложената апроксимация, изследвайки в тунел за обледяване три категории данни и показват, че експерименталните резултати съвпадат с теоретичните, с коефициент на корелация от 0.99.

През 2011 г. Вирк [21], използ-

вайки съвременни изчислителни методи, оценява обтичането, коефициента на сблъскване и формата на отлагането върху тела с четири основни геометрични форми на напречното сечение – кръг, елипса, квадрат и триъгълник. Неговите изследвания потвърждават правилността на изводите на Ленгмюр и Блоджет [5]. На фиг. 6 са показани графичните резултати на Вирк за характера на въздушния поток при обтичането на четирите форми, а на фиг. 7 – за местоположението и стойностите на коефициента на сблъскване.



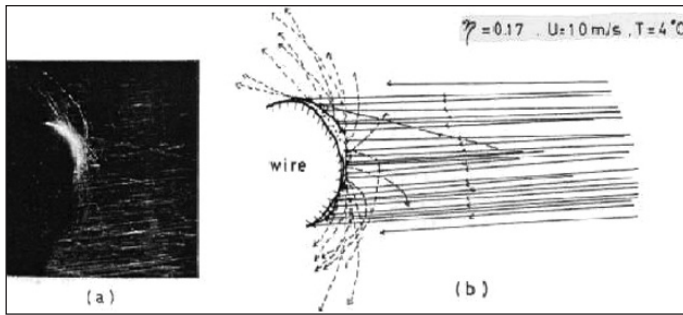
Фиг. 7. Местоположение и стойности на коефициента на сблъскване за различни по форма обекти (от [21])

Авторът обръща внимание, че макар и стойностите на коефициента на сблъскване да са най-малки за триъгълното и квадратното сечение, разпределението му по повърхностите им (т.е. зоната на отлагане) е по-голямо от това на кръга и елипсата и обхваща дори и части от подветрените зони.

Описаните дотук резултати за коефициента на сблъскване се отнасят най-вече за облачно обледяване. За дъждовните капки и снежинките обикновено се приема, че α_1 е единица, но движението на снежинки все още не е така добре изучено.

Ефикасност на прилепването

Този коефициент може да се дефинира като отношението между капките или снежинките, които остават на повърхността на обекта, и тези, които са се сблъскали с нея. Една частица се приема за прилепнала към повърхността, ако тя остава постоянно там през целия процес на обледяване или ако времето ѝ на престой е достатъчно голямо, за да повлияе интензивността на процеса. Възможните загуби се дължат на процеси на отскачане на отлагащата се частица или на фрагменти от нея, както и на отчупване на парченца лед от вече заледилата се повърхност. Ефикасността на прилепване зависи от водното съдържание на частиците, тяхната скорост при удрянето, температурата и относителната влажност на въздуха, както и от състоянието на повърхността, която се обледява. Сухи снежинки отскачат почти напълно от суха повърхност. Течните водни капки не отскачат, но са възможни загуби от раздробяване. Тези процеси обаче са пренебрежими, когато става дума за облачни и ръмежни капчици, и тогава по принцип се приема, че $\alpha_2 = 1$. За мокрите снежинки също се е смятало, че не отскачат, но Вакахама и колектив [12] доказват обратното, като фотографират с помощта на бърза камера и насочена стробоскопска светлина траекториите им и показват, че процентът на отскачащи снежинки може да достигне повече от 80%. Това зависи от тяхното водно съдържание. Ако са напълно сухи, както бе казано, те отскачат почти напълно



Фиг. 8. Снимка (a) и схема (b) на траекториите на снежинки от повърхността на цилиндър с диаметър 4 cm, при скорост на вятъра 10 m/s, температура на въздуха 4°C и коефициент на прилепване 17% (в случая означен с η)

и α_2 клони към нула. Ако по тяхната повърхност се появи воден слой, тогава ефикасността им на прилепване нараства. Вакахама показва и че тази ефикасност зависи от диаметъра на обекта и скоростта на снежинките, като намалява с увеличаване на диаметъра (напречното сечение) на обекта и с увеличаване на скоростта на снежинките. На фиг. 8 по-долу са представени снимка

и схема на отскачането на снежинки, взети от оригиналната работа на Вакахама конкретно за цитираното отскачане от 83%.

Досега процесът на прилепване на снежинки все още не е добре изучен теоретично и съществуват само емпирични оценки на базата на лабораторни експерименти или експедиционни измервания. Най-използваната и най-простата апроксимация на този коефициент е посредством скоростта им. В последващите години бяха предложени още няколко емпирични апроксимации на ефикасността на прилепване, които се опитват да отчетат количествено влиянието на вятъра, размерите на обекта и температурата на въздуха.

Сух и мокър режим на нарастване

Според режима на натрупване на лед процесът на обледяване може да протече по два различни механизма – сух и мокър.

Теоретичните разработки на Шуман [13] и Лъдлъм [8, 9, 10] показват, че температурата на леденото отлагане, получаващо се при замръзване на преохладени водни капки, нараства над тази на околния въздух заради освободената при това скрита топлина. Впоследствие това се доказва и експериментално. Температурата на отлагането се определя от обмена на топлина между неговата повърхност, идващите капки и околната среда. Тъй като температурата му не може да превиши 0°C при зададени температура на въздуха, скорост на вятъра и размери на обекта, съществува гранична стойност на количеството течна вода, която може да замръзне при отлагане. Ако отлагащото се течно водно съдържание във въздуха е по-голямо от тази стойност, по повърхността на отлагането се образува течен воден слой. Тази незамръзнала вода се смесва с леда и структурата на отлагането става гъбеста. Лъдлъм [10] класифицира тези механизми като **сух** и **мокър режим** на нарастване при обледяване.

Сух режим на нарастване

При сухия режим на нарастване всички отлагащи се преохладени водни капчици

замръзват при съприкосновение с повърхността на обекта. Освободената при замръзване на една капчица латентна топлина се отвежда от повърхността, преди да е дошла следващата капчица. Температурата на леденото отлагане остава под 0°C , което позволява по-нататъшен пренос на топлина от капчиците към него. Това е представено схематично на фиг. 9.

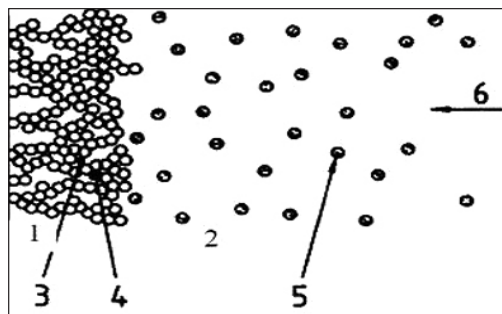
При този режим на нарастване на лед α_3 е единица, а обледяването се нарича заскрежаване.

Мокър режим на нарастване

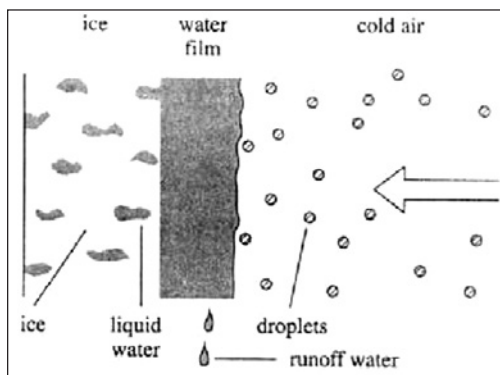
Мокрият режим на нарастване на леда настъпва, когато времето на замръзване на една капчица е достатъчно дълго, така че отделената топлина не може изцяло да бъде отдадена от повърхността, преди да е дошла следващата капчица. Температурата на ледената повърхност нараства до 0°C и вече не е възможен пренос на топлина към отлагането. Тогава се образува воден слой по обледяващата се повърхност, част от който постепенно бива интегриран в отлагането, а друга изтича извън отлагането. Структурата на отлагането може да бъде от гъбеста скрежовидна до чист прозрачен лед. В този случай $\alpha_3 < 1$. Този процес е представен схематично на фиг. 10.

Образуване на ледени висулки

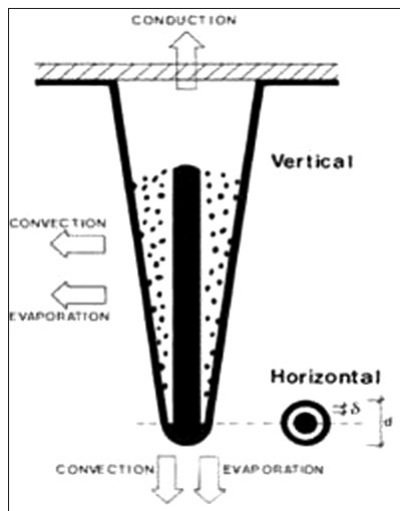
Ледени висулки се образуват при обледяване от преохладени валежи, когато притокът на вода е голям, режимът на нарастване става мокър и част от незамръзналата вода започва да се натрупва по долната част на обекта. Макконен [22] показва, че единственият възможен механизъм на нарастване на ледените висулки, който да обяснява огромната разлика между вертикалната им скорост на нарастване (дължината им) и хоризонталната такава (дебелината им) – между 10 и 30 пъти – е този, при който не цялата вода във висящата капка замръзва, а върхът на висулката расте само като тънка вертикална ледена тръбичка вътре в тази капка – фиг. 11. Вътрешността на тази тръбичка е пълна с незамръзнала вода, дебелината на стеничката е по-малка от $100\ \mu\text{m}$ и има постоянен диаметър, равен на диаметъра на ледената висулка при върха. Замръзването на водата във вътрешността на образувалата се тръбичка е възможно



Фиг. 9. Схематично представяне на сух процес на обледяване. 1 – скреж; 2 – студен въздух; 3 – въздух; 4 – лед; 5 – капчици; 6 – посока на вятъра. (от Makkonen 2000)



Фиг. 10. Схематично представяне на мокрия режим на обледяване



Фиг. 11. Схематично представяне на ледена висулка (от [22]); черният цвят е за вода, а белите полета – за лед

чрез топлоотдаване само нагоре към проводника през основата на ледената висулка, ако продължава притокът на незамръзнала вода по повърхността на висулката. Когато този приток спре, тогава е възможно замръзване на тази вода и чрез топлоотдаване през стените на висулката към околния въздух.

Ефикасност на нарастването

Последният коефициент α_3 – **ефикасността на нарастване** – се дефинира като отношението на интензивността на обледяването към плътността на потока капки или снежинки, които са се прилепили към повърхността на обекта. Този коефициент е различен за двата режима на нарастване. При сухия процес и облачното обледяване всички отложени се капчици замръзват и α_3 е единица. При мокрия процес не всички постъпващи капчици замръзват, образува се воден филм от незамръзналата вода, част от който постепенно се вражда в структурата на образуващия се лед, а друга бива издухвана от вятъра или изтича навън. В този случай α_3 може да бъде определен само чрез топлинния баланс на обледяващата се повърхност.

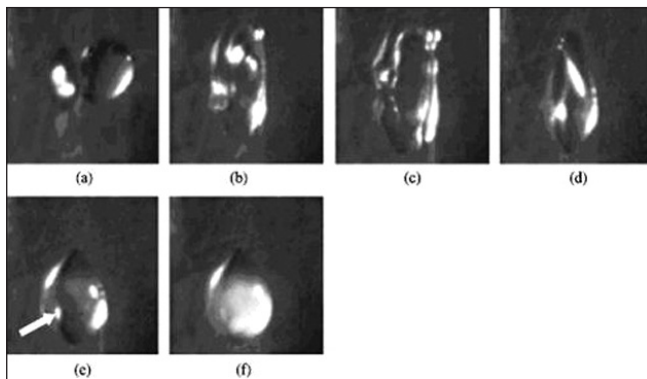
Структура и плътност на ледените отлагания. Параметър на Маклин

Скреж

Първите по-задълбочени изследвания върху зависимостта на плътността от редица метеорологични величини и размерите на обекта се правят през 40-те години на миналия век от Лангмюр други учени във високопланинската метеорологична обсерватория на вр. Вашингтон по метода на въртящите се мултицилиндри, но недостатъчният обем измервания води до непълни и противоречиви резултати. През 1961 г. Маклин [12] подробно изследва в лабораторни условия влиянието на скоростта на вятъра, температурата на въздуха, преохладеното водно съдържание и размерите на капчиците и препятствието върху плътността на заскрежаването, както и неговата структура под микроскоп. След проведените експерименти и анализи Маклин установява, че плътността може да бъде изразена като функция на средната температура на обледяващата се повърхност и произведението на обемния медианен радиус на капчиците с тяхната скорост при отлагането им върху препятствието и предлага експериментална формула, която поради много добрите си резултати се налага широко, а основната част от нея бива наречена **параметър на Маклин**. След това Маклин търси физическа интерпретация на откритата зависимост, като изследва вътрешната структура на отлаганията, получени при различни условия. Той заключава, че плътността на отлаганията се определя най-вече от импулса на

капчиците и температурата на повърхността на отлагането, която влияе на скоростта на замръзването им. Така в неговата формула въпросният параметър трябва да се интерпретира като израз на импулса на капчиците и отразява силата, с която те се натрупват по повърхността. Ако температурата на обледяващата се повърхност е ниска, както и скоростта на капчиците при удара, а техният радиус малък, то времето, необходимо за пълното им замръзване, ще бъде достатъчно кратко, така че всички капчици ще замръзнат на мястото на контакт с обекта, при това запазвайки сферичната си форма. В обратния случай, ако тази температура и скоростта на капчиците са високи, а радиусът им голям, то времето за замръзване ще е дълго и силата на свързване, която се появява, ще е недостатъчна, за да компенсира импулса им. Така капчиците ще започнат да се сплескват и разстилат, преди да замръзнат. За оценка на това Маклин въвежда фактора на разстилане, дефиниран като отношението на крайния диаметър на капчицата към първоначалния. Маклин оценява и времето на замръзване на капчиците в зависимост от техните размери и температурата на повърхността на обекта T_s . Например времето за замръзване на капчица с радиус 25 μ при температура T_s от -24.5°C и тази на въздуха -29.5°C и скорост $V_0 = 11\text{ m/s}$ е 0.2 s, а за капчица с радиус 50 μ и същите други условия е 0.7 s.

Сегашното развитие на науката и технологиите позволява детайлни наблюдения и изследвания на процесите на обледяване на микрофизично ниво, които често не само потвърждават изведените досега резултати, но дори визуализират тези взаимодействия. Един такъв пример е експерименталното изследване на Фумото и Каванами [23] от 2012 г. на замръзването на преохладени водни капки при сблъскването им с твърда повърхност с различни характеристики (температура, грапавост и наличие на воден филм). Те не само наблюдават очакваното от Маклин теоретично първоначално повишение на температурите на преохладените водни капки до 0°C и последващото им побавно изстиване, но и фотографите им показват, че капките замръзват, като запазват първоначалната си сферична форма, когато температурата е под -10°C и подложната повърхност е гладка. Една от техните серии от последователни снимки е показана на следващата фигура. Трябва да се уточни, че използваните в тези експерименти капки са с голям размер



Фиг. 12. Етапи на сблъскване и замръзване на преохладена водна капка ($D = 2.67\text{ mm}$) върху гладка повърхност (R_a – мярка за повърхностните неравности $= 1.1\text{ }\mu\text{m}$) при скорост на вятъра 2.2 m/s, температура на подложната повърхност и на въздушния поток от -10.1°C . (a) 0 ms, (b) 1 ms, (c) 3 ms, (d) 8 ms, (e) 40 ms, (f) 177 ms (от [23])

– диаметър от 2.67 mm, а подложната повърхност – плоска пластина, поради което тук се наблюдава и пълно сплескване на капката и последващо възстановяване на формата – нещо, което не е описано от Маклин, най-вероятно заради невъзможност да се наблюдава такъв бърз процес от порядъка на няколко ms без подходящата техника, каквато тогава още не е била изобретена (времената на отделните снимки са дадени в текста към фотографията).

Мокър сняг и поледица

Структурата на мокрия сняг се различава съществено от тази на другите ледени отлагания. Мокрият сняг е резултат от бързата метаморфоза на сухите снежинки, образувани в преохладени облаци високо в атмосферата, при тяхното падане надолу и навлизането им във въздушен слой с положителна температура. Падащите снежинки започват да се топят и да губят хексагоналната си кристална структура, а по повърхността им се появява воден слой. Образува се смес от ледени гранули, вода и въздушни мехурчета [1]. При това настъпва бърза трансформация на първоначалните слаби механични връзки между снежните кристали в силни капилярни връзки, което прави мокрия сняг силноприлепващ към всякакви нехидрофобни повърхности. Поставени при температура 0 °C и без други въздействия, снежните кристали претърпяват трансформацията си за няколко десетки часа; при падане през положителна температура – за няколко минути, а при въздействието и на вятър – само за няколко секунди. Първи този процес описват Вакахама [2] и Колбек [3].

За плътността на мокрия сняг не е правено изследване, подобно на това на Маклин [12], а само някои експериментални оценки.

Поледицата и ледените висулки винаги се оценяват с плътност 0.9 g/cm³.

Екстремни обледявания

Най-големи обледявания се получават обикновено в планински райони, където често се наблюдават кумулативни процеси на отлагане. По наветрените склонове на планините обледяването расте както с надморската височина, така и с височината над терена. По такива места се регистрират едни от най-големите обледявания. Като потвърждение на влиянието на големи водни басейни може да се разглежда примерът със станция Монте Симоне (2165 m) в Италия, приведен у Шауб [24], според който дебелината на максималните годишни отлагания при обледявания в този район за периода 1971-78 г. са били между 130 и 150 cm.

Други подобни планински райони със силни обледявания са вр. Брокен – най-високият връх в планината Харц, Германия, с надморска височина 1141 m и изпъкналост от 856 m. Тук има сведения за скорост на нарастване от 50 cm за 24 часа и едно отлагане от близо 3 m, но това не е документирано.

Шауб цитира още едно екстремно обледяване в района на метеорологичната обсерватория на вр. Вашингтон (1917 m) в Белите планини, САЩ, през януари 1956 г., който дава сведения за дебелина на отлагането от 6 до 8 cm скреж в основата на сградите и около 180 cm на височината на 30-метрова кула.

Руднева [25] споменава за отлагане с маса 47 kg/m на склоновете на планината Бештау (1400 m) през 1954 г.

В България най-силните заскрежавания са тези в районите на вр. Ботев и Черни връх с тегло около 53 kg/m и голям диаметър 66 cm (за Черни връх), измерени върху телефонен кабел на височина около 2 m над земната повърхност.

Най-голямо документирано досега обледяване на проводник е от 18.04.1961 г. на 1400 m надморска височина в планината Лонахорги, северно от гр. Вос, Норвегия. За размера на отлагането от скреж може да се съди по приложения по-долу снимков материал (фиг. 13), а масата му е била 305 kg/m .

Оценка на обледяването

Поради трудностите, натоварванията и опасностите, които явлението предизвиква, във всеки един от изброените в началото икономически сектори има нужда от надеждна информация за него. Тя може да се раздели основно на следните типове: климатологична – за честотата и продължителността на явлението; нормативна – за възможните натоварвания от лед с различен период на повторение; и краткосрочна – за очакваната поява на явлението и неговата интензивност. За производството на електрическа енергия от ВЕИ например са важни първият и последният тип информация, за авиацията най-вече последният, а нормативната е задължителна при строителството и експлоатацията на различни конструкции и съоръжения. Тъй като регулярни измервания на обледяването са рядкост, най-често подобни оценки се правят косвено с помощта на теоретичен или експериментален модел на обледяване. Постигнатият напредък в изследването и моделирането на процеса, част от който бе представен накратко в настоящата статия, както и навлизането на компютърните технологии, позволиха създаването на такива модели. Подробен преглед на постиженията в моделирането на процеса на приземното обледяване е направено в работите на Путс [27], Макконен [28], Лозовски и Макконен [29], а на авиационното обледяване – у Джент [30].

Литература

1. Dalle, B. and P. Admirat, Wet snow accretion on overhead lines with French report of experience, Cold Regions Science and Technology, 2011, 65, 43-51.



Фиг. 13. Заскрежаване на 20 kV електропровод в планината Лонахорги, над гр. Вос, Норвегия – най-голямото досега измерено и документирано натоварване от обледяване – 305 kg/m (фотограф Олав Вист; снимките са любезно предоставени от Свейн Фике)

2. Wakahama, G., Metamorphosis of wet snow. Institute of Low Temperature Sciences, Hokkaido, 1965, series A, 23, 51–66.
3. Colbeck S. C., Theory of metamorphism of wet snow. Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hannover, N.H., USA, 1973.
4. Colbeck S.C. and Ackley, S.F., Mechanisms for icebonding in wet snow accretions on power lines. First Int. Workshop Atmospheric Icing of Structures, Hanover, N.H., U.S. Army CRREL Spec. Rep., 1983, 83-17, 25-30.
5. Langmuir, I. and K. B. Blodgett, A mathematical investigation of water droplet trajectories. In Collected works of Irving Langmuir, Pergamon press, Oxford, 1946, vol. 10, 335-393.
6. Мазин И. П. Физические основы обледенения самолетов, М., Гидрометеониздат, 1957.
7. Schumann, T.E.W., The theory of hailstone formation, Q.Jl.R.Met. Soc., 1938, 64, 3-21.
8. Ludlam, F. H. The composition of coagulation elements in cumulonimbus. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 1950, 76, 52.
9. Ludlam, F. H., The heat economy of a rimed cylinder. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 1951, 77, 663-666.
10. Ludlam, F. H., The hail problem. Nubila, 1958, 1, 13.
11. Messinger, B. L., Equilibrium temperature of an unheated icing surface as a function of air speed. J. Aeronaut. Sci., 1953, 20, 29-42.
12. Macklin, W. C., The density and structures of ice formed by accretion. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 1961, 88, 413-424.
13. Macklin, W. C. and G. S. Payne, A theoretical study of the ice accretion process. Quart. J. Roy. Meteor. Soc. 1967, 93, 195-213.
14. List, R., Zur Thermodynamik teilweise wässiger Hagelkörner. Z. angew. Math. Phys., 1960, 11, 273-306.
15. List, R., General heat and mass exchange of spherical hailstones. J. Atmos. Sci., 1963, 20, 189-97.
16. List, R. Ice accretion on structures. J. Glaciol., 1977, 19, 451-465.
17. Wakahama, G., Kuroiwa, D. and Goto, K., Snow accretion on electric wires and its prevention. J. Glaciol., 1977, 19(81), 479-487.
18. Makkonen, L., Estimating intensity of atmospheric ice accretion on stationary structures. J. Appl. Meteor., 1981, 20, 595-600.
19. Finstad, K. J., E. P. Lozowski and E. M. Gates, A computational investigation of water droplet trajectories. J. Atmos. Oceanic Technol., 1987, 5, 160-170.
20. Makkonen, L. and J. R. Stallabrass, Experiments on cloud droplet collision efficiency of cylinder. J. Climate Appl. Meteor., 1987, 26, 1406-1411.
21. Virk M. S., Numerical Study of Atmospheric Ice Accretion on Various Geometric Cross-sections, Wind Engineering, 2011, Vol. 35, No. 5, PP 607-614.
22. Makkonen, L., A model of icicle growth. J. Glaciol., 1988, 34, 64-70.
23. Fumoto K. and K. Tsuyoshi, Study on Freezing Characteristics of Supercooled Water Droplets Impacting on Solid Surfaces, Journal of Adhesion Science and Technology, 2012, 26:4-5, 463-472.

24. Schub, W. R. Estimating accumulation on surface structures. USAF Environmental Technical Applications Center, 1995, 002.
25. Руднева А. В. Гололед и обледенение проводов на территории СССР. Л., Гидрометеиздат, 1961.
26. Farzaneh, M., Ed., Atmospheric Icing of Power Networks, Springer, Berlin, 2008, 320 p.
27. Poots, G., Ice and Snow Accretion on Structures. Research Studies Press., 1996, 338 p.
28. Makkonen, L., Models for the growth of rime, glaze, icicles and wet-snow on structures, Phil. Trans. R. Soc. A, London. 2000, 358, 2913-2939.
29. Lozowski E.P. and L. Makkonen, Fifty Years of Progress in Modelling the Accumulation of Atmospheric Ice on Power Network Equipment, 2005, 11-th IWAIS.
30. Gent R.W., Dart N.P. and J.T. Cansdale, Aircraft icing, Phil. Trans. R. Soc. London. A, 2000, 358, 2873-2911.

АБОНАМЕНТ И РАЗПРОСТРАНЕНИЕ

Абонамент за 1 година (4 книжки) – 16 лв., за пенсионери и студенти – 8 лв.
Ако желаете да се абонирате – пишете на worldofphysics@abv.bg

Броеве от списанието можете да намерите на следните места:

София

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

Варна

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

КВАНТОВИ ЧЕРНИ ДУПКИ

Георги (Гиа) Двали



Гиа Двали е професор по физика в Нюйоркския университет, Ню Йорк, и в университета „Лудвиг-Максимилиан“, Мюнхен. Той е и директор във Физическия институт „Макс Планк“, Мюнхен.

По средата между леките фундаментални обекти от физиката на частиците и масивните астрофизически черни дупки е светът на обекти, които улавят като в капан светлината, но не се подчиняват на законите на класическата физика.

Концепцията за черна дупка за първи път възниква в статията на английския математик Джон Мичел от май 1783 г. Мичел счита, че скоростта на излъчените от звезда частици на светлината се влияе от гравитационното привличане на звездата и на базата на скоростта на светлината, изчислена при тогавашното състояние на науката, заключава: „Цялата излъчена светлина от сфера, чиято плътност е равна на тази на Слънцето, и полудиааметър, надвишаващ този на Слънцето в пропорция 500:1 ...ще се върне обратно към сферата под действие на собствената си гравитация” [1]. Тринадесет години по-късно Пиер Симон Лаплас предлага независимо доказателство за съществуването на „невидими тела”, които могат да улавят в капан и да не пропускат светлината.

Според съвременната обща теория на относителността, сфера с маса **M** се превръща в черна дупка, която е капан за светлината, когато радиусът ѝ се свие до така наречения радиус на Шварцшилд $R=2GM/c^2$. Тук **G** е гравитационната константа на Нютон, **c** е скоростта на светлината, която оттук нататък ще положим равна на 1. Специалният радиус е наречен в чест на Карл Шварцшилд, пръв намерил решението на уравненията на Айнщайн от тип черна дупка. Интересно е, че както Нютоновите, така и релативистките уравнения водят до един и същ резултат за радиуса, съответстващ на улавянето на светлината в капан.

Класически (т.е. в нековантовия свят) черните дупки имат много забележителни свойства, на някои от които ще се спра накратко. Но ще се фокусирам главно върху квантовия свят, където ще разгледам следните ключови въпроси: Какво представляват квантово-механичните черни дупки? Колко малки и колко леки могат да бъдат те? Могат

ли да бъдат създадени в лабораторен експеримент? Като начало, нека да разгледаме как силата се предава в квантовата механика.

Гравитиращи гравитони

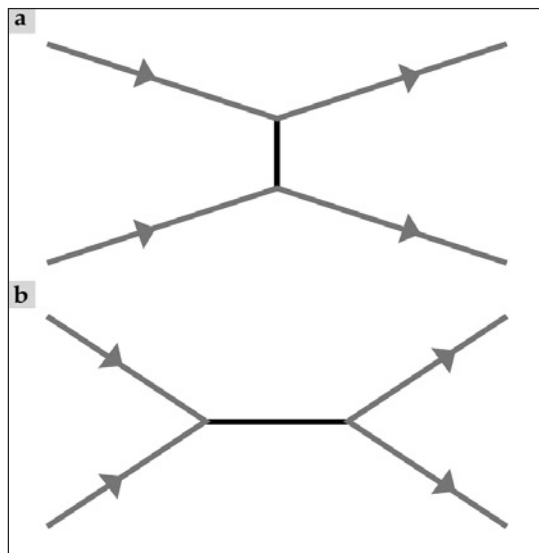
В класическата физика един начин да се въведе понятието сила е чрез понятието поле. Ако в полето поставим пробна частица, тя получава потенциална енергия, която се определя от местоположението на частицата – например пробна частица с маса m , намираща се на разстояние r от източник с маса M , има гравитационна потенциална енергия $V(r) = -GMm/r$. Пробната частица се стреми да се движи към места с по-ниска потенциална енергия – с други думи, частицата изпитва сила на привличане към масивния източник. За да дефинираме самото поле, трябва да се абстрахираме от пробната частица. Така гравитационното поле се дава с $V/m = -GM/r$. В мерни единици, за които скоростта на светлината е равна на 1, гравитационното поле е безразмерна величина.

В квантовата механика картината е напълно различна. Силата не възниква поради наличие на поле във всяка точка на пространството, а поради обмен на частица-медиатор (физиците наричат такива частици междинни бозони). Така например, фотоните са медиатори на електричната сила. Медиатори на гравитацията са безмасови частици със спин 2, които наричаме гравитони. В квантовата теория даже такива големи обекти като Земята и Луната се привличат поради обмен на гравитони.

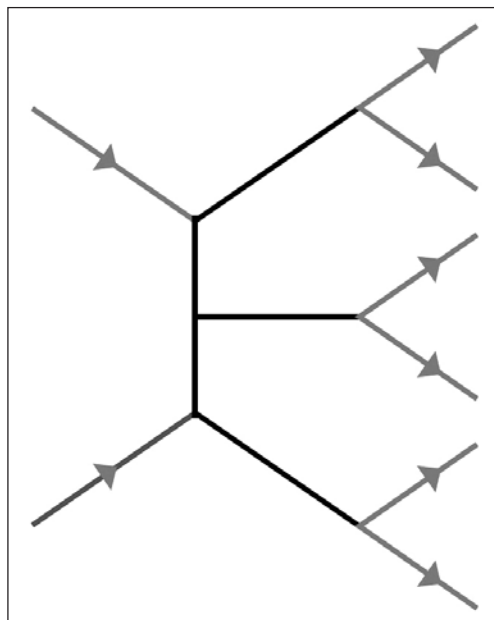
Когато системата може да се опише чрез статично гравитационно поле, гравитоните – медиатори на гравитационната сила по необходимост са виртуални частици, т.е. те не могат да бъдат детектирани като реални частици. Като следствие от това, процесите на емисия и адсорбция не се случват в добре дефинирани времеви моменти. Но в друг контекст, например при излъчване на гравитационни вълни от бинарен пулсар, се създават реални, детектируеми гравитони.

Теорията на относителността ни учи, че всеки източник с ненулева енергия създава гравитационно поле. В квантовата теория всеки такъв източник излъчва или поглъща гравитони. Това твърдение се отнася за всички източници, включително и за самите гравитони като преносители на енергия. Накратко, гравитоните гравитират.

Квантовият ефект едни гравитони да емитират и абсорбират други гравитони води до безкрайно много възможности. Например два гравитона могат да си обменят виртуален гравитон; в резултат на това импулсите и енергиите на двата начални гравитона се изменят. Друга възможност е двата гравитона отначало да се слеят в един гравитон, който впоследствие да се разпадне на двойка гравитони. Такива процеси на разсейване се изобразяват добре чрез диаграми на Файнман, показани на фиг. 1 и фиг. 2. Възможни са и твърде сложни диаграми на Файнман, представлящи процеси, които трудно се поддават на аналитично пресмятане. За щастие, в много от интересните за физиката случаи тези по-сложни процеси са по-малко вероятни и могат поради това да бъдат пренебрегнати.



Фигура 1. Гравитоните, които са преносители на гравитационната сила, взаимодействат помежду си чрез обмен на виртуални гравитони (такива гравитони, които не могат да бъдат измерени в лаборатория). Различните взаимодействия могат да бъдат изобразени чрез Файнманови диаграми като двете на фигурата; виртуалните гравитони са изобразени с черни линии. (а) два гравитона се разсейват посредством обмен на виртуален гравитон. (б) два гравитона се сливат в един виртуален гравитон, който впоследствие се разпада на два гравитона.



Фигура 2. Процеси с много взаимодействия се наричат процеси от по-висок порядък. Файнмановата диаграма изобразява два начални гравитона, които произвеждат шест крайни гравитона. Всяка точка на взаимодействие има принос към вероятността за процеса. При ниски енергии този принос е малък и процесите от по-висок порядък са потиснати. При високи енергии, обаче, тези процеси са важни.

Силни взаимодействия, малки черни дупки

Класическата гравитация е универсална сила, чиято величина е пропорционална на енергията на източника. Аналогично, в квантовата механика по-енергетичните гравитони взаимодействат по-силно. В квантовата теория силата на взаимодействието между елементарните частици (не само гравитони) може да бъде параметризирана от безразмерна величина, обикновено обозначавана с α , представляваща амплитудата на вероятността за промяна на енергиите и моментите на частиците при разсейване една от друга. Действителната вероятност за разсейване се дава от α^2 , така че силните взаимодействия имат по-голяма вероятност за разсейване. За електромагнитните взаимодействия тази вероятностна амплитуда е прочутата константа на фината структура, приблизително равна на $1/137$.

Строгото пресмятане на силата на взаимодействието α_g между гравитоните се получава в рамките на квантовата механика. Гравитоните могат да променят броя си като се сливат и раждат, тъй като са безмасови. Ето защо, пресмятането на α_g , основащо се на Нютоновото взаимодействие между два гравитона, би било непоучително. Единственият пункт, в който е нужно да се използва квантовата механика, е връзката между дължината на вълната на гравитона L и неговата енергия E : $E = \hbar/L$, където $\hbar$ е константата на Планк.

Ще опишем фиктивното Нютоново взаимодействие чрез Нютоново гравитационно поле – GM/r , чиято величина ще използваме за пресмятането на α_g . При пресмятане на полето ще заменим масата на източника M с $\hbar/L$ и ще положим разстоянието r равно на L , което е минималното разстояние, на което гравитон с дължина на вълната L може да бъде локализиран. Резултатът е $\alpha_g = \hbar G/L^2$. Ще положим $\hbar G = L_P^2$, за да направим явен безразмерния характер на α_g . Метричният мащаб L_P се нарича дължина на Планк и вероятно е най-фундаменталният мащаб в квантовата гравитация. Числено $L_P = 10^{-35}$ м. Съответната му маса (или енергия) $M_P = \hbar/L_P$ се нарича маса на Планк. Числено M_P е приблизително равна на 10^{-8} кг, колкото приблизително е масата на биологическа клетка.

Взаимодействието между гравитоните на макроскопично ниво е изключително слабо поради твърде малката стойност на дължината на Планк. Например, два гравитона с дължини на вълните, равни на 1 см, ще претърпят разсейване помежду си веднъж на 10^{14} години! Съответната константа на взаимодействие α_g е от порядък 10^{-66} . Поради такава слаба константа всички процеси от по-висок порядък по α_g , като изобразените на фиг. 2, са силно потиснати и могат да бъдат пренебрегнати. Теорията на пертурбациите по α_g , която генерира диаграмите на Файнман, става все по-ненадеждна с намаляване дължината на вълната на гравитона и за дължини от порядък L_P тя престава да бъде вярна.

В точката, в която теорията на пертурбациите престава да бъде вярна, взаимодействието между гравитоните става толкова силно, че вероятността два сблъскващи се гравитона да образуват свързано състояние клони към 1. Тези микроскопични състояния се наричат квантови микрочерни дупки. Техните свойства са някъде по средата между свойствата на квантовите елементарни частици и на макроскопичните черни дупки, без да принадлежат нито на едните, нито на другите. От една страна, те са силно гравитиращи обекти, от друга – квантовите им флуктуации са толкова силни, че не могат да бъдат описани в термини на класическа геометрия.

За да се разбере средното положение, което квантовите черни дупки заемат, нека да подходим към тях веднъж откъм царството на елементарните частици и веднъж откъм царството на класическите черни дупки. Ще започнем това пътешествие първо от света на елементарните частици. По пътя ще разберем защо L_P и M_P описват възможно най-малките и най-леките квантови черни дупки.

От квантови частици до черни дупки

На пръв поглед изглежда, че една масивна елементарна частица, каквато например е електронът, би трябвало да е черна дупка. Действително, ако частицата е елементарна,

изглежда логично да се предположи, че тя е точкова и има нулев размер. Но ако тя е масивна, тя има ненулев радиус на Шварцшилд и следователно е черна дупка.

Проблемът при такова разсъждение е, че в квантовата теория елементарна частица означава, че тя „не притежава вътрешна структура”. Обаче отсъствието на вътрешна структура съвсем не означава нулеви размери. Наистина, в квантовата механика на всяка форма на енергия, включително на маса на покой, съответства линеен размер и обратно, всеки краен линеен размер се асоциира с енергия. Така на частица с маса на покой m съответства долна граница на линейния размер на областта, в която тази частица е локализирана. Този размер се нарича Комптънова дължина и се дава с израза $L_C = \hbar/m$. Казано по друг начин, L_C е линейният мащаб, при който енергията на квантовите флуктуации става от порядъка на m .

Всеки опит електронът да бъде локализиран в пространствена област с размери, равни на електронния радиус на Шварцшилд, води до такава промяна на системата, след която тя не може да бъде наречена електрон.

За да усетим защо Комптъновата дължина поставя граница, нека си представим мислено, че наблюдаваме електрона под микроскоп с резолюция r . Според принципа за неопределеност на Хайзенберг минималният импулс, който трябва да предадем на електрона, е $\hbar/r$. Така, ако искаме да измерим местоположението на електрона с по-голяма точност от L_C , ще трябва да му придадем енергия, съизмерима или по-голяма от масата му на покой m .

Електронният радиус на Шварцшилд R е много по-малък от L_C и затова всеки опит да локализираме електрона в рамките на област с размери не по-големи от R ще причини такова изменение на системата, след което тя трудно би могла да се нарече електрон. За такова измерване е необходимо да предадем на електрона импулс от порядъка на 10^{40} GeV (еквивалентно, 10^{13} kg). Резултатът ще бъде частица с маса на покой от порядъка на Халеевата комета. Урокът от това мислено измерване е, че не е възможно да измерим електронния радиус на Шварцшилд R ; електронът не е черна дупка.

За да може една елементарна частица да бъде интерпретирана като черна дупка, тя трябва да е достатъчно тежка, така че нейната L_C да е съизмерима с радиуса ѝ на Шварцшилд R . Не е удивително, че това се случва точно за M_P , най-малката маса, за която R започва да има физически смисъл. Но тъй като L_C и L_P са съизмерими за тези най-леки черни дупки, за тях са важни квантовите гравитационни ефекти. Например, в близост до повърхността на квантовата черна дупка не е обосновано да се говори за геометрията на пространство-времето. По същия начин ще бъде грешка, ако към тези обекти използваме интуицията си, придобита от големите черни дупки.

Информация и класически черни дупки

В предишния раздел обсъдихме въвеждането на квантови черни дупки като неизбежно следствие при увеличаване масата на елементарните частици. Сега ще разгледаме квантовите черни дупки от гледна точка на макроскопичните черни дупки,

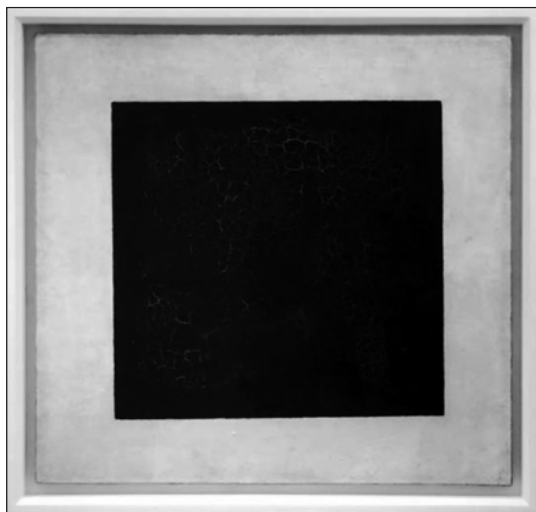
т.е. черни дупки с $R \gg L_p$. Такива черни дупки се описват добре от класическата физика, но цялата тънкоост е в това доколко добро е това описание.

Като начало нека да разгледаме класически проблема, т.е., $\hbar=0$ и следователно също и $L_p=0$. Строго се доказва, че класическите черни дупки се характеризират напълно от своята маса, ъглов момент и електрически товар. Физиците формулират този резултат кратко чрез твърдението „черната дупка няма коса“, което означава, че тя няма отличителни черти. Поради тяхното отсъствие черната дупка не може да кодира информация, за което е необходимо тя да съдържа елементи, годни да бъдат подреждани и модифицирани за нуждите на кодирането.

Класическата черна дупка може да бъде сравнена с прочутата картина на Казимир Малевич *Черният квадрат*, показан на фигура 3. Черният квадрат няма почти никакви черти – противоположно, например, на по-ранния автопортрет на художника (фигура 4). Само един художник може да стане прочут, създавайки картината *Черният квадрат* – други художници, рисувайки нови черни квадрати няма да могат да прибавят нищо към оригинала, защото този квадрат няма никакви отличителни черти и няма как да бъде преструктуриран. За разлика от него, обаче, един портрет предлага неограничен брой възможности за това.

Свойството „отсъствие на коса“ на класическите черни дупки започва да губи смисъл, когато класическата физика се разглежда като граница на квантовата механика при $\hbar \rightarrow 0$. Причината е в складирането на информацията. По време на телефонен разговор между вас и ваш приятел вие си обменяте информация, кодирана във вид на електромагнитни вълни. От гледна точка на квантовата механика тези вълни представляват множество фотони, притежаващи огромен брой характеристики, които могат да бъдат декодирани. Колко компактно може да бъде такова съобщение? Квантовата механика ни учи, че няма безплатен обяд: всеки фотон с дължина на вълната L „струва“ енергия от порядъка на $\hbar/L$. Така увеличаването на количеството информация чрез добавяне на повече фотони, т.е. правейки съобщението по-компактно, означава, че трябва „да платим“ повече енергия.

В класическата граница, обаче, енергийната цена на един фотон е нула. Оттук следва, че в класическия свят произволно кратък електромагнитен импулс с произволно малка енергия може да кодира произволно дълго съобщение. С други думи,



Фигура 3. Черен квадрат, картината от 1915 г. на руския художник Казимир Малевич е аналогична на класическа черна дупка по това, че кодира много малко информация.

класическите полета имат безкраен капацитет да съхраняват информация на нулева цена.

От класическите черни дупки по същата логика може да очакваме безкраен информационен капацитет. От друга страна, от свойството „отсъствие на коса” следва, че те нямат характерни черти. Това не е противоречие, но е странна дихотомия, изтъкната в забележителните работи на Яков Бекенщайн и Стивън Хокинг.

Безкрайна информация, нулев прочит

В своята работа от 1973 година [2], Бекенщайн показва, че черната дупка има ентропия S , пропорционална на $(R/L_p)^2$. Тъй като ентропията е мярка за капацитета за съхранение на информацията, Бекенщайн също показва, че черната дупка съхранява информация. Той фактически показва, че черната дупка съхранява максимално възможното количество информация за дадена енергия, или еквивалентно, за дадена дължина. При $L_p \rightarrow 0$ от формулата на Бекенщайн следва, че капацитетът за съхранение на информацията става безкраен. Как тази оценка може да се съгласува със свойството „отсъствие на коса” на класическите черни дупки?

Разрешаването на тази загадка се състои в това, че информацията в класическата черна дупка е недостъпна. Формулата на Бекенщайн ни казва само, че класическата черна дупка съхранява безкрайно количество информация; тя не ни казва колко лесно може да се извлече или как да се декодира тази информация. В действителност в класическата граница времето за обработка на информацията става безкрайно.

Следователно в класическата теория черната дупка наистина е безкраен резервоар на информация, но последната е вечна: Никакво количество информация не може да бъде обработено за крайно време. Ето защо от гледна точка на външен наблюдател черната дупка е без черти.

Откритието на Хокинг е следствие от пресмятания в режим, който е междинен между класическия и квантовия свят [3]. На тази квазикласическа арена квантовите частици живеят в геометрията на черна дупка, която се разглежда като външно класическо поле – с други думи, частиците се квантуват, но геометрията на пространство-времето не се квантува. Можем да си представим този квазикласически свят като сцена, върху която балетистите танцуват, но ние пренебрегваме влиянието на техните движения върху самата сцена.

Квазикласическите пресмятания могат да бъдат извършени точно и с необходимата математическа строгост само ако работим в границата на безкрайна маса на черната дупка и същевременно поставим Нютоновата константа $G=0$ по начин, при който R остава краен. Работейки в описаната граница, Хокинг показва, че черната дупка излъчва. Нещо повече, излъчването на Хокинг е идеален термичен процес с температура T , пропорционална на $\hbar/R$. Черната дупка излъчва средно от порядъка на един квант за време R и спектърът на емитираните кванти е същият като лъчението на абсолютно черно тяло с температура T . Но тъй като черната дупка е с безкрайна маса, нейната маса не намалява, въпреки че тя излъчва с постоянна скорост. Наблюдател, който из-

мерва излъчването на черната дупка, няма да може да декодира информацията, защото спектърът на излъчването е идеално термичен. Заклучаваме, че информацията остава вечно складирана вътре в квазикласическата черна дупка.

Нашето разбиране за черните дупки както в класическия, така и в квазикласическия свят е напълно последователно. И в двата случая черните дупки са вечни и без черти. И в двете описания $L_p=0$, така че черните дупки никога не достигат квантовия праг, независимо колко са малки. В класическия и квазикласическия свят частиците и черните дупки са строго обособени: никакъв обект от тези два свята не може да бъде едновременно и частица, и черна дупка. Наистина в класическата теория $\hbar=0$ и елементарните частици са безмасови и имат нулева енергия (на покой), противно на черните дупки, които с необходимост имат ненулева маса. В квазикласическия случай елементарните частици могат да имат крайна маса, но черните дупки имат безкрайна маса; отново двете понятия не могат да се съвместят в един обект.

Реалният свят на крайните константи

Съвместяването на частиците и черните дупки може да се случи само в един напълно квантов свят, какъвто е нашият, в който както $\hbar$, така и G са крайни и, следователно, L_p също е крайна. В реалния свят черните дупки с крайни размери имат крайни маси. Масата на черната дупка намалява и температурата ѝ се увеличава в резултат на излъчването ѝ. Променящата се температура на черната дупка означава, че не само спектърът ѝ на излъчване не е строго термичен, но и че другите ѝ характеристики еволюират. Излъчената информация от черната дупка би следвало да бъде кодирана по някакъв начин в отклонението на излъчването ѝ от това на абсолютно черно тяло.

Реалните черни дупки очевидно се различават съществено от своите квазикласически приближения, но все пак въпросът колко добре квазикласическото приближение описва черна дупка с крайна маса има смисъл. Необходимо е да бъдем много внимателни при тази оценка, защото времето на полуживот на черната дупка е от порядъка на $N = (R/L_p)^2$ брой излъчвания и N е огромно число. За да си представим колко огромно е N , ще припомним, че времето на полуживот на черна дупка с маса, равна на масата на Земята, е приблизително равно на 10^{38} , умножено по възрастта на вселената.

Квантовите поправки се извеждат от специфични микроскопични квантови модели на черна дупка. В момента не съществува общоприет модел, но физиците разработват няколко обещаващи направления. Така например, в струнната теория микроструктурата на черната дупка може да бъде разбрана в термини на броя струнни състояния [4]. По-нова идея [5], приложима в различни режими, е разглеждането на черната дупка като композитен обект, съставен от N гравитона с дължина на вълната от порядъка на R .

Няма да дискутираме в детайли специфичните модели, само ще постулираме, че черната дупка е съставена от частици (има корпускулярна субструктура), чиито дължини на вълните са от порядък R : при всички такива модели се получава, че относителните поправки към идеалното термично поведение (поведението на абсо-

лютно черно тяло) са от порядъка на $1/N$. Индивидуалните поправки са много малки, но поправките, акумулирани през целия живот на черната дупка, напълно променят квазикласическата картина. Големината на натрупаните поправки илюстрира колко е важна квантовата механика за черните дупки. За най-макроскопичните обекти квантовите поправки са много по-малко важни; например те са напълно пренебрежими за гравитационното поле на Земята.

И сега идваме до най-важния момент. Колкото по-малка и по-лека е черната дупка, толкова N е по-малко и толкова по-значими стават относителните квантови поправки. Ако радиусът е достатъчно малък, квантовите поправки са толкова големи, че този миниатюрен обект се превръща в нещо съществено ново: квантова черна дупка, до която сме стигнали чрез подход от теорията на макроскопичните черни дупки. Когато черната дупка има радиус L_p (т.е. е с маса от порядъка на масата на Планк), квантовите поправки стават от порядък 1. За радиуси по-малки от L_p черните дупки вече не съществуват; ние сме в царството на елементарните частици.

Следователно от съвременната теоретична физика следва съществуването на обекти, които са в междинната област на света на елементарните частици и света на черните дупки. Те притежават свойства, присъщи на обектите и от двата свята, но същевременно са различни от тях. Нито законите за слабо взаимодействие на елементарни частици, нито квазикласическата физика на черните дупки могат точно да предскажат техните свойства.

Физиците могат само качествено да определят поведението на квантовите черни дупки чрез екстраполация на известните закони на физиката. Причината, поради която количествените пресмятания при квантовите дупки са толкова трудни, е, че параметърът на силата на взаимодействие α_g е от порядък 1, така че не е оправдано да прилагаме конвенционалните методи за пресмятане, базирани на теория на пертурбациите по параметъра α_g . За частици, които са само с няколко порядъка по-тежки от квантовите черни дупки, прилагането на квазикласическите методи е обосновано, както и за частици с няколко порядъка по-леки. За съжаление, квантовите черни дупки са на границата, при която и двата подхода стават безсмислени: Ако искаме задоволително да разберем тези обекти, трябва да развием нови мощни теоретични методи.

Нашият опит от десетки години изучаване на ядрените взаимодействия ни учи, че и най-мощните теоретични методи се нуждаят от подкрепата на експеримента. Ядрените взаимодействия се наричат „силни”, защото техният параметър на силата на взаимодействието α става от порядък единица при енергии около 1 GeV. С други думи, тази енергия, наречена квантов мащаб на хромодинамиката, играе същата роля за ядрените сили, както масата на Планк за гравитацията; в частност тя съответства на точката на преход между нискоенергетичната теория, в която мезоните са фундаментални частици, и високоенергетичната теория на кварките и глюоните. Физиците имат отлични методи за режимите извън тази точка на преход: кирална теория на пертурбациите за ниски енергии и квантова хромодинамика при високи енергии. Но около точката на преход разработените техники са безсилни. В резултат, въпреки богатите

експериментални данни, теоретичното ни разбиране на ядрените взаимодействия при силна константа на връзка е все още далеч от задоволително ниво.

Експериментални перспективи

Колко реалистична е възможността за експериментално изучаване на квантовите черни дупки – или поне тяхното наблюдение? Ако физиците имат невероятен късмет, те биха могли да открият изпаряващи се черни дупки, създадени в ранната вселена и намиращи се в последния стадий на живота си сега, когато техните размери са се смалили до дължината на Планк. Такива черни дупки могат да попаднат в детектор на частици – например такъв, който регистрира разпад на частиците на тъмната материя – и накрая да експлодират в него. Вероятността за такова събитие зависи силно от особеностите на специфичния модел и от неизвестни аспекти на историята на ранната вселена.

Директното производство на квантови черни дупки изисква сблъсъци на частиците при енергии, по-големи от масата на Планк. Единствената известна възможност за реализиране на такива високи енергии е при сблъсък на космични лъчи. Обаче дори при такива космични явления сблъсъците при енергии, по-големи от M_p , са изключително редки. До днес такива колизии не са наблюдавани в земната атмосфера.

Енергиите, достигнати днес от най-мощните ускорители на елементарни частици, са много по-малки от M_p , поради което перспективата да бъдат произведени квантови черни дупки на ускорител е безнадеждна. Теоретиците откриха неотдавна, че има възможност за експериментално създаване на квантови черни дупки [6]. Ключовата идея в случая е, че при някои нови физически модели – в частност в теории с големи допълнителни размерности – фундаменталната дължина на Планк може да бъде много по-голяма от L_p в обичайната четиримерна теория.

За да се убедим, че дължината на Планк може да се променя при добавяне на допълнителни размерности на пространство-времето, нека да предположим, че вселената има n допълнителни компактни пространствени размерности с радиус l . На разстояния много по-малки от l Нютоновото гравитационно поле ще бъде равно на $V(\mathbf{r}) = -G^{(n)} M/r^{n+1}$. Тази формула е съвместима със закона на Гаус за пространствена размерност $3+n$. Тук $G^{(n)}$ е фундаменталната Нютонова константа при пространствена размерност $3+n$, която дефинира фундаменталната дължина на Планк L_* посредством формулата $L_*^{2+n} = \hbar G^{(n)}$. От изискването за съгласуване на гравитационното поле в обичайното 3-мерно с $(3+n)$ -мерното пространство при $r = l$ получаваме, че връзката между двете дължини на Планк е $L_*^{2+n} = L_p^2 l^n$ (вж. също моята статия заедно с Нима Аркани-Хамед и Савас Димополос във *Physics Today* от м. февруари 2002, стр. 35).

Така големи допълнителни размерности l водят до голяма дължина на Планк L_* . Експерименталните ограничения върху стойността на L_* могат да дойдат от физиката на елементарните частици, астрофизиката и космологията [7], а също и от астрофизичните симулации [7] и симулациите на лабораторни компютри [8], при които се търси отклонение от Нютоновата и Айнщановата гравитация. При тези изследвания се

получава, че най-голямата стойност за L_* е от порядък 10^{-19} м, което точно съответства на достижимите енергии на Големия адронен колайдер (LHC) в ЦЕРН.

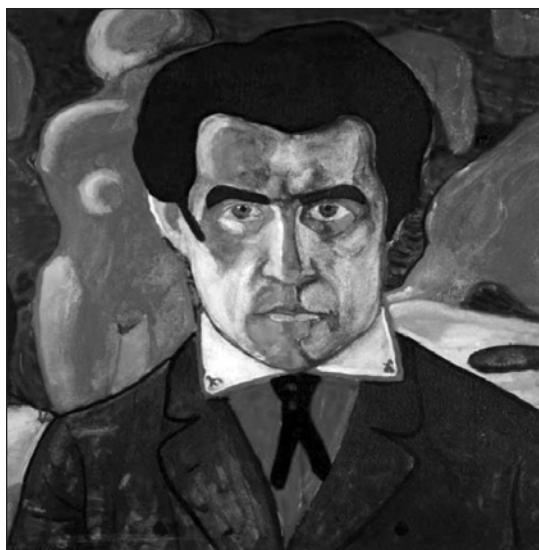
Ако на LHC бъдат наблюдавани квантови черни дупки, най-леките от тях ще изглеждат като квазикласически черни дупки. По-специално, те няма бързо да губят масата си и няма да се разпадат на голям брой нискоенергетични частици. Вместо това, те ще се разпадат изключително бързо на малък брой високоенергетични кванти. Разбира се, поведението на всеки от продуктите на разпад ще се определя от съответните закони на своята квантова теория – например кварките и глюоните ще произвеждат снопове. Следователно, експериментално доказателство за наличие на най-леки квантови черни дупки трябва да се търси при събития с два снопа.

Съвременните ни изчислителни възможности не ни позволяват да предскажем с необходимата надеждност свойствата на квантовите черни дупки. Така например точните канали на разпад, съотношенията на парциалните ширини на разпад към пълната ширина на разпад (branching ratios), времената на живот на черните дупки и минималните маси на квантовите черни дупки могат да бъдат предсказани само с точност до константи от порядък 1. От по-оптимистична гледна точка можем да кажем, че сме способни да предскажем теоретично удивително голям брой ефекти, като се има предвид, че имаме работа с квантовата гравитация.

Наблюдаването на квантови черни дупки ще бъде едно от най-забележителните научни открития. Обаче нито един експеримент, проведен при фиксирана енергия, не би могъл да отличи силно взаимодействаща частица от квантова черна дупка. Такава

разлика експериментаторите могат да открият единствено при изследвания в енергетичен интервал, надхвърлящ прага на раждане на квантова черна дупка (или друга нова частица). Тогава, ако новородените обекти действително са черни дупки, заедно с увеличаване на енергията тяхното раждане ще става все по-вероятно, те ще живеят по-дълго и ще се разпадат на по-голям брой продукти. Освен това, с увеличаване на енергията разпадът на черните дупки ще става все по-демократичен, т.е. различните вероятности за разпад на възможните продукти ще имат тенденцията да стават равни.

Такова поведение при увеличаване на енергията ще бъде силна индикация за съществуването на квантови черни дупки, въпреки че е възможно друг



Фигура 4. В автопортрета на Казимир Малевич от 1910 г. се съдържа много повече информация, отколкото в една класическата черна дупка.

нов обект да може да имитира поведението на квантовите черни дупки, например в минимален енергетичен интервал. Ще бъде необходим изключително внимателен анализ на огромен брой данни, за да се установи със сигурност, че е наблюдавана квантова черна дупка. Затова ние, теоретичите, изучаващи квантовите черни дупки, сме единици сред всички физици, които с нетърпение очакват новите експериментални резултати от LHC.

Цитирана литература

1. Виж например C. Montgomery, W. Orchiston, I. Whittingham, *J. Astron. Hist. Herit.* **12**, 90 (2009), p. 92.
2. J. D. Bekenstein, *Phys. Rev. D* **7**, 2333 (1973).
3. S. W. Hawking, *Commun. Math. Phys.* **43**, 199 (1975).
4. A. Strominger, C. Vafa, *Phys. Lett. B* **379**, 99 (1996); G. T. Horowitz, J. Polchinski, *Phys. Rev. D* **55**, 6189 (1997); S. Mathur, *Fortshr. Phys.* **53**, 793 (2005).
5. G. Dvali, C. Gomez, *Fortshr. Phys.* **61**, 742 (2013); *J. Cosmol. Astropart. Phys.* 2014 (01), 023 (2014).
6. I. Antoniadis et al., *Phys. Lett. B* **436**, 257 (1998); T. Banks, W. Fischler, <http://arXiv.org/abs/hep-th/9906038>; S. Dimopoulos, G. Landsberg, *Phys. Rev. Lett.* **87**, 161602 (2001); G. Dvali et al., *Phys. Rev. D* **65**, 024031 (2001); S. B. Giddings, S. D. Thomas, *Phys. Rev. D* **65**, 056010 (2002).
7. N. Arkani-Hamed, S. Dimopoulos, G. Dvali, *Phys. Rev. D* **59**, 086004 (1999).
8. D. J. Kapner et al., *Phys. Rev. Lett.* **98**, 021101 (2007).

Quantum black holes

Georgi Dvali

Physics Today **68**(1), 38 (2015); doi: 10.1063/PT.3.2656

Превод от английски: проф. дфн Светлана Пачева

ИЯИЯЕ, БАН

**ПОСЕТЕТЕ УЕБ-СТРАНИЦАТА НА
СЪЮЗА НА ФИЗИЦИТЕ В БЪЛГАРИЯ
НА АДРЕС:**

<http://www.phys.uni-sofia.bg/upb>

АЛХАЗЕН И НЕГОВОТО „СЪКРОВИЩЕ“ 1000 години от създаването на „Книга за оптиката“

Никола Балабанов

Времето

През средните векове на първото хилядолетие от новата ера настъпва историческо преместване на центъра на интелектуалната активност от Европа към Азия. Заедно с падането на Римската империя започва и западането на древната култура. Господстващата идеология в Европа става християнството. Християнската църква повежда борба с философията и науката на древните мислители. През 529 г. императорът на Източната римска империя Юстиниан закрива със заповед всички философски школи в Атина. В края на същото столетие папа Григорий I (590–604) със специално постановление забранява четенето на древните книги и заниманията с наука.

По същото време Мохамед създава своя религия – ислям (буквално от арабски „покорност“) и образува мюсюлманска община в Медина. През следващите векове на териториите на Югоизточна Азия и Северна Африка се образува могъща мюсюлманска държава – Халифат. Империята обхващала много страни и огромни пространства с обща площ около три милиона квадратни километра. От началото на VIII век, след като арабите утвърдили своята власт и религия, се наблюдава интересна промяна в тяхното отношение към културата: *„от яростни защитници на вярата те се превърнали в също толкова ревностни поклонници на науката; фанатичните араби, които не много отдавна нанесли последния удар на древната наука, се оказали известно време единствените нейни почитатели и пазители“* (цитат от „История на физиката“ на Ф. Розенберг).

Започва

Разцвет на арабската култура,

в която се вписва и един особен период в развитието на физиката, известен като „арабска физика“ (VIII–XII в.)

До голяма степен развитието на арабската наука се обяснява със тщеславието на халифите и князете, които управлявали малките феодални държави в огромната империя. Благодарение на тяхното покровителство върху науката, арабите бързо излезли от варварското си състояние.

В страните на Халифата било поставено начало на преводи от съчиненията на античните автори на арабски език, съпроводени с коментари. Преводите запознали учените от ислямските страни със значителна част от античната научна литература. В много случаи тези преводи се оказали единствените източници след няколко столетия, от които Западна Европа могла да се запознае с античната наука.

Успоредно с тази дейност арабските учени продължили развитието на физическите и математическите науки, като внесли особен принос в алгебрата, астрономията, механиката и оптиката. Тези постижения обогатили световната култура и по-специално, след векове, културата на народите от средновековна Европа.

Както се вижда, голямата заслуга на арабските учени е в това, че са запазили паметниците на древната наука, които без тях биха могли да бъдат унищожени в бурите на преселенията на народите. Не по-малко важно е, че в смутните времена за европейската цивилизация арабите поддържали научен живот дотогава, докато християнският свят съзрял възможността отново да приеме от тях грижите за по-нататъшното развитие на науката.

Разцветът на арабската култура бил преустановен при нахлуването на монголците в земите на Халифата. След XII–XIII в. се наблюдава ново преместване на центъра на интелектуалната дейност – от арабските земи отново в Западна Европа.

Един от най-видните представители на арабската култура и арабската физика е

Абу Али ибн ал-Хайсам,

известен в Западна Европа с името **Алхазен** (965–1039 г.). Той е роден в град Басра (Южен Ирак), разположен на река Шат ал-Араб. Въпреки че пристанището му било на десетки километри от океана, по време на приливите океанските параходи достигали до него. Голяма част от земите на Халифата били заети от сухи степи, пустини и полупустини, но Басра се намира в благоприятни райони, известни като „Щастлива Арабия“. Потънал в палмови горички и овощни градини, в края на първото хилядолетие градът бил един от най-важните културни и икономически центрове на Халифата. Интересно е, че заради многобройните си канали Басра бил наричан „Венеция на Изтока“.

В тези благоприятни условия получава своето образование и научна подготовка Алхазен. Неговите знания и способности твърде рано се проявили, поради което бил назначен за везир в своята страна. Много скоро, обаче, заради влечението си към науката той се отказал от тази висока длъжност и се посветил на научна дейност.

Алхазен станал известен с трудовете си най-вече в оптиката, но също в математиката, астрономията, медицината и философията. Повишеното му самочувствие го накарало да предложи смел проект, който едва не коствал живота му. Той смятал, че може да реши проблемите с разливането на водите на р. Нил и предложил те да се регулират с помощта на изкуствен бент, построен на юг от Асуан. Узнавайки за този проект, египетският халиф ал-Хаким го поканил в Кайро, за да го реализира. Заедно с няколко свои ученици, Алхазен се отправил нагоре по течението на Нил, но много скоро се убедил, че при съответстващата техника осъществяването на проекта е невъзможно (известно е, че такъв проект беше реализиран почти хиляда години по-късно от съветски специалисти). Това силно разгневило халифа. Според едни източници, Алхазен избягал от Кайро и се завърнал в него едва след смъртта на ал-Хаким. Според други, халифът го подложил на домашен арест и конфискувал имуществото му. За да спаси живота си, Алхазен се престорил на луд и симулирал това поведение чак

до смъртта на халифа. За щастие, неговият приемник бил твърде благосклонен към учения, предоставил му свобода за дейност, дори го привлякъл като личен лекар.

До края на живота си Алхазен живял в Кайро, където се занимавал изцяло с наука. По онова време – началото на XI век, Кайро се утвърдил като един от центровете на арабската култура. В града бил създаден „Дом на знанията“ (прототип на академиите), където Алхазен разполагал с благоприятни условия за работа. Известно е, че през 1004 г. в Кайро била построена обсерватория, която стимулирала астрономическите изследвания.

Алхазен е автор на около 200 трактата в областта на оптиката, механиката, астрономията, математиката и др. Много известни са съчиненията му по механика: „Книга за водния часовник“, „Книга за центровете на тежестта“, „Книга за лостовите теглилки“; по астрономия: „Книга за формата на света“, „Книга за движението на Луната“, „Книга за движението на всяка от седемте планети“ (към петте видими планети се причислявали Слънцето и Луната) и др.

Най-големите приноси на Алхазен са в областта на оптиката. Световна известност той е получил с капиталния си труд

„Книга за оптиката“

През XII век книгата била преведена на латински и няколко столетия е разпространявана в ръкописен вид. През 1572 г. била отпечатана със заглавие „Съкровищата на оптиката“. Това е основанието за заглавието на настоящата статия.

Преведеното заглавие на книгата е напълно оправдано и разкрива възхищението на европейските учени от „наследството“ на Алхазен. Наистина, книгата е цяла енциклопедия по оптика. Историците я оценяват като най-пълното изложение на науката за светлината в периода от Птолемей (70-148 г.) до Роджър Бейкън (1214-1294 г.).

Трактатът „Книга за оптиката“ („Китаб ал-маназир“) се отличава с редица новости в науката за светлината, с оригиналност в изложението и стройност в постройката. Ето накратко неговото съдържание:

Част първа е посветена на зрението и устройството на окото. Алхазен разглежда двете концепции за разпространение на светлината:

– На „математиците“ (към които принадлежат питагорейците, Евклид и Птолемей), според които светлината се разпространява чрез лъчи, изпускани от очите;

– На „физиците“ (Демокрит и др.), според които светлината се разпространява чрез лъчи, изпускани от източниците на светлина. Алхазен поддържа това виждане.

В същата част Алхазен разглежда устройството на окото. Според него то се състои от четири мембрани и три течности, най-важната между които е кристална.

Във втората част на книгата се разглежда разпространението на светлината и свойствата на светлинните лъчи, които се възприемат при зрението.

В третата част са обсъдени грешките, които съпровождат зрението: оптичните илюзии, зрителните измами и халюцинации.

В четвъртата част се разглежда отражението на светлината от огледални по-

върхности. Алхазен различава седем вида огледала: плоско, изпъкнало и вдлъбнато, цилиндрични и конични, изпъкнали и вдлъбнати сферични огледала.

В пета глава е формулирана следната задача: за всяко огледало (плоско, сферично, цилиндрично и конично) да се намери точката, от която трябва да се отрази светлината, така че да попадне в окото. Тази задача има по-скоро математически характер и Алхазен я решава по сложен геометричен начин. Въпреки че от гледна точка на физиката постановката е непрактична, задачата се е запазила през Средновековието под названието „Задача на Алхазен“. С нейното решаване през XVII в. са се занимавали Бароу (учителят на Нютон) и Хюйгенс.

Шеста част разглежда грешките на зрението при отражение на светеща точка от дадено плоско, сферично, цилиндрично и конично огледало (изпъкнали и вдлъбнати).

Седмата част е посветена на пречупването на светлината и грешките при пречупването; описват се експерименти, с помощта на които се определя коефициентът на пречупване при падане на светлината под различни преходи от една среда в друга. Разгледан е също ефектът на увеличителното стъкло.

Със своя капитален труд по оптика, както и с други съчинения, посветени на оптични явления, Алхазен прави значителен принос в тази област. Ще си позволя да изтъкна неговите виждания за природата на светлината и оригиналните му приноси.

1. Алхазен разглежда светлината като поток от частици.

2. Доказва несъстоятелността на представите на някои древногръцки учени (Платон, Евклид и др.) за светлината като за лъчи, които изтичат от очите и „опипват“ предметите. Според него „зрителният образ се получава с помощта на лъчи, които се изпускат от телата и попадат в очите“.

3. Ученият смята, че светлината се разпространява с крайна скорост – извод, който много физици преди и след него споделят.

4. За пръв път в историята на оптиката е дадено анатомично описание на окото. Смята се, че Алхазен придвижва напред изследванията на физиологичните процеси на зрението. Той изказва предположението, че приемник на изображението е кристалинът. Тази гледна точка просъществува до XVII век. Обединеното виждане с двете очи той обяснява с това, че усещанията, които възникват в съответните части на очите, се сумират от общ зрителен нерв в едно усещане.

5. Алхазен усъвършенства формулировката на закона за отражение на светлината, като пръв установява, че падащият и отразеният лъч, както и нормалата към повърхността на огледалото, лежат в една равнина. (Интересно е да се отбележи, че в изследванията си ученият използва уреди, които и днес се използват при демонстрации на явленията.)

6. Изучавайки отражението на лъчите от вдлъбнато огледало, Алхазен за пръв път установява, че фокусировката се оказва толкова по-добра, колкото по-голям е диаметърът на огледалото.

7. Изучавайки способността на полусферични лещи да увеличават предметите, препоръчва да се поставя тяхната плоска повърхност върху разглежданите предмети.

8. Алхазен прави интересен извод, като въз основа на изследванията на Птолемей и с помощта на много точни фигури доказва, че при всяка гладка и прозрачна стъклена сфера топлината на слънчевите лъчи се събира на разстояние от сферата, по-малко от четвъртината на нейния диаметър.

9. Противоположно на твърдението на Птолемей, Алхазен доказва, че ъглите на падане и пречупване не са пропорционални. С това той дава тласък за търсенето на закона за зависимостта между ъглите на падане и пречупване. Ученият показва, че отклонението на лъчите при пречупване е толкова по-голямо, колкото по-голяма е разликата в плътностите на пречупващата среда.

10. Има становище, че някои от разсъжденията на Алхазен за разпространението на светлината са своеобразен прототип на принципа на Хюйгенс. В първата част на „Книга за оптиката“ той въвежда понятията „първична светлина“ и „вторична светлина“, които могат да се разглеждат като аналог на въведените от Хюйгенс първични и вторични светлинни вълни (принцип на Хюйгенс).

11. Смята се, че Алхазен е първият учен, който използвал камера-обскура като астрономичен уред за наблюдаване на Слънцето и Луната.

12. По продължителността на смрачаването Алхазен прави интересен опит за определяне на дебелината на атмосферния слой. По онова време се е смятало, че атмосферата се простира чак до Луната. Ученият използва твърдението на древните, че границата на смрачаването съответства на спускане на Слънцето под хоризонта на ъгъл, равен на 18 градуса, и прави още редица допускания: че атмосферата е еднородна; че светлинните лъчи на Слънцето се отразяват само от най-горните слоеве на атмосферата и преминават през нея по права линия. Полученият от него резултат за височината на земната атмосфера е 52 хиляди крачки. Неточното определение се дължи на неправилните предположения, но самият опит за такава оценка се смята за постижение на средновековната оптика.

Накрая ще коментирам виждането на Алхазен за зрителните възприятия. Както вече изтъкнахме, той смята, че изображенията възникват не в ретината, а в кристалина. Познавайки добре устройството на окото и действието на камера-обскура, той можел да обедини двете явления. Но тогава е трябвало да приеме, че в окото се получава обърнат образ на предметите. За такъв извод явно не му достигнала смелост. Наистина, никой не е „виждал“ света преобърнат!

Едва няколко столетия по-късно Леонардо да Винчи, провеждайки опити с камера-обскура и отбелязвайки съществуването на обърнати образи, има смелостта да заяви: „Същото става и вътре в очите.“

Анализът на резултатите и приносите на Алхазен показват, че в областта на оптиката той е направил най-голямата крачка след Птолемей. Латинските преводи на капиталния труд „Книга за оптиката“ са оказали значително влияние върху западната наука, благодарение най-вече на Р. Бейкън, Й. Кеплер, Х. Хюйгенс и Р. Декарт.

Алхазен е автор и на съчинения, свързани с коментари на евклидовата геометрия. Той дава свое доказателство за прословутия Пети постулат на Евклид за паралелността,

основано на кинематични съображения. Интерес представляват неговите разсъждения за „триправоъгълника“ (в днешно време е известен като „четириъгълник на Ламберт“) – четириъгълник с три прави ъгъла и три хипотези за неговия четвърти ъгъл, съответно остър, тъп и прав ъгъл. Отново с помощта на кинематични съображения Алхазен отхвърля първите две хипотези, които съответстват на геометриите на Лобачевски и Риман. Той остава твърдо на евклидови позиции.

Искушавам се накрая да посоча, че Алхазен е привърженик на атомната идея, което той изразява в съчинението си „Книга за неделимите частици“.

Общо е мнението на специалистите, че Алхазен е най-крупният физик на Средновековието. Тази оценка дава основание да се чества 1000-годишнината от създаването на неговия фундаментален труд „Книга за оптиката“ – истинско съкровище на научни знания.

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

БАНКОВА СМЕТКА НА СФБ
BG82CREX92601013508300
BIC: CREXBGSF
ТОКУДА БАНК АД

РОЛЯТА НА ОПТИКАТА В РАЗВИТИЕТО НА ЧОВЕШКОТО ПОЗНАНИЕ*

Иван Лалов

1. Увод

Светлината е важен фактор в нашия живот. Тя пренася енергия, необходима за нашето съществуване. В спектъра на пропускане на земната атмосфера има „прозорче“ за видимата част на спектъра на излъчване на Слънцето, докато съседните честотни области – на ултравиолетовите и инфрачервените лъчи, се пропускат от атмосферата много по-слабо или въобще не се пропускат. До откриването на атомната енергия Слънчевата радиация е почти единственият източник за човека – енергията на прякото слънчево лъчение или преработената от растения и животни енергия на Слънцето (под формата на дърва, каменни въглища и др.). Именно във видимата област при дължина на вълната $\lambda = 470 \text{ nm}$ е максимумът на излъчването на Слънцето като абсолютно черно тяло с температура около 6500 K.

Светлината е носител на информация. Чрез зрението ние получаваме около 90-95 на сто от цялата информация за заобикалящия ни свят, придобита от нашите пет сетива. Зрителният рецептор – окото – възниква при еволюцията поради наличието на слънчева светлина, която осветява предметите около нас, и поради подходящите честоти на видимата светлина.

Светлината е носител на красота. Несравними с нищо са цветните природни картини на зелените полета, синьото небе, бялата пустош на планината, на небесната дъга и залеза. Също толкова красиви са картините, създадени от фантазията на художниците и майсторите.

Тази важна роля на светлината е оценена от древни времена от човека, а според самото начало на Библията – и от Бог (*И Господ видя, че светлината е добро нещо и рече „Да бъде светлина“*). Човечеството вижда в светлината, този антипод на тъмнината, залог и за своето духовно издигане. Затова още от древността възниква науката за светлината – оптиката, която е важен дял на физиката, а засяга и другите природни науки – химията и биологията.

Истинското научно начало на модерната физика и оптика поставя Възраждането (XVII век). Оптиката заема особено място в историята на физиката. Докато основните идеи на всеки от разделите на физиката достигат до равнището на завършени теоретични концепции за около един век (XVII век за механиката, XIX век за термодинамиката и електродинамиката, XX век за квантовата физика), оптиката се развива през цялото време от епохата на Галилей-Нютон-Хюйгенс до лазерите на XX век. В оптиката се извършват научни революции и се зараждат принципно нови научни идеи като квантовата теория. За революциите в оптиката и за нейното място в историята на физиката

съм правил доклади на предишни научни форуми. В настоящия доклад, произнасян в Международната година на светлината и светлинните технологии, ще се постарая да обърна нашето внимание върху ролята на оптиката в развитието на цялото човешко познание (естествено, чрез историята на идеите във физиката). Основно внимание ще обърна на взаимната връзка между изследванията в една научна област, каквито са учението за светлината и философията на естествознанието.

2. Началният път на познанието

В оптиката се моделира този път. Най-напред е любопитството към природните явления и техните характеристики. Праволинейното разпространение на светлината, слънчевата светлина, цветовете в природата, отражението и пречупването на светлината, небесната дъга и северното сияние са интригуващи феномени, които ни предизвикват да ги наблюдаваме, да ги опишем и да се опитаме да ги обясним. Почти веднага се проявява и практическият интерес от тяхното използване. В оптиката това е проблемът за източниците на светлина, за приложенията на различните типове огледала, за различните оптични инструменти, от които най-прости са очилата (от около 12-и век).

Любопитството и практическият интерес са началните движещи сили на познанието. Следващата крачка представлява систематичното изучаване на закономерностите при явленията. Още във II век Птолемей съставя таблици за зависимостта между ъглите на падане и пречупване на границата въздух-вода. Натрупването на знания и умения позволява в края на XVI век да се конструират далекогледни тръби, микроскоп, а в началото на XVII век чрез телескопа на Галилей човечеството отправя поглед към звездното небе и Галактиката.

Развитието по-нататък надмогва феноменологията, като се формулират теоретични модели (хипотези) за същността на светлината и за оптичните явления.

3. Двата свята на природните науки

Седемнадесети век е критичен и бурен в развитието на оптиката. От една страна, създават се и се усъвършенстват оптичните уреди и методи и това позволява да се открият множество нови явления: интерференцията (Бойл, Хук и Нютоновите пръстени), дифракцията (т.е. навлизането на светлината в геометричната сянка, Грималди), дисперсията на светлината (изучена от Нютон при опитите с призма), двойното пречупване в кристали (Бартолинус) и поляризацията на светлината (Хюйгенс). Натрупаните експериментални факти не могат да бъдат разбрани и систематизирани без съответния теоретичен модел за същността на светлината и произтичащите от него обяснения на светлинните явления. Така в оптиката, почти едновременно с механиката, възникват двата свята на природните науки: единият – светът на явленията и феноменологичните закономерности; и вторият – светът на идеите, моделите, теоретичните обобщения, закони и предсказания. Според Поанкаре тези два свята са и логически, и фактически отделени, като всеки е относително завършен. Но двата

святата се намират в непрекъснат контакт и взаимодействие, от което зависи нивото на съответната природна наука.

В оптиката чисто умозрителни схващания за същността на светлината развива знаменитият френски философ Р. Декарт. Той я разглежда като проява на въведените от него „вихри на тънката материя“, които са начална проява на хипотетичните флуиди, просъществували в картината на механистичната физика до края на XIX век. Философът Декарт остро критикува физика Галилей за стремежа му да опише явленията, вместо да търси тяхната причина. А всъщност причините могат да се търсят в рамките на последователно развити теоретични модели, които от своя страна имат научна стойност само ако се основават на сериозни експериментални данни. Между Галилей и Декарт има спор и дали скоростта на светлината е крайна или тя се разпространява мигновено. Здравата интуиция на Галилей му подсказва, че всяко взаимодействие се разпространява с крайна скорост и той прави неуспешен опит да измери скоростта на светлината. За първи път това успява да направи през 1675 г. датският астроном О. Рьомер по затъмненията на спътниците на Юпитер (открити от Галилей). Не може да се твърди, че Декарт е последователен в твърденията за безкрайната скорост на светлината. Той извежда закона за пречупването (на синусите), открит преди това експериментално от Снелиус, от предположението, че тангенциалната към граничната повърхнина компонента на скоростта е крайна и една и съща в двете среди (което е вярно!). Декарт има и блестяща теория за възникването на небесната дъга при пречупване и отражение на светлината в дъждовните капки.

През последната четвърт на XVII век почти едновременно възникват двете теории за същността на светлината: 1) корпускуларната – с автор Нютон. Според нея светлината е поток от частици, които в хомогенни среди се разпространяват праволинейно (като куршуми) и 2) вълновата – с основен създател холандецът Хр. Хюйгенс, според която светлината представлява вълна. Нито едната от двете теории не може да обясни всички известни по това време експерименти. Но „очевидният“ според мнозина факт, че светлината е поток от частици, които се разпространяват по права линия, както и авторитетът на Нютон, правят по-приемлива (до началото на XIX век) корпускуларната теория. Почти всички разбират, че тя не може да обясни дифракцията и интерференцията (Нютоновите пръстени). Те могат да се разберат на базата на вълновата теория, но Хюйгенс не достига до тяхното доста сложно обяснение, което след повече от век правят Юнг и Френел. Вместо авторите на вълновата теория (Хюйгенс, Хук), самият Нютон достига до извода, че интерференчните пръстени са свързани с периодичност при разпространение на частиците на светлината – корпускулите. По-късно след анализ на явленията при поляризация на светлината Нютон изказва хипотезата, че в равнината, перпендикулярна на посоката на светлината, корпускулите имат нееднакви свойства. Тънкия анализ на експерименталните факти и гениалната интуиция на Нютон му позволяват да изкаже хипотезата за светлината едновременно като корпускула и вълна (с периодичност при разпространението). Това става повече от два века преди появата на квантовата теория на светлината.

Историята на оптиката през XVII век е показателна за развитие на човешкото познание освен с необходимостта от хармония при изследвания на явленията и на техните теоретични аналози, и в следните пунктове:

1) необходим е анализ на „очевидните“ факти, подобни на праволинейното разпространение на светлината, които могат да се окажат подвеждащи;

2) неизбежна е ролята на авторитетите на учени като Нютон, но никой не е изразител на единствено правилната гледна точка;

3) отново Нютон със своите фини оптични експерименти и с тяхната интерпретация демонстрира дълбокото и без предубеждения разбиране за природните закони, които управляват нашия свят.

4. Научните революции

Научните революции възникват при неизбежна необходимост да се смени фундаментът на научната област или дисциплина. В обществените науки и в самото общество революциите се причиняват от неприемливостта и пречатващата роля на старите концепции и отношения. В природните науки смяната на парадигмата се извършва под натиска на новооткритите експериментални факти и явления, които по никакъв начин не могат да се съвместят с общоприетите научни модели.

През XIX и началото на XX век в оптиката се извършват две научни революции, които са модел и пример за революциите във философията на естествознанието.

През първата четвърт на века разбирането за светлината като поток от частици се заменя с концепцията, че светлината е периодична вълна с определена честота и с определена дължина на вълната. По тези две характеристики се различават вълните, които произвеждат усещанията за различни цветове. За вълновата революция най-важни са следните факти:

а) обяснението на явленията интерференция и дифракция на светлината, непостижимо от корпускулярната теория. Такова обяснение – теоретично и подкрепено от съответните експерименти – намират Т. Юнг и О. Френел. За своеобразен връх – тържество на вълновата теория – може да се смята анекдотичният случай на т. нар. петно на Поасон. При докладване на вълновата теория от Френел пред Френската академия на науките Поасон като очевиден контрааргумент твърди, че според нея в центъра на сянката на кръгъл непрозрачен екран трябва да има светло петно. За всеобща изненада не след дълго Араго наблюдава това петно като доказателство за верността на вълновата теория.

б) Френел допълва, последователно прилага принципа на Хюйгенс и показва, че светлинните вълни се разпространяват праволинейно, макар в съседните на светлинните лъчи области да съществуват дифракционни минимума и максимуми.

Всъщност тази революция е резултат от цялостно развитие на нова научна област – вълновата оптика, която за около двадесет години обяснява всички известни дотогава оптични явления, вкл. и поляризацията на светлината, възможна само при напречни вълни. За характера на светлинните вълни ще говорим накратко в следващите части.

През XIX век вълновата оптика е част от изгражданата последователно хармонична картина на класическата физика. Но в края на XIX и началото на XX век в оптиката се реализира нова още по-неочаквана научна революция.

В продължение на около 40 години учените се стремят да обяснят излъчването на нагрети тела – един проблем, пряко свързан с нашето разбиране за строежа на излъчващото тяло и с проблемите на светлинните източници. Прилагат се всички известни дотогава методи на термодинамиката и развиващата се статистическа физика, правят се експериментални изследвания, моделират се идеализирани източници. Още през 1859 г. Кирхоф въвежда понятието „абсолютно черно тяло“, до което най-близък се оказва светлинен източник като Слънцето. Намерени са интегралните характеристики на неговото лъчение, но спектърът на излъчване на абсолютно черно тяло, при това измерен експериментално, се изплъзва от теоретичното обяснение. С голяма неохота учените в края на XIX век започват да разбират, че е необходима промяна в модела на самата излъчвана светлина като непрекъснати електромагнитни вълни. Родоначалник на новата научна революция – квантовата – е германският физик М. Планк, който по своя характер съвсем не е революционер, нито е възхитен от научната идея, че светлината се излъчва на порции – кванти – с енергия, пропорционална на честотата на електромагнитното лъчение. Но именно чрез нея се обяснява температурното излъчване, като вероятно тя е единствено решение. Много съществена крачка към квантовата физика прави Айнщайн, който през 1905 г. приема обективното съществуване на квантите (фотоните) и обяснява чрез тях наблюдавания преди това фотоелектричен ефект. Така Нютоновата теория за светлината като поток от частици се оказва правилна. Вярна е и догадката на Нютон, че тяхното разпространение е свързано с определена периодичност, т.е. че при разпространението на светлината тя се проявява като вълна.

Квантовата революция, възникнала в оптиката при обясняване на процесите на излъчване и поглъщане на светлината, променя цялата физика. Едновременно вълнови и корпускулярни свойства проявяват всички частици, не само фотоните. Квантовата революция засяга и свойствата и взаимодействията между атомите в химията, а в значителна степен и биологичните процеси. Нещо повече, новото разбиране за микросвета променя и философията на естествознанието.

5. В търсене на единна гледна точка

Една от задачите на науката е да се обясняват явленията – обществени или природни – чрез неголям брой закономерности, израз на нашето разбиране за единството на света (и в определен смисъл, на хармонията в устройството на света). Пример за това единство е законът за всеобщото привличане, позволил да се опишат движенията на планетите и звездите и привличането на предметите от Земята. В търсене на подобна обща гледна точка оптиката дава един забележителен прецедент за велико обединение – електромагнитната теория на светлината на Максвел.

В периода 1860-65 г. Максвел обединява и допълва законите за електричеството и магнетизма, като намира общата система от закони, които ги описват – уравненията на

Максуел. Тази система е вътрешно непротиворечива и описва известните до него електромагнитни явления. Като продължава по-нататък, той намира решение под формата на вълни, които могат да се разпространяват дори във вакуум. Следвайки логиката на своите разсъждения, Максвел определя и скоростта на хипотетичните електромагнитни вълни, при което използва експерименталните данни от електрически и магнитни измервания. Получената стойност за скоростта на електромагнитните вълни се оказва близка до измерената наскоро преди това скорост на светлината. Максвел смята, че съвпадението на двете скорости не е случайно, а води до хипотезата, че светлината е електромагнитна вълна (1865 г.). Така обединява в единен обект, описван от обща система от закономерности, явленията от три раздела на физиката – електричество, магнетизъм и оптика.

Нито системата от уравнения на Максвел, нито неговата хипотеза за електромагнитния характер на светлината са възприети веднага от общността на учените. За да се утвърдят те във физиката е било необходимо да се наблюдават генерирани изкуствено електромагнитни вълни извън видимия диапазон. Това прави около 1887-88 г. (вече след смъртта на Максвел) германският физик Х. Херц. От друга страна, необходимо е да се намерят и изследват явления, при които непосредствено се проявяват променливите електрично и магнитно поле на светлината (с характерните честоти на светлинните вълни). Това се постига от холандския учен Х. Лоренц, който през 90-те години на XIX век създава класическата електронна теория и описва дисперсията на светлината.

Стремежът да се създаде обща теория на всички взаимодействия има своето идейно начало от работите на Максвел и пронизва цялата съвременна физика.

6. Отрицателните резултати в науката

Развитието на оптиката води и до отрицателни резултати с голямо значение за науката. Тук ще дадем два примера.

Първият – това е теорията за етера. Откритието, че светлината има вълнов характер задава пред физиците от XIX век въпроса – а какво трепти? Значителните успехи на механиката ги карат да мислят, че всички явления могат да се опишат с механични явления в определени среди. Като се следва традицията още от Декарт, във физиката се въвеждат невидими флуиди, разпрострени навсякъде и дори проникващи в телата. Тези флуиди притежават определени свойства, от които зависят и законите, например за електричеството, магнетизма и светлината (още през първата половина на XIX век е отхвърлена теорията за флуида флогистон (топлород) като носител на топлината). Но дори Максвел, като извършва обединението на електричество, магнетизъм и оптика, говори за трептения на един общ флуид. Въпросът е – какви свойства притежава този флуид, наречен етер, за да се наблюдават известните ни електромагнитни и оптични явления? И как наличието на тази среда влияе върху движенията на телата (например на планетите и Земята) в нея? Практически очевидно е, че тяхното движение става без триене. От друга страна, напречният характер на електромагнитните вълни, които би трябвало да представляват механични трептения на етера, е характерен само

за твърди тела. Свойствата на твърдо тяло, което не пречи на движенията на телата, трябва да притежава етерът. Постепенно изследванията на светлинните явления в движещи се тела натрупват все повече противоречиви негови качества. На определен етап М. Планк говори за етера като за дете на класическата физика, заченото в мъка. А как физиката се избавя от тази хипотетична среда? С постепенното осъзнаване, че етерът не е необходим като сцена за електромагнитните явления. Вече изтъкнахме, че напречни електромагнитни вълни, вкл. в светлинния диапазон, могат да съществуват и в свободно пространство, без електрични заряди и поляризираща се среда.

Какъв е ефектът от този отрицателен резултат – липсата на трептяща среда? Реалният ефект е отхвърлянето на механистичната картина на света, т.е. не е възможно да се сведе физическият свят до явленията в механиката.

Вторият пример е свързан с първия и е наречен от Б. Ръсел „най-важният отрицателен резултат в науката“. Това е опитът на Майкелсън-Морли за измерване на разликата в скоростите на светлината по посока на движението на Земята около Слънцето и в перпендикулярна посока (1887 г.). Ако се приложат законите за събиране на скорости, известни от времето на Галилей-Нютон, би трябвало да получим разлика във времената на разпространение на светлинните лъчи в двете посоки от порядък на 10^{-8} (една стотиционна, колкото е квадратът на отношението на скоростта на Земята около Слънцето и скоростта на светлината). Като се използва чувствителна интерференционна методика, може да се измери тази нищожна разлика във времената. Но опитът на Майкелсън-Морли с достатъчна точност и увереност показва, че в двете посоки светлината изминава еднакви пътища за еднакво време. Следователно, законът за събиране на скорости на Галилей не е в сила при светлината. Необходимо е да се намери нов закон за събиране на скорости (за разпространение на светлината в движещи се тела). Това необходимо следствие от опита на Майкелсън-Морли води до коренна промяна на нашите възгледи за пространството и времето, които се оказват взаимно свързани с т.нар. Лоренцови трансформации. В специалната теория на относителността Айнщайн изразява резултата от опита на Майкелсън-Морли, като въвежда основен постулат, че „скоростта на светлината във всички инерциални отправни системи е една и съща“.

Оптиката на движещите се тела показва колко ценни за науката могат да бъдат отрицателните резултати, които не потвърждават, а отхвърлят нашите очаквания.

7. Заключение

Този доклад илюстрира сложния път на науката, по-специално на оптиката. Както и в други научни области, той минава през наблюдения, догадки, експерименти, изграждане на цялостни теории, преодоляване на предубеждения, революции в мисленето.

С примера на оптичните изследвания ние виждаме влиянието на естествознанието върху философията, която по необходимост проявява гъвкавост при осъзнаването и интерпретацията на научните резултати. Всяко философско предубеждение и опити да се поставят в идеологичен калъп сегашните и бъдещите резултати на частните науки (каквато е оптиката) е непродуктивно за тях и дискредитира самата идеоло-

гия. Примери за такова отрицателно въздействие върху науката могат да се видят в противопоставянето на католическата църква на Коперниковата система, обявена за еретична, а в по-ново време – отричането на генетиката и генетиците, уж от позициите на диалектическия материализъм.

Учените от природните науки по-трудно осъзнават ролята на философските принципи и системи за нашето мислене и методика. Като изследваме явленията в природата и обществото, ние трябва да сме възприели парадигмата, че светът е познаваем, че съществуват природни закони, които управляват явленията, че съществува единство и всеобщност в природата. Това са философските предпоставки на специализираните научни изследвания.

Системата на човешкото познание е единна и нейното изграждане на всеки етап и през всяко столетие се нуждае от хармонизиране и усъвършенстване.

** Докладът бе представен на 43-та Национална конференция по въпроси на обучението по физика с основна тема „Оптиката и оптичните технологии в образованието“, състояла се в Благоевград, 2-5.04.2015 г.*

**Посетете нашия сайт
wop.fpni.eu**

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

„МЕДИЦИНСКИ ФИЗИК“ – МОДЕРНА И ПЕРСПЕКТИВНА ПРОФЕСИЯ

Тодорка Л. Димитрова

Връзката между физиката и медицината възниква от древността, още с първото използване на природните фактори топлина и светлина в лечебната практика. Дълъг е пътът на това далечно сътрудничество между две области на познанието и практиката, чиито линии на развитие все повече се доближават в наши дни. Физиката предоставя на медицината мощен апарат от теории, експериментални методи и технически средства за изследване на физиологичните процеси в човешкото тяло на всички структурни нива [1]. Безспорен е фактът, че медицината е първостепенна по обществената си значимост сфера на приложение на физичните открития. Голяма част от известните физични явления и закономерности се използва в много диагностични и лечебни методи. Въздействието върху човека на различни природни и техногенни фактори, важни за хигиената, профилактиката, диагностиката и лечението, може да бъде оценено обективно чрез използване на физични принципи и методи. Физиката е в основата на разработване на модерните апарати и технологии, без които съвременната медицина е немислима. Достатъчно е да споменем ехографията, рентгеновата диагностика и терапия, лъчелечението, ядрения магнитен резонанс, ендоскопията, приложението на лазерите в хирургията.

Професията „Медицински физик“

За медицинска физика като самостоятелен дял на приложните науки се говори едва в началото на XX век, след като Х-лъчите, открити от Вилхем Рънтген през 1895 г., и радиоактивността, открита през 1896 г. от Анри Бекерел, намират първите си приложения в медицинската практика. Десетилетия наред тя се свързва предимно с първото ѝ главно направление – радиологията, включваща образна диагностика, радиотерапия, нуклеарна медицина и радиационна защита. Второто главно направление – медицинската здравна физика – изследва влиянието върху човешкото поведение и здраве на нейонизиращи електрически лъчения, включително оптични; шум и вибрации; физични фактори на околната среда; електрични заряди и електричен ток и др.

Дълбокото проникване на физиката в медицината и голямото разнообразие на използваните физични методи и техники затруднява рязкото разграничаване на компетенциите и правомощията на медицинския физик. Съгласно дефиницията на Европейската асоциация на организациите на медицинските физици (EFOMP), „Медицинският физик е лице с университетска степен по физика, математика, компютърни науки, физикохимия, механо-инженерство, електро-инженерство или електронно инженерство и др., който работи в тясно сътрудничество с медицинските специалисти в болници, университети или изследователски институти. В допълнение към тяхната универси-

тетска степен той трябва да има подготовка по принципите и методите на прилагането на физиката в медицината и трябва да има практическо обучение в тази област“ [2]. Участието на квалифициран експерт по радиационна защита и по медицинска физика при всички дейности с йонизиращи лъчения в Европейския съюз е регламентирано с директиви 96/23 и 97/43 ЕВРАТОМ [3]. Българското законодателство е синхронизирано с европейското чрез Наредба № 30 за реда и условията за осигуряване защита на лицата при медицинско облъчване, ДВ, бр. 91/15.11.2005 [4].

Медицинската физика и биомедицинското инженерство са признати като отделни професии от Международната организация на труда (ILO) и Организацията на обединените нации (ООН) през 2012 г. Вписани са в Международната стандартна класификация на професиите със стандарт ICSO-08 [5]. Това са две нови, модерни професии, приети едновременно в две професионални направления: Физика и инженерство и Здравеопазване. Трябва да бъде подчертано, че малко професии имат подобен статут.

EFOMP препоръчва три квалификационни нива на медицинските физици, отговарящи на изискванията за образователна степен и практически опит. Входното ниво към тази професия е диплома за бакалавър по физика или еквивалентна. За първо ниво „Медицински физик“ се признава магистърската степен по Медицинска физика. Медицинският физик е член на клиничния екип, но няма право да работи самостоятелно с пациенти. Това право се придобива след допълнителна специализация или клинична практика с продължителност две години за първа специализация и една – за всяка следваща. При това се придобива второто квалификационно ниво – „Квалифициран медицински физик“ или еквивалентното на него „Специалист по медицинска физика“. Третото ниво „Експерт по медицинска физика“ за всяка отделна област се достига при минимум две години клиничен опит след съответната специализация и полагане на изпити. Според държавните изисквания медицинските физици подлежат на пресертифициране на всеки пет години.

Хармонизиране на обучението по медицинска физика в Европа

Проучване на EFOMP показва, че до 1984 г. в повече от половината европейски страни няма акредитирано обучение по медицинска физика. Дискусията между страните от Източна Европа и EFOMP за хармонизиране на обучението по медицинска физика започва след катастрофата в Чернобил през 1986 г. До 1989 г. контактите между Източна и Западна Европа в сферата на образованието са ограничени и единични. Първата Европейска конференция за следдипломното обучение по медицинска радиационна физика, състояла се в Будапеща през 1994 г., поставя началото на по-сериозно и ангажиращо сътрудничество.

Процесът на хармонизиране на обучението по медицинска физика продължава в рамките на няколко следващи международни конференции и проекти [6]. През 1995-1997 г., по проект TEMPUS S-JEP09826 на програма PHARE на Европейския Съюз, в Пловдив е разработен едногодишен магистърски курс по Медицинска радиационна физика и инженерство. Координатор на проекта е Кингс Колидж (King's College,

London). Участници са три български университета – ПУ „Паисий Хилендарски”, Медицинският и Техническият университет в Пловдив. Партньори от Западна Европа са Тринити Колидж в Дъблин (Trinity College of Dublin, Ireland) и Университетът във Флоренция (University of Florence, Italy). Магистърският курс стартира през 1997 г. и е акредитиран от британския Институт по физика и инженерство в медицината IPeM (Institute of Physics and Engineering in Medicine). Разработени са учебни помагала на английски, които са разпространени в много европейски, азиатски и африкански страни. През 1996 г. чрез ЕС пилотен проект Леонардо да Винчи с участието на водещи университети от Англия, Швеция, Италия, Португалия и Международния център по теоретична физика (ICTP) в Триест е стартиран проект EMERALD (European Medical Radiation Learning Development). Разработени са три магистърски образователни модула – Рентгенова диагностична радиология, Радиотерапия и Нуклеарна медицина – придружени от печатни и електронни учебни материали. През 1997 г. проектът TEMPERE (Training and Education in Medical Physics and Engineering Reformation in Europe) обединява усилията на 16 европейски страни с координатор Университета в Патрас (University of Patras, Greece). През 1989 г. друг ТЕМПУС проект със съдействието на Кингс Колидж обединява Балтийските страни (Литва, Латвия и Естония) за подготовка на магистърски курс по Медицинска физика и биомедицинско инженерство. През 1999 г. към втори EMERALD II проект се включват и България, Франция, Северна Ирландия и Чехия. Подготвени са уеб-базирани учебни материали, разпространени също и на компактдиск.

Разширяването на ЕС спомогна за по-тясното сътрудничество в областта на науката и образованието, в това число и на медицинската физика. Едно проучване на EFOMP върху състоянието на обучението по медицинска физика в Европа, проведено в 22 страни през 2005-2006 г., показва ръста на неговото развитие [7]. Във всички страни, в които има обучение по медицинска физика, то е университетска образователна степен с продължителност от 2 до 5 години. В 16 страни магистърската степен по медицинска физика е акредитирана. В 14 страни се изисква диплома или лиценз за работа като медицински физик в радиотерапията, нуклеарната медицина, диагностичната радиология и радиационната защита. Само 7 страни имат регистър на медицинските физици. Програмата „Учене през целия живот“ е активна в 13 страни.

Преглед на обучението по медицинска физика в 19 източноевропейски и 2 скандинавски страни беше направен по време на семинара „Синергизъм на ядрените науки и медицинската физика: Обучение и практика на медицинските физици в Балтийските страни”, състоял се в Каунас, Литва, през 2010 г., в който активно участва и България [8]. Богатия си опит споделиха специалисти от Швеция и Норвегия. С помощта на тези страни Онкологичната и Университетската болница в Каунас са снабдени с най-модерна апаратура за радиодиагностика и радиотерапия, която се използва активно и за обучение на медицинските физици. Със съдействието на проект LAT9006 на IAEA в Техническият университет в Рига е изградена съвременна база за практическо обучение на медицински физици. Висок интерес към медицинската физика се наблюдава

в Гърция. Университетът в Патра работи в тясно сътрудничество с Министерството на здравеопазването и инженерните висши училища, има богат опит и изградени традиции. В страни като Полша, Румъния, Словения, Унгария, Хърватия и Македония обучението по медицинска физика започва на по-късен етап и е съгласувано с Болонския процес. В някои от тях акредитацията на специалността не е приключила. В Украйна не достигат човешки ресурси и апаратура за поддържане добро ниво на медицинската физика, въпреки че в Киевския национален университет има изградени традиции за широкопрофилно обучение по медицинска физика. Липсва заинтересованост както от страна на политиките, така и от страна на частния бизнес. Обучение по медицинска физика няма в Албания, Кипър, Грузия, Черна гора и Словакия. Работата на медицинския физик в тези страни се изпълнява от други специалисти или те се обучават в чужбина.

В Съединените американски щати обучение по медицинска физика има в 51 университета, в Обединеното кралство се предлагат над 30 различни курса по медицинска физика, в Швеция – 25 магистърски програми, във Финландия – 10. В Канада работят над 400 медицински физици и броят им непрекъснато нараства. Качеството на обучението в тези страни се подсигурава благодарение на добра материална база и практика в клинични условия.

Особена роля за развитието на медицинската физика и обучение на кадри има Международният колеж по медицинска физика към ICTP, Триест [9]. Колежът е създаден и работи под егидата на ЮНЕСКО и Международната агенция за атомна енергия. Основна негова цел е предоставяне на компетентни знания и умения за поддържане на клиничните приложения на физиката. В продължение на 20 години в него са обучени над 1000 специалисти по медицинска физика от цял свят. Учебните програми непрекъснато се обновяват в съответствие с новостите в практиката, а материалите са достъпни и служат за подобряване на обучението по медицинска физика в много страни.

Хармонизирането на обучението по медицинска физика се извършва със съдействието на Европейската комисия, Европейската федерация на организациите на медицинските физици (EFOMP), Международната организация на медицинските физици (IOMP), Международната агенция за атомна енергия (IAEA) и участието на държавните образователни институции и професионални организации. България участва активно в този процес.

Обучение и реализация на медицинските физици в България

България е една от страните-пионери в обучението по медицинска физика. След-дипломното обучение е едно от първите в Европа. То започва през 1982 г. с въвеждане на две нови специализации към Националния център по опазване на общественото здраве – Медицинска радиологична физика и Медицинска санитарна физика. Сега това обучение се осъществява от Националния център по радиобиология и радиационна защита (НЦРПЗ) към Министерство на здравеопазването. Първата магистърска програма по Медицинска физика и радиоекология е открита в ШУ „Епископ К. Пре-

славски“ през 1992 г. Такава специалност на бакалавърско ниво там е въведена през 2014 г. През 1997 г. в ПУ „Паисий Хилендарски“ стартира подготвената по европейски стандарт магистърска програма по Медицинска радиационна физика и инженерство, а бакалавърска програма по Медицинска физика е разкрита през 2008 г. СУ „Св. Климент Охридски“ започва обучение по Медицинска физика в бакалавърска и магистърска програма през 2000 г.

Обратната връзка с дипломираните студенти по медицинска физика в Пловдивския и Софийския университети показва, че над 90% от тях работят по специалността си. За останалите 10% няма данни. Медицинските физици работят в университетските болници в Пловдив и София, както и в онкологичните болници в Пловдив, София, Стара Загора, Хасково и други градове в страната. Голяма част от тях се занимават с научно-изследователска и преподавателска дейност в НЦРРЗ, в няколко института на БАН, в Пловдивския и Софийския университети, в университетските болници в Пловдив, София и Варна. Много медицински физици се реализират във фирми за медицинско уредостроене, ремонт и поддръжка на медицинска техника, в регионалните здравни инспекции, във фирми за трудово-правна медицина и медицинска информатика. Някои от тях са регистрирали собствени фирми. Има и такива, които са потърсили професионалното си поприще в чужбина. От кадри с такава специализация се нуждаят и някои министерства: на здравеопазването, на гражданската защита, на опазването на околната среда, на бедствията и аварията. Недостигът на специалисти налага често по-добрите студенти да започнат работа като медицински физици преди да се дипломират.

През последните години в България се наблюдава тенденция към увеличаване броя на отделенията за лъчетерапия. В резултат на това расте и броят на инсталираните кобалтови и рентгенови уредби, на апаратурата за брахитерапия, на планиращите системи, на компютърните и ядрено-магнитните томографи. Очаква се до 2020 г. броят на линейните ускорители за медицински цели от 5 да нарасне на 22. Закупуването на част от тези апарати е в рамките на проект на Средносрочната рамкова инвестиционна програма на Министерство на здравеопазването за изпълнение на Рамково споразумение BG161PO001-1.1.08-0001-1 за предоставяне на безвъзмездна помощ BG161PO001/1.1-08/2010 „Подкрепа за реконструкция, обновяване и оборудване на държавни лечебни и здравни заведения в градските агломерации“, който се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Регионално развитие“ 2007-2013, съфинансирана от Европейския съюз.

Всичко това обуславя необходимостта от обучение на квалифицирани кадри, които да обслужват както апаратурата, така и пациентите, третиращи с нея. Доскоро този тип апаратура обслужваше около 15 000 пациента годишно, а броят на нуждаещите се е неколkokратно по-голям. Към това трябва да добавим и необходимостта от кадри за нуждите на медицинската здравна физика (клинична медицина, ехография, ендоскопия, лазерна терапия и хирургия, електродиагностика, хемодиализа, физиотерапия, медицински материали и мн. др.).

По думите на Славик Табаков – вицепрезидент на световната организация по медицинска физика и професор в Кралския колеж в Лондон – „Мястото на медицинския физик и инженер в съвременната медицина прилича на мястото на оркестъра в операта – в шахтата под сцената, но без него няма опера”. Наша задача е да го направим видим [10].

Литература

1. В. Тодоров, Медицинска физика, София, 2002
2. <http://www.efomp.org/>
3. EC Council Directive 97/43 Euratom of 30 June 1997, on the health protection of individuals against the dangers of ionizing radiation in relation to medical exposure and repealing Directive 84/466.Euratom, Official Journal of the EC, (1997), L180, V22
4. Държавен вестник, брой 91, 15.11.2005 г.
5. <http://www.ilo.org/public/english/bureau/stat/isco/index.htm>
6. Colin Roberts, Slavik Tabakov, Cornelius Lewis, Medical radiation physics: a European perspective: based on the contributions to the European Conference on Post-graduate Education in Medical Radiation Physics, King's College School of Medicine and Dentistry, London, 1995, Internet e-published by S.D. Tabakov, London, (2001)
7. T. Eudaldo, K. Olsen, The present status of Medical Physics Education and Training in Europe: An EFOMP survey, *Physica Medica*, (2008), V. 24/1, 3-20
8. Materials on the IAEA Seminar & Workshop RER/0/028 9007 01 “Workshop Synergy of Nuclear Sciences and Medical Physics: Education and Training of Medical Physicists in the Baltic States”, 22-24 September 2010, Kaunas, Lithuania, Journal of Medical Physics in the Baltic States, (2010), 1
9. <http://indico.ictp.it/event/a13221/>
10. S. Tabakov, Visibility of the medical Physics Profession, Medical Physics International, V. 2/1, 2014

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

МУЗЕЙНАТА СБИРКА НА КАТЕДРА „ФИЗИКА“ КЪМ МГУ „СВ. ИВАН РИЛСКИ“

Майя Вацкичева, Пламен Савов

Увод

В бързопроменящия се свят, общество и нрави музеите представляват островчетата от познание, които стабилно ни придържат към най-доброто от постиженията на човечеството в миналото и настоящето.

Не е възможно да се върви напред, без да стъпим върху постиженията, направени от нашите предшественици. Това с пълна сила важи за науката, която сме избрали за свое поприще. Физиката изгражда и подобрява своите теории и намира тяхно приложение именно благодарение на вече проученото и създаденото от поколенията физици преди нас.

С изграждането на музейната колекция по физика към катедрата в Минно-геоложкия университет “Св. Иван Рилски” целим да дадем на студентите представа за това как се случват нещата в науката, как се променят, как стават фундамент за следващи постижения.

Представяне на музея

Музейната сбирка беше оформена като важна част от проекта за повишаване на качеството на университетското обучение по обща физика в МГУ „Св. Иван Рилски“, представен с доклад на XLI Национална конференция по въпросите на обучението по физика, проведена в София през септември 2013 г. Работата по събирането и описанието на експонатите, както и оформянето на експозицията, започна преди пет години. Основна част от колекцията са уреди, апарати и инструменти, подбрани или разработени от членовете на катедра „Физика“ за целите на обучението на студентите в МГУ. Други експонати получихме от дарители или самите ние предоставихме.

Музейната колекция от физични и технически прибори и установки наброява над 200 експоната. Тя е разположена във фойетата на катедра „Физика“ и в учебните ѝ лаборатории (фиг. 1) в специално изработени за целта музейни витринни шкафове, получени като дарение от различни фирми, спонсори на катедрата – Строително дружество „Балкан-Г“, „Гипс Кошава“ – АД, ЗПАД „Енергия“ и др.

Към всеки експонат е приложено кратко и разширено описание на същия и на класовете прибори, към които те принадлежат. На фиг. 2 и 3 е показан начинът на текстово представяне на експонатите.

Част от експонатите се използват за демонстрации по време на лекциите и упражненията по физика (фиг. 4). Така студентите имат директен контакт с представеното в музея. Други са били изработени от членовете на катедрата в нейните първи годи-

ни и са намирали и преди, а дори и сега, приложение като постановки към учебния лабораторен практикум (фиг. 5). Някои от уредите, като например „добрите стари“ анемометър и пиранометър на Янишевски (фиг. 6), освен че са част от музейната колекция, се използват и за измервания, свързани с настоящата работа на членовете на катедрата. Въпреки тяхната „преклонна възраст“, с достатъчно добра за нашите цели точност те измерват съответните параметри на атмосферата.

Важна част от сбирката са и някои уреди и апарати от минната промишленост (фиг. 3 – например). Те придават характерен облик на музейната колекция, като подчертават специфичната насоченост на университета.



Фиг. 1. Музейната сбирка във фойето и в лабораторната зала



Електронни лампи

Електронната лампа е активен електронен компонент, с който се усилват, превключват или (по друг начин) се управляват електрическите сигнали. За тази цел се емитира и управлява поток от електрони в един работен обем от вакуум или газ с ниско налягане, често изработен под формата на стъклен балон. По тази причина електронните лампи се наричат и вакуумни лампи.

Фиг. 2. Електронни лампи



Взривообезопасен телефон

Това е обикновен телефон, поставен в кутия от много здрав материал. Той може да се използва например при работа на миньори. Кутията се състои от две части, с много тесен процеп между тях. Когато поради искрене на контактите при работа на телефона в кутията възникне взрив, той се локализира вътре, а изгорелите газове се просмукват през тесните процепи навън, но с ниска температура и не предизвикват запалване на газа в работното пространство на мината.

Фиг. 3. Взривообезопасен телефон



Фиг. 4. Жироскоп



Фиг. 5. Лабораторна постановка за определяне на специфичния заряд на електрона

В процес на разработка е и сайт на виртуалния музей по физика, който ще бъде използван в процеса на обучение на студентите. В интернет страницата професионално заснетите експонати са класифицирани по основни раздели, като към всеки един е добавена подробна информация за историята на създаването му, за неговото приложение и основни параметри. Сайтът ще представлява интерес както за студентите, така и за неспециалисти в областта на физиката.

С разработването на виртуалния музей се стремим да бъдем в крак със съвременните тенденции, налагани от големите световни музеи, към преосмисляне и осъвременяване на начините за достъп до музейните колекции. За засилване на връзката с обществото голяма част от музеите се обръщат към модерните технологии за дигитализация. Последните намират приложение не само при оформлението и представянето на експонатите, но и при създаването на неформален и интерактивен престой в залите на музея.

Чрез дигитализирането на нашата музейна колекция целим да предложим на студентите едно адекватно за развитието на съвременните технологии средство за обучение и повишаване на интереса им към науката физика.

От няколко години стана традиция да се провежда „Ден на отворените врати в катедра Физика на МГУ“, като се канят спонсорите, ръководството на университета, наши колеги и гости. На този ден, който обикновено е около пролетното равенденствие, се изнасят интересни и актуални научно-популярни доклади от специално поканени за целта лектори от други университети и БАН. След презентациите гостите биват запознати с новостите в катедра „Физика“. Събитието завършва с коктейл, на който се обсъждат интересни и конструктивни предложения за бъдещи дейности във връзка с подобряване на нивото на обучение в университетите и за възможностите за съвместна научна дейност с колегите от другите университети и Академията.

Подробна информация за случващото се в катедрата всеки студент или външен за университета потребител може да намери на сайта на катедра „Физика“ – <http://mgu-physics.com>. Там всеки от преподавателите е представен чрез неговата научна дейност – с публикациите му и участието му в различни проекти. Особен интерес за студентите на МГУ представляват учебните помагала за целите на обучението по физика с авторски колектив от членовете на катедрата. Всички предстоящи събития са описани в рубриката на сайта „Новини“.

Заклучение

Виртуалният музей по физика е ценност за МГУ „Св. Иван Рилски“ и показва не само етапи от развитието на физиката и техниката, но и от развитието на самата катедра от момента на създаването ѝ досега. Той предоставя нов аспект в общуването между студентите и наследството на катедрата, а също и с нас, преподавателите по физика, като познавачи на това наследство.

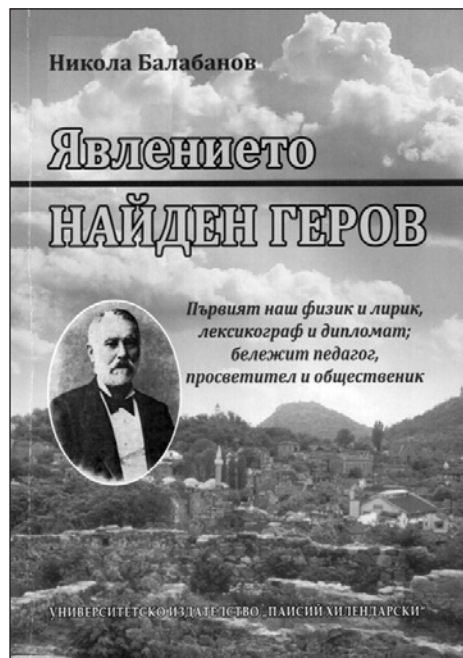
Очакванията ни за музейната сбирка в нейното материално и виртуално изражение е да повиши научно-познавателния интерес на студентите чрез пряк досег с миналото и настоящето на катедра „Физика“ и на самата наука, както и чрез значителния обем графична и текстова информация, която ще им бъде предоставена онлайн.



Фиг. 6. Анемометър
и пиранометър

ЯВЛЕНИЕТО „НАЙДЕН ГЕРОВ“

Людмил Вацкичев



Това е заглавието на книгата, издадена от Университетското издателство „Паисий Хилендарски“ в Пловдив през 2014 г., с автор проф. дфн Никола Балабанов – дългогодишен преподавател и учен в Пловдивския университет. За нас, физиците, Найден Геров е един от най-именитите български будители по време на османското иго у нас през XIX век, но едва ли мнозина от колегите са си представяли неговата дейност свързана по някакъв начин с физиката. За широката общественост Найден Геров е известен просветител и общественик, изявяващ се като дипломат, бележит педагог и (по-специално) като лирик и лексикограф, но връзката му с физиката е малко познато „явление“. Затова (надявам се!) текстът от лицевата корица на книгата ще предизвика интереса и любопитството на физиците, желаещи да се запознаят с новото „явление“. То е описано с

множество исторически сведения и факти, както и с цитати от авторитетни изследователи на времето, през което е действал самият Н. Геров. А тази „базова“ информация, върху която е сътворена книгата на проф. Н. Балабанов, съдържа множество преки и косвени аргументи защо Найден Геров може да бъде наречен „първият наш физик“ в българската наука.

Дейността на Найден Геров (1823-1900) като народен будител обхваща различни негови инициативи. Една от тях е основаването на български класни училища в Копливщица и Пловдив, в които започва да преподава. По негово време Пловдив е град, в който живеят хора от много етноси (турци, гърци, евреи, българи и др.), които говорят различни езици и изповядват различни религии в съответните храмове. По сведения от Л. Каравелов (цитирани в книгата), училища има само за турци и гърци, но не за българите, които като православни християни ползват 5 черкви като духовни храмове. През 1850 г. Н. Геров започва работа в пловдивското българско училище, основано от заможни българи-патриоти. Още в края на първата учебна година обучението завършва с годишен изпит, проведен от самия него! Резултатът от изпита предизвиква силно впечатление сред българската общественост в града и е една от причините през следващите години броят на новоприетите ученици в нови класове постепенно да нарасне.

Само за три години това училище, наречено „Свети Кирил и Методий“, се превръща „в културно и духовно средище на Пловдивската епархия.“

През 40-те години на XIX век Н. Геров се заема с подготовката и написването на учебник по физика, наречен „Извод от физика“, отпечатан в Белград през 1849 г. По това време след „Математичните начала на натуралната философия“ на Нютон, „положени“ още през 1687 г., във физиката е налице сериозен напредък и разнообразие в научните изследвания, заради които самият Н. Геров твърди, че **„Физиката е висока и пространна наука“**. И добавя: „Във физиката, както и във всяка наука, се употребяват особени думи. Ние ги нямаме в нашия език, защото нямаме и самата наука, та голяма мъка видях, докато измисля как да ги употребявам...“ Затова учебникът на Н. Геров (наричан днес „Изводи от физиката“) представлява сериозен принос на автора към книжовния български език, който също претърпява сериозни изменения през столетията – и то не само в областта на физиката!

В книгата на проф. Н. Балабанов са разгледани много подробно източниците, които Н. Геров ползва за написването на своите „Изводи от физиката“, който става първият учебник по физика на български език. С многостранната си езикова подготовка (за която читателят ще научи в книгата „Явлението Найдено Геров“) видният български просветител Н. Геров е ползвал информация за физиката от голям брой чужди автори и е почувствал нейния фундаментален и мирогледен характер. За приноса му към физиката допринасят и други пловдивски просветители – Йоаким Груев и Христо Г. Данов, които разпространяват физични знания и в други градове на предосвободенска България. Те са оценени за достойни ученици на Н. Геров и заедно с него като видни будители са наградени и приети за редовни и почетни членове на БАН след Освобождението. „Те са пръскали искрите на знанията и обичта към родината, с което са осветявали пътя към националното освобождение“ – пише проф. Н. Балабанов – авторът на книгата за Н. Геров. И добавя: „Найдено Геров е истинско явление. Без да е получил филологическо образование, достига до върховете на филологическата наука. Той е най-изявеният и успешен златотърсач в реките на народния говор, каменоделец и ювелир на българския език, използвал литературното си длето при написването на първите новобългарски стихове и пътеписи. Без да е получил специална подготовка по физика, се заема да напише учебник по този предмет на български език, който е сравним с най-добрите европейски учебници по онова време. Не е минал и специално педагогическо образование, но се изявява като ваятел и новатор на българското училище... Това е най-ярката личност, живяла в Пловдив през XIX век, и един от най-видните български дейци на онова столетие...“

Затова, колеги, запознайте се с „Явлението...“!

КОЙ ИМА ИНТЕРЕС ОТ ЛОШ ЗАКОН ЗА ПРЕДУЧИЛИЩНОТО И УЧИЛИЩНОТО ОБРАЗОВАНИЕ?

Олег Йорданов

В последния брой за 2014 г. редколегията на списание „Светът на физиката“ публикува становище на Съюза на физиците в България за готвения нов Закон за предучилищното и училищното образование. Становището беше изготвено от Управителния съвет на СФБ и внесено в Комисията по образование и наука (КОН) към Народното събрание на Република България. В становището се правят конкретни предложения за поправки в Закона, които са придружени с аргументация. За да се разбере напълно смисълът на направените предложения, поправките би трябвало да се проследят в текста на проекта на Закона, който може да се свали чрез сайта на КОН или на прекия линк: <http://www.parliament.bg/bg/bills/ID/15077>. Становището също може да бъде намерено на страницата на КОН.

Законът за училищното образование, който днес е в сила под името Закон за народната просвета, е приет по времето, когато министър на образованието е акад. Матей Матеев – дългогодишен председател на Съюза на физиците в България. Този акт е ключов момент в историята на образованието в страната. Законът, внесен от Матеев, е първият, който поставя образованието на модерна и демократична основа. Както самият той е споделял с мен, законът е приет в последния възможен момент, на последното заседание на Народното събрание на 2 октомври 1991 г., преди да бъде разпуснато при оставката на седемдесет и осмото правителство на България. Преди това, на 12 юли, след приемането на седмата Конституция на страната, НС се е трансформирало от Велико на обикновено. Законът е обнародван в Държавен вестник на 18 октомври 1991 г. Както си му е редът, зад всяка добре свършена и значима работа стои един физик.

Законът не е догма и за изминалите години е претърпял множество промени и допълнения. Някои от тях необходими, но повечето, определено мотивирани от конюнктурни цели. Основният „пакет промени“ са приети на 5 юли 1999 г. Други по-сериозни промени са били приети през 1996 г., 2003 г. и 2005 г. Правени са и опити за по-радикални промени, „с пик“ по времето на министър Даниел Вълчев, за щастие пропаднали.

За съжаление, практиката показва, че един съвременен закон изобщо не е гаранция за успешно образование, което най-отчетливо личи от срина, който се получи в обучението по природни науки и в частност във физиката в последните две десетилетия.

Колегията от години е силно обезпокоена, да не употребим по-силна дума, от постоянната тенденция делът на физиката в училище, а и не единствено на нея, от природните науки, непрекъснато да намалява. Много физици, активни членове на СФБ, в последните две десетилетия публикуваха в пресата тревожни статии, други се опитваха в радио- и телевизионни предавания да образуват обществото, политичес-

кия и икономически елит за ключовото значение, което физическото познание има за развитието на модерното общество. Напразно! В училищната програма физиката е застъпена фрагментарно, без така важната за един научен предмет систематичност и без акцент доколко непосредствено е свързана, от една страна, с икономическото развитие на държавата, а от друга – с математическите методи и математическата компетентност. И това във времена, когато физическите методи и идеи намират все по-широко приложение не само в традиционните си области на влияние, а и в икономиката, социологията и другите обществени науки. Нещата в България са стигнали дотам да се възприема като кошунство, когато някой се опита да каже, че в XXI век часовете по физика трябва да са повече от тези по история. В българското общество много, много по-често се обсъжда дали религията да се въведе като учебен предмет (!?), а не за необходимостта да се преподава физика пълноценно и качествено.

Далеч съм от това да виждам всичко случващо се в черни краски. Много инициативи спомагат за това физиката да се чува в обществото. Например широкото участие на ученици в различните по формат олимпиади и състезания по физика. Участия, съпътствани с успехи, непропорционално големи в сравнение с мястото на страната в света и на отделените за целта средства. През миналата година един от основните „виновници“ за тези успехи, учителят от Казанлък Т. Теодосиев, беше избран от слушателите на националното „Дарик“ радио за мъж на годината в традиционния за радиото конкурс. Редовно се организират школи и конкурси по физика, например годишният конкурс за „Уреди за кабинета по физика“, който се провежда във Физическия факултет в началото на юни, <https://sites.google.com/a/bgphysics.eu/bgphysics/deynosti/konkurs-uredi-za-kabineta-po-fizika>. Да отбележим и летните школи за изявени ученици по физика, организирани от фондацията „Минко Балкански“, астропартиката в с. Байкал и гр. Вършец и много други.

Всичко това обаче е недостатъчно. Хронически, броят на студентите по физика в страната е недостатъчен. В повечето т. нар. „университети“ няма пълнокръвни факултети по физика. Специалност физика не се предлага даже в повечето технически висши учебни заведения (ВУЗ). Физиката и другите природни науки не са част от общообразователната програма на българските ВУЗ. Като краен ефект, толкова важната природонаучна култура и експертиза почти липсва в обществото, с ясни последствия за развитието на икономиката и държавата като цяло.

Коренът на проблема е недостатъчното и често формално преподавано образование по физика в началното и средното образование. И новият закон не решава, а задълбочава този проблем. Трябва обаче да признаем, че голяма вина за сегашното състояние на нещата носим предимно ние – физическата колегия. Нищо няма да дойде наготово, ако продължаваме с ниската обществена активност, с апатията и бездействието. На физиката в България ѝ трябва силно лоби във всички основни политически партии. Такова няма и затова не успяхме да повлияем при подготовката на закона. Следващата важна точка от образователната реформа, може би по-важна от самия закон, е изработването на новата училищна програма. Ще успеем ли да направим необходимото?

ЕНЕРГИЯ НА БЪДЕЩЕТО. ЯДРЕНИТЕ ВЪЗМОЖНОСТИ

Становище на Европейското физическо дружество

Европейското физическо дружество (ЕФД) е независим орган, финансиран с участието на националните физически дружества, групи и индивидуални членове. То представлява 100 000 физици и може да даде експертно мнение във всички области на физиката.

Настоящият доклад се състои от две части: научно-техническа част и становище, което обобщава препоръките на ЕФД. Научно-техническата част е много важна за доклада, тъй като съдържа всички факти и аргументи, формиращи позицията на ЕФД.

Използването на ядрената енергия за производство на електричество е предмет на широка световна дискусия. Някои страни увеличават значително нейното използване. Други постепенно я изваждат от употреба. А трети забраняват използването ѝ със закон. Този доклад за становището на ЕФД има за цел да балансира плюсовете и минусите на ядрената енергия и да информира страните, които вземат решения и обществеността чрез посочване на проверими факти. Настоящата работа има за цел да допринесе за демократичното обсъждане както на научните и технически данни, така и на опасенията на хората.

Нарастването на населението на Земята от 6.5 милиарда днес до приблизително 8.7 милиарда през 2050 г. ще бъде съпроводено с ежегодно нарастване с 1,7% на енергийните нужди. Нито един източник няма да е в състояние да задоволи енергийните нужди на бъдещите поколения. В Европа една трета от произвежданата енергия е електрическа. От нея 31% се произвежда в атомни електроцентрали и 14.7% се дължи на възобновяеми енергийни източници. Въпреки че приносът от възобновяеми енергийни източници е нараснал значително от началото на 90-те години на 20 век, нуждата от електричество реално не може да бъде задоволена без ядрения принос.

Изхвърлянето на парникови газове в атмосферата, сред които въглероден диоксид, има основно значение за усилване на парниковия ефект и води до глобално затопляне. Главният принос идва от изгарянето на изкопаеми горива. По-нататъшното му нарастване ще има определяща роля върху живота на Земята. Енергийният цикъл с ниски въглеродни емисии се смята за възможен изход в борбата с климатичните промени. Ядрените електроцентрали произвеждат електричество без въглеродни емисии.

В световен мащаб 435 ядрени електроцентрали произвеждат 16% от електричеството в света. Те осигуряват надеждно доставяне на електричество при основно и пиково натоварване. Злополуката в Чернобил предизвика обширни дискусии и опасения за безопасността на ядрените електроцентрали. Европейските ядрени мощности вероятно не ще бъдат разширени много в близко бъдеще. Същевременно се очаква значителното им увеличение в Китай, Индия, Япония и Корея. Като всеки енергиен

източник, производството на ядрена енергия е свързано с рискове. Безопасността на ядрените електроцентрали, изхвърлянето на отпадъци, възможното замърсяване и екстремистките заплахи предизвикват сериозно безпокойство. До каква степен съответните рискове могат да се разглеждат като приемливи е въпрос на решение, което трябва да вземе предвид специфичните рискове при алтернативните източници на енергия. Вземането на това решение трябва да бъде направено рационално, чрез технически аргументи, научни открития, отворено обсъждане на факти и сравняване с рисковете при другите източници на енергия.

В отговор на грижата за безопасността, новото трето поколение реактори е създадено така, че разполага с модерна технология за безопасност и подобрена аварийна защита с цел при екстремни необичайни събития, ако се разруши ядрото на реактора, цялото радиоактивно вещество да бъде запазено в защитна обвивка. През 2002 г. международна работна група представи концепция за реактори от четвърто поколение, които по своята същност са изключително сигурни. Те имат подобрени икономически показатели за производство на електроенергия, отделят по-малко ядрени отпадъци, които се нуждаят от хранилища, и са с повишена устойчивост. Макар да са нужни още изследвания, някои от тези системи се очаква да влязат в действие през 2030 г. Системата ADS (Accelerator Driven Systems) представлява реакторна установка, управлявана с ускорител. Тя се състои от реактор и ускорител, което дава възможност за разпадане на плутония до по-кратко живеещи радиоактивни елементи от групата на актинидите, които заместват главните дългоживеещи радиоактивни отпадъци на днешните ядрени реактори. Те също имат потенциал за мащабно енергийно производство след 2020 г. Термоядрените реактори произвеждат енергия чрез синтез на деутерий и тритий без отделяне на CO_2 . За разлика от ядрените реактори, при тях по същество няма дългоживеещи радиоактивни отпадъци. Тази обещаваща възможност може да бъде осъществена през втората половина на 21 век.

Като се има предвид, че нашата планета е поставена понастоящем пред проблемите за опазване на околната среда, днешното поколение е длъжно пред бъдещите поколения да не се отказва от технологии, които имат доказани способности за надеждно и безопасно производство на електричество без въглеродни емисии. Ядрените мощности могат и трябва да имат важен дял сред източниците, имащи ниски емисии на въглероден диоксид. Това ще бъде възможно само ако се спечели обществена подкрепа чрез отворени демократични дебати, на които се представят надеждни научни и технически факти и се вземат под внимание притесненията на хората.

Тъй като производството на електричество от ядрени мощности се отрича в някои европейски страни, а изследванията върху ядреното делене се подкрепят само в някои държави, броят на студентите в тази специалност намалява, както и специалистите в ядрената наука. Има безусловна нужда от ядрена наука и запазване на знанията, както и за дългосрочни изследвания върху ядреното делене, ядрения синтез и методи за изгаряне, преработка и складиране на отпадъците.

Европа трябва да бъде в крак с разработването на реактори независимо от реше-

нията, свързани с тяхното изграждане в Европа. Това е важен допълнителен мотив за инвестиция в ядрен реактор от типа RD&D и е крайно необходимо, ако Европа иска да следва програмите на бързоразвиващите се страни като Китай и Индия, които строят ядрени мощности и помагат да се подсигури тяхната безопасност, например чрез активно участие на Международната агенция за атомна енергия (МААЕ).

Предисловие

Европейското физическо дружество има отговорността да заяви своята позиция по въпросите, по които физиците имат важна роля и които са от първостепенна важност за обществото. Следващото изложение по темата за ядрените възможности и ролята им за бъдещето широкомащабно екологично производство на електроенергия е мотивирано от факта, че много високоразвити европейски страни отхвърлят ядрената възможност в своята дългосрочна политика. Промените в климата, нарастването на броя на населението в световен мащаб, ограничените ресурси на нашата планета, силният икономически растеж на страните от Азия и Латинска Америка и стремежът на развиващите се страни към подобряване стандарта на живот неминуемо водят до нуждата от постоянни източници на енергия.

Авторите на тази статия са членове на комисията по ядрена физика към Европейското физическо дружество, работещи в областта на фундаменталната ядрена наука, но без ангажимент към ядрената индустрия. Докладът представя нашето виждане за предимствата и недостатъците на ядрената енергия като постоянен източник, който посреща нашите дългосрочни нужди от енергия. Призоваваме към преоценка на спирането на ядрените електроцентрали, които работят безопасно и ефективно, и наблягаме на нуждата от бъдещи изследвания върху ядрените възможности и в частност на реакторите от четвърто поколение, които обещават една значителна стъпка напред по отношение на безопасността, преработката на ядрено гориво и изгарянето и изхвърлянето на радиоактивни отпадъци. Изтъкваме нуждата от запазване на знанията за ядрените мощности чрез образование и изследвания в европейските университети и институти.

Научно-техническа част

1. Нужда от устойчиво енергийно производство без въглеродни емисии

Възможността за достъпна енергия е необходима предпоставка за благополучието на човечеството, световния мир, социалната справедливост и икономическия напредък. Обаче човечеството притежава само една планета на разположение и е длъжно да я остави на следващите поколения в жизнеспособно състояние. Това е изразено чрез термина „устойчиво“, чието определение е дадено по следния начин в доклада от 1987: *“Устойчивото развитие удовлетворява нуждите на днешното поколение, без да излага на риск възможностите на бъдещите поколения да задоволяват своите нужди”* [1]. Това етично задължение изисква всяка дискусия за бъдещето на енергията да включва краткосрочни и дългосрочни аспекти на наличните енергийни източници

като достъпност, безопасност и влияние върху околната среда. За постигане на последното производството не трябва да се замърсява околната среда с вредни отпадъци като въглероден диоксид от изгарянето на изкопаеми горива или радиоактивни отпадъци от изгарянето на ядрено гориво. Следващите параграфи очертават състоянието на големите и основни енергийни източници, производството на електрическа енергия в Европа днес и поставянето на проблема за емисиите на въглероден диоксид. Световното енергийно потребление в бъдеще също е разгледано.

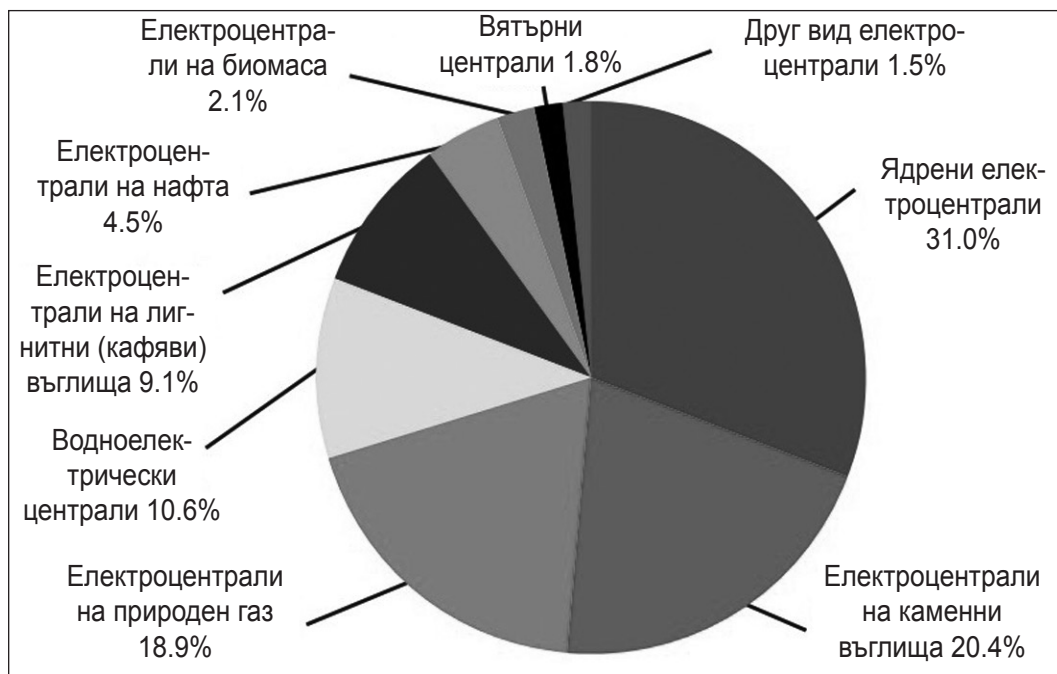
Главни първични енергийни източници

През 2004 г. общото производство на първични енергийни източници в 25-те европейски страни е 0.88 милиарда тона нефт, което се равнява на 10.2 PWh (1 PWh = 1/5 ват часа = 1 милиард MWh) [2]. Тази енергия е осигурена от широка гама големи първични енергийни източници (ядрени: 28.9%; природен газ: 21.8%; изкопаеми горива: 21.6%; суров петрол: 15.3%) и техните производни (въглища, течни горива, бензин) и в по-малка степен от възобновяеми енергийни източници (органични и производствени отпадъци: 8.2%, водна енергия: 3.0%, геотермална енергия: 0.6%, вятър: 0.6%; или общо: 12.4%). Първичните източници задоволяват нуждата от концентрирана енергия за промишлеността, земеделието, частните домакинства и транспорта. Освен това нефтът и газът могат да се използват като преносими източници и са подходящи за нуждите на малки енергийни производства, например в транспортния сектор. От цифрите по-горе се вижда, че ядрената енергия осигурява значителна част от днешните енергийни доставки.

Около 58.7% от общото енергийно производство идва от изгарянето на изкопаеми горива (въглища, течни горива, природен газ). То е съпроводено от емисии на въглероден диоксид, които причиняват до 75% от парниковия ефект. Други газове, които значително допринасят за това, са метан (CH_4 , 13%), азотен оксид (N_2O , 6%) и хлорофлуоро-карбон/фреон (5%) [2]. За да се пребори с парниковия ефект, използването на изкопаеми горива трябва да се сведе до минимум или тяхното нетно производство на въглероден диоксид да се намали драстично където това е възможно. Най-големи потенциали за намаляване на въглеродните емисии има в производството на енергия в транспортния сектор и чрез икономия на потреблението.

Произвеждане на електричество и въглеродни емисии

Общото производство на електрическа енергия от 3.2. PWh от 25-те европейски страни отговаря на 32.3% от цялата енергия, произведена от 25-те европейски страни през 2004 г. Видовете електроцентрали, според различните източници, са дадени на фиг. 1. Около 31.0% от тази електроенергия идва от ядрените централи, 10.6% от водните централи, 2.1% от централите, изгарящи биомаса, 1.8% от вятърните турбини, 1.5% от други източници, сред които геотермалните, допринасят с 0.2%, приносът на слънчевите батерии за производство на електроенергия е незначително [2]. Нито един от тези източници не произвежда въглероден диоксид, когато се експлоатират. За разлика от тях, централите, зареждани с газ, нефт и въглища, от-



Фиг. 1. Произвеждане на електричество според вида гориво, използвано в електроцентралите, 25 Европейски страни, 2004 [2].



Фиг. 2. Резултати от анализа на жизнения цикъл на емисиите на въглероден диоксид от производството на електроенергия чрез различни методи [5]

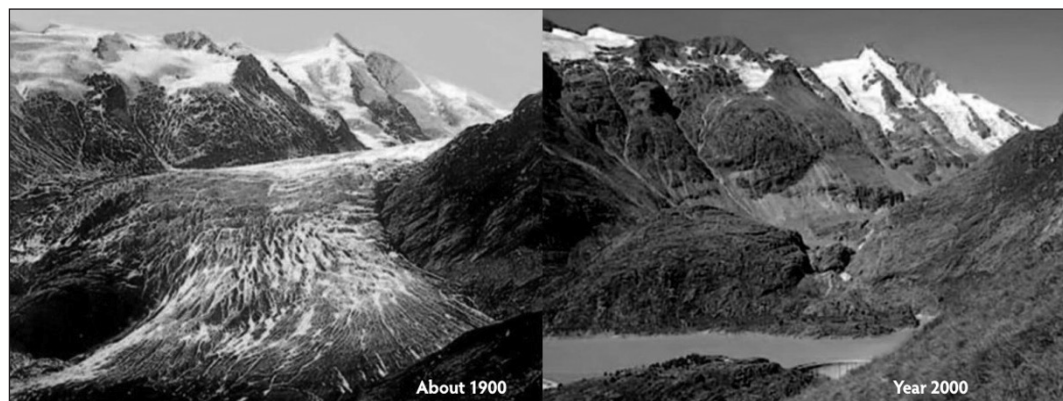
делят въглероден диоксид. Те, взети заедно, допринасят с 52.9% за производството на електроенергия.

От тези данни става ясно, че атомните електроцентрали са най-важният доставчик на електричество за Европа. Те доставят голямо количество стабилно основно и при необходимост върхово потребление. Намалването на техния принос към доставката на електроенергия ще причини сериозен дефицит на електричество в Европа.

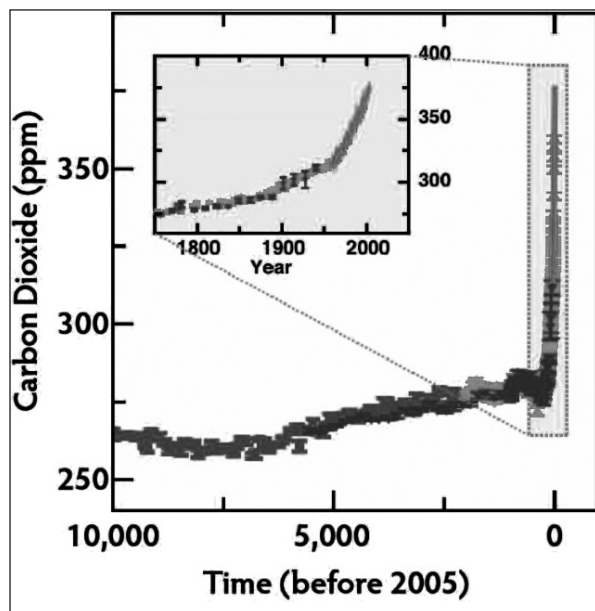
Всички източници на електроенергия се нуждаят от построяването на специални съоръжения за производство и складове за гориво. Тези дейности изискват добив, обработка, преработка и транспортиране и сами по себе си допринасят за емисиите на въглероден диоксид. Взети заедно, те образуват горния производствен цикъл. Съществува също и долен производствен цикъл. При атомните електроцентрали това включва преноса и складирането на отпадъците, а при електроцентралите, използващи въглища или природен газ – продължително използване на серен диоксид, неизгорен въглерод и в идеалния случай – складиране на въглероден диоксид [3], за да се избегне изхвърлянето на вредни емисии в атмосферата. Обаче тази техника изисква значителни изследвания, тъй като ефектите от дългосрочното складиране на въглероден диоксид до този момент не са известни. Преработката на отпадъците от електроцентралите също е част от долния производствен цикъл и двата неизбежно включват емисии на въглероден диоксид. Предимствата и недостатъците на отделния процес от производство на електроенергия могат да бъдат реално обсъдени само ако се оценява целият жизнен цикъл на системата.

Количеството въглероден диоксид, изхвърлено в атмосферата при производството на 1 kWh електроенергия, понякога наричано въглеродна следа, може да бъде пресметнато като вторичен продукт от анализиращия цикъл [4]. Получените резултати ще зависят от вида на електроцентралата и носят редица ползи, показани на фиг. 2 като двойна диаграма за всяко гориво.

Други изследвания използват различни корекции и достигат до малко по-различни стойности. Световният емисионен модел на немския институт Öko [6] дава



Фиг. 3: Най-големият ледник в Австрия Пастерце с височина 3798 m [11].



Фиг. 4: Концентрация на CO_2 (ppm) части от милиона в атмосферата през последните 10 000 години; вътрешният панел: от 1750 [10].

(31.0% от 3.2 PWh) всяка година спестява от 990 до 1270 милиона тона емисии на CO_2 , докато всички възобновяеми източници на енергия взети заедно (14.7% от 3.2 PWh) спестяват по-малко от половината от горепосоченото. За сравнение може да се посочи, че CO_2 , отделен от автомобилния трафик в Европа за една година, е 704 милиона тона (4.4 Ткм/год. [2], 1 Ткм = 1 Теракилометър = 1 милион км; 160 гр/км [9]). Да се замени производството на електричество от атомни електроцентрали с изкопаеми горива в Европа е равносилно на това вредните емисии от трафика във Франция да се увеличат повече от два пъти. Отделянето на CO_2 от около 28 милиарда тона [3] би нараснало с 2.6-3.5 милиарда тона годишно, ако ядреното гориво бъде заменено от изкопаеми горива.

Тези примери от анализа на жизнения цикъл показват недвусмислено, че електричеството, произведено от атомни електроцентрали, има незначителен принос за вредните емисии, които причиняват парниковия ефект и че тези резултати са независими от отношението на институцията, провела анализа към ядрената енергия.

Климатични промени

От началото на индустриализацията светът е претърпял повишаване на средната температура, което е почти сигурно резултат от нарастване на човешкото влияние върху естествения парников ефект чрез увеличаване на вредните емисии на газове в атмосферата [10]. Доказателство за това повишаване на температурата е топенето на

следните стойности за въглероден диоксид в грамове, отделяни при производството на 1 киловатчас от интегрирани системи: въглища (~1000), газов комбиниран цикъл (~400), ядрени (35), хидро (33), вятърни (20) [7]. Тези стойности вероятно отразяват положението в Германия и може да не са типични за други държави [8]. Например Франция произвежда 79% от своята електроенергия в атомни електроцентрали (Германия 31%) и поради това има по-ниски въглеродни емисии от Германия. Дори ако приемем стойностите от справка [4], електроцентралите на въглища все още отделят от 29 до 37 пъти повече CO_2 от атомните електроцентрали. Това означава, че производството на ядрена енергия

ледниците (фиг. 3), на ледовете във вечно заледените територии и арктичната ледена покривка с ускорени темпове.

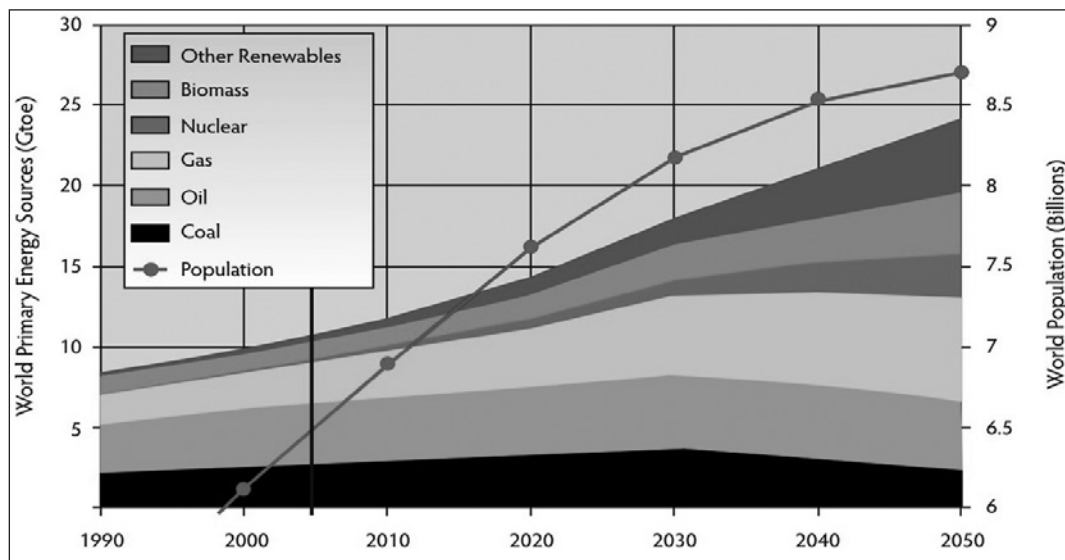
За същия период концентрацията на вредни газове в атмосферата, сред които в най-големи количества е CO_2 , е нараснало до степен, която не е наблюдавана за последните няколко стотици хиляди години. Фиг 4 показва концентрацията на CO_2 за последните 10 000 години. Учените са единодушни, че по-нататъшната концентрация на CO_2 в атмосферата ще има решаващо влияние върху живота на Земята [10, 12]. Така например увеличените емисии на вредни газове, отделяни главно при горене на изкопаеми горива, трябва да бъде контролирано, според договора от Киото [13].

Световни запаси на енергийни суровини

Сценарии за бъдещето на световните запаси на енергийни суровини, които са различни от източниците на електричество, са били обект на обстойно проучване. Сценарии за устойчиво развитие на проучване на МААЕ/ОИСП [14] предвиждат нарастване нуждата от енергия, показано на фиг. 5 в гигатон (1 гигатон петрол = 11.63 PWh), с нарастване на световната популация от 6.5 милиарда души днес до очакваните 8.7 милиарда през 2050 г. За да се посрещне рязкото повишаване на нуждата от енергия, всички налични източници на енергия трябва да повишат своя принос. След 2030 г., когато изкопаемите горива започнат да осигуряват по-малко първична енергия, както е посочено на фиг. 5, ще трябва да се увеличи експлоатацията на ядрените, биологичните и другите възобновяеми източници на енергия (водни, вятърни, геотермални). Според „Световния енергиен обзор 2004“ на МААЕ [16] както енергийните нужди, така и емисиите на CO_2 , свързани с това, ще се увеличат с около 1.7% годишно до 2030 г.

Трябва да се има предвид, че основният възобновяем източник на електричество е водата (фиг. 1) и нейният принос не може да бъде значително увеличен в Европа в близкото бъдеще [17]. От 1990 г. в Европа се строят много вятърни турбини за производство на електроенергия. Обаче е трудно да се предвиди как електричеството, произведено от вятър, ще замени електричеството, произведено от газ, нефт и въглища (52.9% общо) или от ядрена енергия (31.0%) в близко бъдеще – малкото годишно увеличение не е достатъчно, както може да се заключи от фиг. 5. Ето защо, всички възможни източници трябва да се разработят, за да се справим с нарастващата нужда от енергия.

Амбициозният план на Европейския съюз да намали до 2020 г. вредните емисии от CO_2 с 20% под нивото от 1990 г. [18] се основава на значително намаляване на емисиите на CO_2 от транспортния сектор, но така също и на много по-бързото нарастване на слънчевите батерии и вятърните турбини в сравнение с миналото. Обаче производството на електричество, например чрез вятърни турбини, ще трябва да се увеличи до 17 пъти, за да се изравни с производството на електроенергия от атомни електроцентрали. Трудно е да си представим как този растеж ще бъде достигнат до 2020 г. Тези пресмятания дори не включват очакваното 1.7% годишно увеличение на енергийните нужди. Освен това механизмите за складиране на енергията са необходими, за да се осигури доставянето ѝ, независимо от климатичните условия, а такива механизми все още няма. Така плановете за цялостна подмяна на ядрената електро-



Фиг. 5: Сценарии за световни енергийни суровини за устойчиво бъдеще [4, 15].

енергия с такава от възобновяеми източници е спорна, ако не и нереалистична [12]. Ето защо реализирането на плана на Европейския съюз за намаляване на въглеродните емисии зависи силно от атомните електроцентрали.

Подмяната на атомните електроцентрали с такива на твърдо гориво не е опция, тъй като това би увеличило значително общото количество на емисиите CO_2 в световен мащаб. Възобновяемите източници не се увеличават достатъчно бързо, за да заместят ядрената енергия в близко бъдеще. За да отговори на нарастващото търсене от електроенергия, реализиране целта на Европейския съюз за намаляване на CO_2 и избягване потенциално катастрофалните климатични промени, изборът не е между ядрени или възобновяеми източници, а ядрени и възобновяеми източници.

2. Производство на ядрена енергия днес

Ядрената енергия вече се получава от широка гама производства на електроенергия и понастоящем се основава на деленето на Уран-235 (U^{235}) и плутоний-239 (Pu^{239}) в атомните централи. Това съответства на 5% от общото световно производство на енергия, доставя около 16% (2.67 PWh) от общата електроенергия в световен мащаб [19] и спестява между 2.6-3.5 милиарда тона от емисиите на CO_2 годишно. С използването на новите решения, споменати по-горе, ядрената енергия има потенциала да продължи да бъде основен енергиен източник в дългосрочен план, със съоръжения за изгаряне на ядрените отпадъци, като в същото време произвеждат енергия, като следват всички условия за безопасност. В момента (31.05.2007) в света работят 435 атомни електроцентрали, 196 от тях са в Европа [19]. Използват се различни видове реактори: 264 реактора с вода под налягане (Pressurised Water Reactors), 94 водно-водни

реактора с кипеща вода (Boiling Water Reactors), 64 реактора с тежка вода под налягане (pressurised heavy water reactor, CANDU), 18 реактори с охладен газ (AGR&Magnox); 11 графитни реактора с лека вода (Light Water Graphite Reactors) работят в Русия и един в Латвия; 4 реактора с бързи неутрони (Fast Neutron Reactors) – в Япония [19]. Строят се 37 нови ядрени реактора, предимно в Източна Европа и Азия, които ще осигуряват нови 32 GW мощност.

Реакторите в Европа доставят електричество направо до електропреносната мрежа, а тези, които в момента се строят или са планирани, са описани в Таблица 1 (буквата “е” се отнася за мощност).

	Nuclear Electricity Generation 2006		Reactors in Operation May 2007		Reactors under Construction May 2007		Reactors planned May 2007	
	TWh	%e	No.	MWe	No.	MWe	No.	MWe
Belgium	44.3	54	7	5728	0	0	0	0
Bulgaria	18.1	44	2	1906	0	0	2	1900
Czech Rep.	24.5	31	6	3472	0	0	0	0
Finland	22.0	28	4	2696	1	1600	0	0
France	428.7	78	59	63473	0	0	1	1630
Germany	158.7	32	17	20303	0	0	0	0
Hungary	12.5	38	4	1773	0	0	0	0
Lithuania	8.0	69	1	1185	0	0	0	0
Netherlands	3.3	3.5	1	485	0	0	0	0
Romania	5.2	9.0	1	655	1	655	0	0
Russia	144.3	16	31	21743	3	2650	8	9600
Slovakia	16.6	57	5	2064	0	0	2	840
Slovenia	5.3	40	1	696	0	0	0	0
Spain	57.4	20	8	7442	0	0	0	0
Sweden	65.1	48	10	8975	0	0	0	0
Switzerland	26.4	37	5	3220	0	0	0	0
Ukraine	84.8	48	15	13168	0	0	2	1900
UK	69.2	18	19	10982	0	0	0	0
Europe	1194.4	35.4	196	169966	5	4905	15	15870

Табл. 1: Ядрени реактори в Европа [19].

Този капацитет вероятно ще остане непроменен в близко бъдеще с някои подобрения (предимно в Източна Европа) чрез удължаване на живота им. Някои страни (Белгия, Холандия и Швеция) планират постепенно спиране на ядрените електроцентрали, докато в други (Австрия, Дания, Гърция, Ирландия, Италия и Норвегия) използването на ядрена енергия е забранено със закон. Ситуацията в Далечния Изток, Южна Азия и Близкия Изток е доста различна. Там има 90 работещи реактора и се

предвижда значително разширяване специално в Китай, Индия, Япония и Република Корея [19].

Атомните електроцентрали осигуряват 16% от световното електричество. Те са един от стълбовете в производството на електроенергия в Европа и доставят 31% от нейното електричество. Докато в Европа се строят само няколко нови електроцентрали, в Южна Азия и Далечния Изток се предвижда значително нарастване на производството на атомна електроенергия.

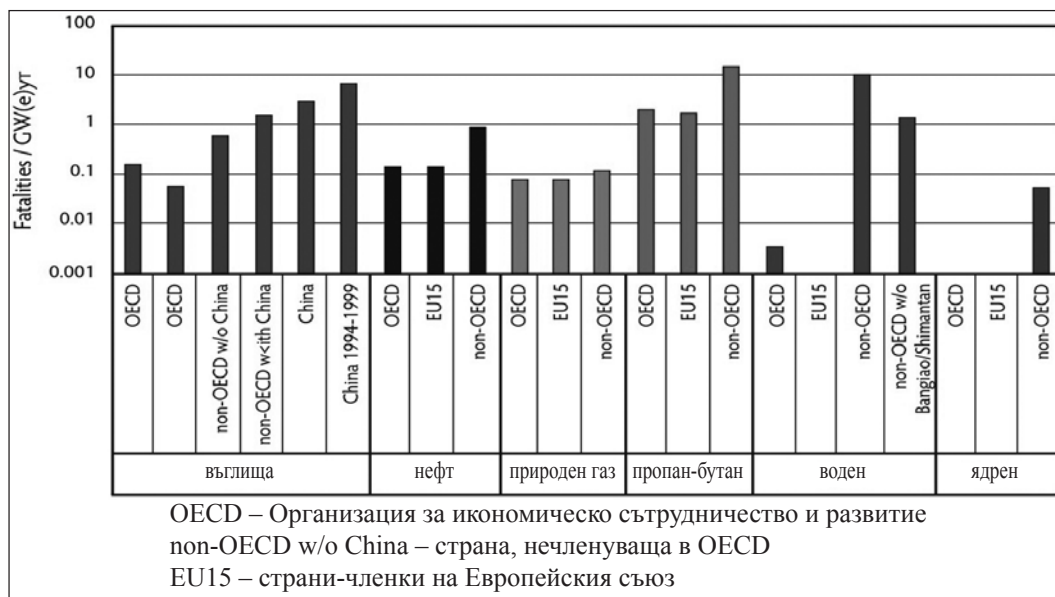
3. Рискове

Рискове и безопасност

Всеки ден от живота ни е изпълнен с опасности, които се свързват с определени рискове. Това се отнася и за производството на енергия. Тъй като човечеството е зависимо от енергията, трябва да се оценят рисковете при използване на различните източници на енергия в зависимост от техните качества. Учените са създали методи за количествено определяне нивото на риска.

Например сравнителният анализ на риска, направен от института „Пол Шерер“, Вилиген, Швейцария [20], се фокусира върху тежки инциденти, свързани с производството на енергия в годините 1969-2000. На Фиг. 6 са представени редица внезапни смъртни случаи, причинени от високо напрежение за година. Атомните електроцентрали се смятат за най-безопасните от гледна точка на внезапни инциденти. В случая с Чернобилската катастрофа обаче трябва да се вземат под внимание дългосрочните последици. Те бяха изследвани през 2005 г. [21] от работна група, съставена от 8 специализирани агенции и държавни органи от Беларус, Руската федерация и Украйна. Докладът описва 50 случая на небрежност сред работниците при аварийни ситуации, довели до смърт от остър радиационен синдром, и 9 деца, които умират от рак на щитовидната жлеза. Въпросът за общия брой смъртни случаи в бъдеще, които са непряко свързани с освобождаването на значително количество радиоактивен материал в околната среда, е сложен и е подробно описан в доклада на работната група [21]. Докато разследването на минали инциденти е по-лесно, то оценката на възможните рискове, които могат да се случат в бъдеще, е значително по-трудна. Такава оценка на риска е направена от Б. Л. Коен, който, за да прецени риска, представя величина, наречена „*очаквана загуба на живот*“ [22]. Този научно основан анализ показва, че рискът от производство на ядрена електроенергия е далеч по-малък от рисковете, които поемаме в ежедневието.

Това обективно оценяване на относителния риск се конкурира с факта, че често има значителна разлика между очаквания риск от дадено събитие и действителния шанс това събитие да се случи. Малък риск от голяма катастрофа се приема различно от голям риск от малка катастрофа, въпреки това общият брой на случайните инциденти за една година може да бъде еднакъв и в двата случая. Това важи в пълна сила за предразсъдъците на обществото по отношение на ядрената енергия, които са пряко свързани с радиоактивността.



Фиг. 6: Сравнение на сумарните, нормалните и свързаните с енергията фатални случаи, базирани на претърпените в миналото тежки инциденти в страните-членки на OECD и страните, нечленуващи в ОИСР, и страните-членки на ЕС за периода 1969-2000, с изключение на данните от годишника на китайската възгледобивна индустрия, от която получаваме информация само за периода от 1994-1999 г. За водните каскади в страните извън Организация за икономическо сътрудничество и развитие стойностите са дадени със и без най-големите инциденти в Китай, приключили с 26 000 фатални случая. Не е направено преразпределение на щетите между страните-членки на Организацията за икономическо сътрудничество и развитие и страните, нечленуващи в тази организация. Само внезапните смъртни случаи са взети под внимание тук [20].

Радиоактивност – феноменът на естественото делене или трансформиране на атомното ядро в друго, съпроводено от излъчване на алфа, бета или гама радиация, наречена още йонизирана радиация – е част от природата и е съществувала много преди формирането на нашата планета. Радиоактивните елементи, като торий и уран, са открити в различни региони в света. В земната кора има богати залежи, които възлизат на 7.2 мг торий в килограм земна кора [23] и 2.4 мг уран на килограм земна кора [24]. И двата елемента се разпадат и произвеждат радий и радон, радиоактивен благороден газ, който се просмуква в рудните залежи и представлява особено голям източник на естествена радиоактивност в близост до такива залежи. Естествената радиоактивност се среща и във флората и фауната. Пример за това е радиоактивният карбон (C-14), който постоянно се произвежда чрез ядрените реакции в земната атмосфера, индуцирани от постоянния поток от космическа радиация, присъства в Слънчевата система, влиза в биосферата и в хранителната верига на всички живи същества. Освен това в

костите на всички животни и хора се съдържа елементът калий (K). Неговият радиоактивен изотоп K-40 (с 0.0117 наситеност) е по-стар от Земята. Като цяло в тялото на среден на ръст човек на възраст 25 години и тегло 70 kg се осъществяват около 9000 радиоактивни разпадания в секунда [25].

Често се твърди, че ядрените електроцентрали отделят потенциално опасни радиоактивни вещества. Много държави имат стандарти, които определят максимално допустимите стойности на емисиите йонизирани частици в газовете, изхвърляни във въздуха, в отпадните води и замърсяването на околната среда. Такъв е Законът за предотвратяване на вредните въздействия върху околната среда, причинени от шум, вибрации и подобни явления във ФРГ [26]. Отклоненията от тях се следят стриктно. Освен това работата на атомните електроцентрали и изследователските реактори е под наблюдение от независими правителствени агенции, които са оторизирани да преустановят работата им, ако тя представлява заплаха. Установено е, че както йонизацията, така и вредните лъчения в близост до ядрени реактори са в нормата на радиационния фон [27]. Трябва да се отбележи, че електроцентралите на въглища също отделят радиоактивен материал, тъй като въглищата съдържат 0.05–3 mg уран на kg [28]. Уранът сам по себе си и продуктите от радиоактивното му разпадане не могат напълно да се задържат от филтрите и попадат в околната среда [29].

Друго широко разпространено твърдение е, че случаите на заболявания от левкемия са много по-чести в районите с ядрени инсталации. Обаче проучванията показват, че „*появата на увеличен брой заболявания от левкемия на дадена територия не зависи от близостта на ядрените инсталации*” [30, 31]. Броят на случаите на заболявания от злокачествени заболявания след аварията в Чернобил беше разследван от работна група [21]. Резултатите бяха дискутирани по-горе.

Безопасността на ядрените електроцентрали е важен въпрос. Унищожителната авария в Чернобил се свързва с използването на графитен реактор с лека вода (RBMK), който все още се използва в Русия и Латвия. Подобни инциденти са невъзможни с другите видове ядрени реактори, използвани в цял свят, заради разликата в технологията. По-нататъшните подобрения, свързани с безопасността, са водещи при разработването на следващите поколения реактори. Те са конструирани така, че разпадът на ядрото на реактора е физически невъзможен или, ако все пак това се случи, цялото радиоактивно вещество ще остане в защитна обвивка и няма да повлияе на околната среда. Защитната обвивка на реактора е проектирана така, че да издържи на всякакъв въздушен удар от летателен апарат.

Отпадъци

Годишно в света се изхвърлят 10500 тона отработено ядрено гориво [32]. Използваното гориво трябва или да се преработи, или да се складира за стотици хиляди години с цел да се запази биосферата от увреждане. Всички радиоактивни частици, съдържащи се в отпадъците, ще се разпаднат с времето до стабилни частици. Различните изотопи в радиоактивните отпадъци, ако бъдат погълнати или вдишани, представляват заплаха за живите организми в зависимост от вида на лъчението, което изпускат, скоростта

им на разпадане и времето за задържането им в организма. Тази заплаха е определена като радиотоксичност и представлява мярка за това колко опасен е радиоактивният отпадък. Примери за частици с висока радиотоксичност са дългоживеещите изотопи на плутония и някои изотопи на актиниевите елементи нептуний, америций и кюри. Същевременно разпадните продукти с кратък живот са по-малко радиотоксични, защото тяхната радиотоксичност намалява бързо с времето. Радиоактивните отпадъци идват не само от действащите и спрените атомни електроцентрали, но също и от ядрената медицина и научно-изследователските лаборатории. Складирането на тези ниско- и средноактивни отпадъци в подходящи хранилища не е от първостепенна важност и понастоящем се осъществява от няколко държави. Трябва да се отбележи, че всички европейски страни, в които функционират атомни електроцентрали (табл. 1), и тези, които използват радиоактивни материали или йонизиращи лъчения, са подписали „Общо споразумение за безопасно съхранение на отработено гориво и безопасно съхранение на радиоактивни отпадъци” на МААЕ [33].

Основна грижа обаче е отработеното ядрено гориво, което съдържа бавноразпадащи се елементи. В краткосрочен план отработеното ядрено гориво се съхранява безопасно от създаването на първите ядрени реактори. След изваждане от реактора отработеното гориво временно се складира под вода, за да може радиоактивните частици с кратък живот да се разпаднат. След това то или се преработва, за да може уранът и плутоният химически да се извлекат и отново да се използват за гориво, или еднократно се пакетира (главно в стъкловидна форма) за складиране дълбоко под земята за дълъг период от време. При този еднократен цикъл отработеното гориво ще се съхранява поне за 170 000 години, за да достигне до радиотоксичните нива на урана, от които той произлиза. Премахването на 99.9% от плутония и урана намалява времето за съхранение до около 16 000 години, а с бъдещите напреднали технологии, които също ще премахват по-малко активните актиниди, времето за безопасно складиране на останалите разпадни продукти ще намалее до малко над 300 години [34]. Извлечените по-малко активни актиниди трябва да се преобразуват в разпадни продукти с къс живот или да бъдат изгорени в специално приспособени за целта съоръжения, които ще бъдат обсъдени по-нататък.

При дългосрочното съхранение в хранилища дълбоко под земята единственият проблем, на който трябва да се намери решение, е водата. Възможните странични ефекти от такива хранилища са забелязани в няколко страни и безопасността за земята за дълъг период от време е била подробно изследвана (например при складирането на отработено гориво от шведските реактори в съоръжение под земята в Олкилуото) [35]. Този вид складиране решава проблема с отпадъците, поне временно, и в определени случаи не изключва изваждането им за бъдеща обработка [36].

Ядрено оръжие и терористични заплахи

Използването на ядрено вещество за военни цели е въпрос от първостепенно значение [37]. Когато говорим за този проблем, трябва да разграничим производството на ядрени бойни глави в ядрени реактори, от една страна, и производството на бомби

от екстремисти, от друга. Ядрените глави се строят от атомните държави от обогатен уран или от плутоний за оръжейни цели. Последните не се произвеждат в реакторите на атомните електроцентрали, а в специално построени за целта реактори, които са приспособени да произвеждат главно Pu^{239} [38]. Ниско обогатеният уран, който се използва като гориво в ядрените електроцентрали, не е подходящ за направата на взривни устройства. Плутоният, извлечен от отработеното ядрено гориво, не съдържа необходимите изотопи, подходящи за производството на бойни глави. Следователно, трябва да се наблегне на факта, че отработеният в ядрените електроцентрали плутоний не е подходящ за производство на ядрени бойни глави. Възможността една държава да развива ядрена оръжейна програма не зависи само от наличието на атомна електроцентрала, но също и от наличието на преработващи и обогатяващи съоръжения.

Отделен въпрос е употребата на ядрени вещества от екстремисти [39]. Радиоактивен материал, извлечен химически от отработено ядрено гориво, по принцип може да бъде използван от екстремисти за ядрено оръжие, което има сравнително ниска взривна мощност, не повече от няколко килотона тротилов еквивалент [40], но изхвърля огромно количество радиоактивни елементи в околната среда [41]. Възможно е също една обикновена бомба да бъде използвана за изпаряване на отработени горивни пръти и за разпръскване на техния радиоактивен материал. За да се предотвратят подобни действия, складовете за радиоактивни материали се наблюдават зорко от Международната агенция за атомна енергия [42]. Тъй като преработката на ядреното гориво се извършва в големи промишлени заводи, процесът е строго охраняван и така изнасянето на материал може да бъде успешно предотвратено. В недалечно бъдеще някои реактори от четвърто поколение ще произвеждат далеч по-малко плутоний в сравнение със сегашните реактори [43]. Друга заплаха, която не може да бъде подмината, се основава на възможността екстремистки групи да се домогнат до ядрени оръжия директно от арсенала от демонтирани ядрени оръжия. Ясно е, че в този случай екстремистката заплаха не е свързана с мирното използване на ядрени технологии.

4. Горивен цикъл

Повечето реактори, които работят днес, използват деленето на U^{235} , което се получава при облъчване с бавни (топлинни) неутрони. Оттук произлиза и терминът топлинни реактори. Същият процес се среща при Pu^{239} и U^{233} , които се раждат в топлинните реактори чрез неутронно поглъщане, съответно от U^{238} и (Th^{232}) . За разлика от верижната ядрена реакция при бързите реактори, която се поддържа с бързи (енергетични) неутрони. Други топлинни реактори включват реактори с разтопени соли (виж точка 5) и тези от типа CANDU. Последните се охлаждат и поддържат с тежка вода и могат да работят с естествен уран. И двата могат да произвеждат достатъчно U^{233} , за да продължават да работят, въпреки че продуктите от деленето трябва да се премахват на равномерни интервали. Бързите реактори могат дори да произвеждат повече гориво (плутоний), отколкото използват (ядрен реактор, произвеждащ повече

радиоактивен материал, отколкото е заложен в него). В допълнение към тази класификация са два коренно различни типа реактори по отношение на горивния цикъл: отворен цикъл (използван главно в САЩ) и затворен цикъл (използван във Франция). Тези два цикъла ще се дискутират в отделна точка, тъй като всеки от тях има своите специфични предимства и недостатъци. Първоначално трябва да се обърне внимание на запасите в уранова руда.

Както всеки друг енергиен източник, производството на ядрена енергия не е лишено от рискове и заплахи. Безопасността на атомните електроцентрали, изхвърлянето на отпадъците, възможното увеличаване на екстремистките заплахи са все въпроси от изключителна важност. Доколко съпровождащите рискове могат да бъдат приемливи е въпрос на оценка, която трябва да вземе под внимание специфичните рискове от алтернативните енергийни източници.

Запаси на уранова руда

Находищата на обикновен уран са оценени на 14.8 млн. тона, от които 4.7 млн тона представляват ресурс за ядрената промишленост. Тяхната стойност е оценена на \$130/кг уран [44, 45]. Наличието на около 10 милиона тона е установено чрез подробно проучване и геоложки изследвания на вероятните географски райони. Тези данни вероятно са подценени, тъй като само 43 страни са дали сведения в тази категория. Другите данни включват нестандартни уранови залежи (с много ниско съдържание на уран) и други потенциални ядрени горива като торий. Повечето нестандартни източници се свързват с уран, който се намира във фосфатите (около 22 млн тона), докато други потенциални източници съществуват например в континенталния шелф. Тези залежи е вероятно да се експлоатират, ако цената на урана се повиши. Торият се намира в изобилие, възлизащ на 4.5 млн тона [46], въпреки че не са включени данни от държави с вероятни залежи на торий. Сведенията за 4.7 млн тона използвани ресурси трябва да се сравнят с ежегодните нужди от уран в света, които възлизат на 76 килотона през 2005 [19]. Предвижда се нуждите на реакторите, работещи с уран, в световен мащаб да нараснат между 82 килотона и 101 килотона до 2025 г. Нуждите на Северноамериканския и Западноевропейския регион се очаква или да се задържат сравнително непроменени, или леко да намалееят, докато в останалите региони по света те ще се увеличават [44]. От тази оценка следва, че има достатъчно уран в проучените находища за гориво на ядрените реактори с отворен горивен цикъл за следващите 50 години. Като се вземат предвид стандартните (10 млн тона) и нестандартните (22 млн тона) залежи, които вероятно ще бъдат експлоатирани при нужда, резервът в урановите мини вероятно ще стигне за няколкостотин години, дори ако уранът се използва в отворен цикъл. Ако се използва затворен цикъл, урановите запаси ще стигнат за хиляди години.

Еднократен или отворен цикъл

След добиването му, уранът се преработва в уранов хексфлуорид (UF_6). Той се обогатява изотопно, за да се увеличи концентрацията на U^{235} в ядрото до 4.6%.

Концентрацията на U^{235} в естествения уран (0.72%) е твърде ниска за използване в повечето реактори, освен в реакторите от канди тип (CANDU), които работят с естествен уран. Следващата стъпка е превръщането на флуорида в обогатен уранов оксид – UO_2 , от който се произвеждат сачми и се монтират в пръти. Тези пръти стоят в реактора до около четири години, докато контролираната верижна реакция на делене на атома постоянно освобождава енергия, която се трансформира в електричество. Всеки етап от производството сам по себе си е пълен производствен процес. Тъй като използваното в прътите гориво не се преработва, всички нискоактивни актиниди, в частност плутоний, остават в горивните прътове във форма, която не може да бъде използвана за производство на оръжия. Това е естествена защита срещу разпространението на ядрено оръжие, което е основното предимство на отворения горивен цикъл [47].

Най-големият недостатък на този процес е, че той произвежда радиоактивни отпадъци, които трябва да се складират в продължение на стотици хиляди години, за да се намали тяхното ниво на радиотоксичност до това на естествената руда. Този цикъл води до загуба на уран и разпадане на плутоний. Например в действащите в момента реактори с лека вода първичното обогатяване на U^{235} е 3.3%, а в отработеното гориво то все още е 0.86% [48]. В естествения уран количеството U^{235} е 0.72%.

Затворен цикъл

Процесите, протичащи в реакторите със затворен цикъл, до голяма степен следват същите стъпки като при еднократния цикъл. Основната разлика е, че отработеното гориво се преработва химически (обогатяване на плутония и урана чрез извличане, PUREX). По този начин и двата елемента (плутоният и уранът) се обогатяват за по-нататъшна употреба като смесени оксиди [49]. Извличането на урана и плутония от отработеното ядрено гориво се прави рутинно в Лахаг (Франция), Селафийлд (Великобритания), Рокашо (Япония) и Маяк (Русия). Нискоактивните актиниди не се извличат и са основните съставки на дългоживеещите радиоактивни отпадъци, които трябва да се съхраняват безопасно (виж: отпадъци) или да се изгарят. Разделянето е продължителен процес, свързан с рискове, които бяха разгледани (екстремистки заплахи). В съоръженията, понастоящем, разделящи изотопите, са строго наблюдавани от международни органи да пазят записи от тяхното местонахождение.

Предимството на затворения цикъл на горивото е, че има много по-малко потребност от уранова руда. Преработеният материал може да се използва в бързи ядрени реактори, които са стократно по-ефективни. С понастоящем известната поддръжка с уранова руда ядрените реактори биха могли да работят в продължение на 5 000 години, вместо няколкостотин години при еднократния цикъл. По-малката нужда от уранова руда ще намали вредното влияние на рудодобива върху околната среда и освен това ще намали геополитическите и икономически конфликти, породени от снабдяването с уранова руда. Възможен и друг затворен цикъл, базиран на тория [50], който е 3-4 пъти по-често срещан на урана.

Бъдещи възможности за преработка на отработеното гориво

Алтернатива на дългосрочно съхранение на отработено гориво е изгарянето му в специални реактори [43] или превръщането на дългоживеещите изотопи в краткоживеещи посредством реакторноускорителна система (accelerator driven systems). И двата процеса изискват ефективно разделяне не само на уран и плутоний, но също и на слабоактивните актиниди. Ефективността на разделянето е над 99.9%, докато от изгарянето се очаква да бъде около 20%. Следователно са необходими няколко цикъла на разделяне и изгаряне, за да се намали значително количеството на дългоживеещите радиоактивни материали [34]. В такъв случай след малко над 300 години – период, за който безопасното съхранение на отпадъци е лесно постижимо, радиотоксичността на отработеното гориво ще е под това на урана, от който то е произведено.

GFR	Газово охладен бърз реактор	Ефективно управление на актинидите; затворен цикъл на горивото. Доставка електричество, водород или топлина
LFR	Оловен охладен бърз реактор	Малка атомна електроцентрала. Затворен цикъл с много дълъг период за презареждане (15-20 години). Може да се транспортира до мястото на производство на преносима енергия, питейна вода и водород. По-големи реактори от този тип са в процес на разглеждане.
MSR	Реактор с разтопени соли	Проектиран за ефективно изгаряне на плутоний и нискоактивни актиниди; течно гориво, чрез което се избягва последният етап от производството на гориво; естествена безопасност; най-висока степен на устойчивост; най-подходящ за работа с торий.
SFR	Натриев охладен бърз реактор	Ефективно управление на актинидите; обогатяване на урана; затворен цикъл.
SCWR	Свърх критичен реактор с водно охлаждане	Ефективно производство на електричество; възможност за управление на актинидите; еднократен уранов цикъл в най-прост вид; възможен е също затворен цикъл.
VHTR	Реактор на свърх висока температура	Еднократен уранов цикъл; производство на електричество и топлина за нефтохимическата индустрия; термохимическо производство на водород.

Табл. 2: Реактори от IV поколение и някои техни особености [43].

Обещаващите трансмутационни схеми, базирани на реакторно ускорителна система (accelerator driven systems), се проучват през последните десетилетия [51]. Тази нова система се разработва в Европа и Азия. Основната идея на хибридният реактор е да се комбинира ядрен реактор с високоволтов, високоенергетичен протонен ускорител. Последният е използван за ускоряването на много интензивни неутронни потоци, които предизвикват деление в мишена от уран, плутоний и нискоактивни актиниди. Неутроните са необходими за започване и поддържане на процеса на делене, като е включена и несамоподдържаща се верижна ядрена реакция. По принцип такава хибридна система може да преобразува радиоактивните отпадъци в краткоживеещи продукти от деленето и едновременно да произвежда енергия.

По проект на шеста рамкова програма на Европейската комисия е започнато

проектиране на първото експериментално съоръжение, което ще демонстрира приложимостта на превръщанията реакторно ускорителна система. Идейният проект е разработван успоредно с модул за реализиране на индустриално ниво [52]. Тези изследвания трябва да включват проучване на надеждността и икономическата конкурентоспособност. Такива хибридни системи имат, освен изгарянето на отпадъци, също потенциала да допринесат значително за енергийното производство след 2020 г. Ядрените реакторноускорителни системи са в силна конкуренция с реакторите от IV поколение, които също са проектирани да изгарят нискоактивните актиниди.

Ядрени реактори с отворен и затворен цикъл произвеждат енергия чрез неутронно предизвикано делене на тежки ядра, но обработват отработеното гориво по различен начин. Системата с отворен цикъл е привлекателна от гледна точка на сигурността. Системата със затворен цикъл възстановява отработеното гориво и следователно се нуждае от по-малко уранова руда.

5. Производство на ядрена енергия в бъдеще

Модерни ядрени реактори

Енергийните планове за следващите 50 години показват, че е жизненоважно да се запази ядрената възможност за производство на електроенергия. И все пак съвременните реакторни технологии и техните свързани горивни цикли, основани на U^{235} произвеждат огромно количество потенциално опасни отпадъци. Същевременно за някои видове реактори рискът от катастрофална авария е неприемливо висок. Ядрената индустрия среща силна опозиция в някои европейски страни като резултат от проблемите с безопасността, аварията в Чернобил и ядрените оръжия.

Третото поколение реактори е създадено в отговор на това. Такъв е европейският реактор с вода под налягане (EPR), който понастоящем се използва в Олкилуото, Финландия. С него е направена стъпка напред към обезопасяване на технологията [35]. Характеризира се с подобрена защита към аварии и намалена вероятност за повреда в ядрото на реактора. Подобрената аварийна защита дава гаранция, че при нежелани събития, като разтопяване ядрото на реактора, целият радиоактивен материал ще остане в защитна обвивка и последствията от такъв инцидент ще са ограничени на територията на централата. Също така е подобрена устойчивостта на преки попадения от летателен апарат, включително голям реактивен самолет.

През 2001 г. над 100 експерти от Аржентина, Бразилия, Канада, Франция, Япония, Корея, Южна Африка, Швейцария, Англия, Съединените щати, Международната агенция по атомна енергия и Агенцията за ядрена енергия към Организацията за икономическо сътрудничество и развитие започнаха работа по определяне на целите на новите системи, най-обещаващите идеи, тяхното оценяване и нужните усилия за изследвания и развитие. До края на 2002 г. в резултат на положените усилия са описани шест системи и свързаните с тях изследвания и развитие [43]. При разработването на реактори от IV поколение се слага силен акцент върху сигурността. Ключово изискване е недопускането на аварии като Чернобилската. Освен това, тези реактори ще подобрят

икономическите параметри на електропроизводството, ще намалят количеството на ядрените отпадъци, ще ограничават разпространението на ядрено оръжие и ще представят нови възможности като производство на водород с приложение в транспортния сектор [табл. 2]. Друга възможност е използването на ториево-уранов горивен цикъл. Сред неговите предимства са невъзможността за производство на плутоний и слабо-активни актиниди, като така се намалява радиотоксичността на отпадъците до фактор 1000, в сравнение с отворения уранов горивен цикъл [53].

Въпреки че са нужни още изследвания, някои от тези системи се очаква да влязат в употреба до 2030 г. С подобрените горивни цикли, комбинирани с рециклиране, голяма част от радиоактивното вещество се унищожава. Така изискванията за съхранение на отпадъците се намалява от няколко хиляди години до няколкостотин години.

Твърде рано е да се дава крайна оценка на качествата на ядрения реактор с ускорител и реакторите от IV поколение като производители на енергия и унищожаващи и преобразуващи отпадъците системи, но като цяло положителните качества и на двата са очевидни [54].

Термоядрени реактори

Друга възможност за производството на ядрена енергия без отделяне на CO_2 е ядреният синтез. През 2005 г. е предприета важна стъпка към реализирането му, като е взето решение да се построи международен термоядрен експериментален реактор (ITER) [55] в Кадарш, Франция. В този реактор деутерият и тритият се сливат, за да образуват хелий-4 и неутрон, който отнася 80% от освободената енергия. Хелий-4 е „нерадиоактивна пепел“, която се получава от процеса на разпад. Веднъж започнал да функционира, такъв реактор произвежда тритий, който се нуждае от литий като гориво. Деутерият е тежък изотоп на водорода и се среща в природата буквално в неограничени количества. Световните запаси на литий са изчислени на 12 милиона тона [56], количество, което е достатъчно, за да се смята, че ядреният синтез може да бъде източник на енергия за доста дълго време. Създаването на термоядрени електроцентрали ще използва гориво, активността на което след активиране с неутрони ще намалява сравнително бързо до допустими нива в рамките на сто години. След това материалът може безопасно да бъде обработен без специални съоръжения. Опитът в преработката на радиоактивен тритий оправдава предположението, че ядреният синтез е безопасен източник на енергия. И все пак, ядреният синтез може да се превърне в съществен енергиен източник в началото на втората половина на нашия век, защото технологията на термоядрените реактори се нуждае от значителни допълнителни подобрения.

Концепцията за новите реактори от четвърто поколение се сблъска със строгите критерии за устойчивост и надеждност на енергийното производство, както и за безопасност и неразпространение на ядрено оръжие. Ядреният синтез и ядреното делене могат да допринесат значително за удовлетворяване нуждите от електроенергия в бъдеще.

Заклучение

Разглеждането на въпроса от наша страна доведе до следните заключения:

- Нито един енергиен източник не би могъл сам да задоволи нуждите на бъдещите поколения.
- Ядрените мощности могат и трябва да бъдат включени в списъка с източниците на енергия, които имат много важен принос за производството на електроенергия.
- Модерните ядрени реактори, основаващи се на доказани технологии, използват подобрена система за защита, включително технологията, наречена „пасивна защита“, която ще направи аварии от типа на Чернобилската и всички последствия от нея практически невъзможни.
- Трябва да започнат или да се продължат разширени и дългосрочни проучвания и програми за научни изследвания, развитие и демонстрации. Тези специфични програми трябва да бъдат насочени към реализиране и оценяване на функциониращата демонстрационна система, като например реактор от IV поколение.
- Трябва да се следва програмата за преработване на отпадъци, която използва обещаващите реакторни ускорителни системи или реактори от IV поколение. Необходимата следваща стъпка е свързана с инженерно развитие и пилотни инсталации.
- Трябва да се изучава възможността за удължаване живота на вече съществуващите реактори.
- Използването на ядрени мощности би трябвало да означава разглеждане на енергийното производство и чрез двата процеса – разпад и синтез.
- От гледна точка на дългия период между изследванията и реализирането на която и да е предложена схема възможностите на ядрените мощности за периода след 2020 г. могат да бъдат оценени на база на значително ускорената и разширена изследователска и приложна дейност. Тази дейност изисква съгласуваните усилия на учени и политици, за да се определи в дългосрочен план сигурността и икономическите аспекти на енергийното производство.
- Трябва да се реализира предложението на Европейската комисия за обща европейска енергийна политика от май 2006 г. Тази политика дава възможност на Европа да се изправи пред бъдещите предизвикателства на снабдяването с енергия и ефекта, който те ще имат върху растежа и околната среда [57], според Зелената книга на Европейската комисия за европейска стратегия за безопасно енергийно снабдяване [58].
- Програмата за научни изследвания, развитие и приложение на ядрената възможност също така изисква подкрепа за основно изследване на ядрената и свързаните с нея науки, тъй като само по този начин ще се получи нужното експертно мнение за откриване на нови технологични решения.
- Европа трябва да е в течение с подобренията на конструкцията на реакторите, независимо от решението относно тяхното строителство в Европа. Това е важна допълнителна причина за инвестиция в научни изследвания на ядрените реактори и е жизнено важно Европа да може да следва програмите на бързоразвиващите се страни

като Китай и Индия, които строят ядрени електроцентрали и допринасят за тяхното обезопасяване чрез активното участие на МААЕ.

- Научните изследвания и развитие трябва да бъдат представени в световен мащаб. Проблемите, свързани с устойчивото и мащабно производство на ядрена енергия като изхвърлянето на отпадъци, сигурността, неразпространението на ядрено оръжие и обществената подкрепа, излизат извън държавните граници.

- Трябва да се осъзнае спешната нужда от разрешаване на проблема с парниковия ефект, в рамките на добре дефинирана енергийна стратегия, чрез стимулиране и финансиране на изследователската дейност, включително ядрената енергийна възможност. Европейската комисия вече е възприела тази фундаментална концепция [59].

- За да се спечели обществената подкрепа, е нужна една отговорна програма с безпристрастна информация, която ще помогне на обществото по-добре да оцени технологичните рискове и рисковете на индустриалното стопанство. Нужни са огромни усилия да се информира широката общественост за дългосрочните и краткосрочните аспекти на безопасността и влиянието върху околната среда на различните технологии, които допринасят за това във високоиндустриализираните региони в Европа. Ако ядрените технологии допринасят за това Европа да посреща своите енергийни нужди в бъдеще и да облекчава тежките последици за околната среда от другите енергийни източници, то тогава е много важно да се постигне обществена подкрепа. В противен случай, новаторските подобрения могат да бъдат затруднени или дори спрени заради общественото мнение.

Нито един източник няма да е в състояние да удовлетвори нуждата от енергия на бъдещите поколения. Ядрената възможност, която включва последните основни подобрения на технологията и безопасността, трябва да служи като един от основните компоненти в бъдещите енергийни доставки. Има ясна нужда от дългосрочни програми за изследвания, развитие и демонстрации, също както и от базисни проучвания и на ядрения синтез и на ядреното делене и методите за унищожение на отпадъците, преработването и складирането. Трябва да се намерят начини за информиране на обществото как да прецени възможните рискове разумно. Всеки, който участва във вземането на решения, трябва да е добре информиран по въпросите за енергията. Това е важна задача на европейската научна и изследователска общност.

Литература

[1] World Commission on Environment and Development, *Our Common Future* (New York: Oxford University Press, 1987)

[2] Statistical Office of the European Communities <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>; Europe in figures, eurostat yearbook 2006-07, ISBN 92-79-02489-2; http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-CD-06-001-ENERGY/EN/KS-CD-06-001-ENERGY-EN.pdf

[3] Helmut Geipel, Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Berlin, Germany, at Greenpeace Workshop on "Klimaschutz durch CO₂-Speicherung Möglichkeiten und Risiken" (in German), www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/energie/Geipel_BMWA_CCS_50926.pdf

- [4] Externalities of Energy. A Research Project of the European Commission; www.externe.info
- [5] Uranium Information Centre Ltd., GPO Box 1649N, Melbourne, Australia; www.uic.com.au/nip100.htm
- [6] Öko-Institut e.V. (Institute for Applied Ecology) Postfach 50 02 40, 79028 Freiburg, Germany; www.oeko.de/service/gemis/en/index.htm
- [7] World Information Service on Energy (WISE), P.O. Box 59636, 1040 LC Amsterdam, The Netherlands; www.nirs.org/mononline/nukesclimatechangereport.pdf
- [8] Parliamentary Office of Science and Technology (October 2006, No. 268): Carbon Footprint of Electricity Generation; www.parliament.uk/documents/upload/postpn268.pdf
- [9] http://auto.ihs.com/news/2006/eu-en-auto-emissions.htm?wbc_purpose=Ba
- [10] International Panel on Climate Change, IPCC-report 2007, Working group I, www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf
- [11] Gesellschaft für ökologische Forschung e.V., Frohschammerstr. 14, 80807 München (in German); www.gletscherarchiv.de/202006past1.htm
- [12] International Panel on Climate Change, IPCC-report 2007, WG III; www.ipcc.ch/SPM040507.pdf
- [13] Kyoto-Protocol; <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.html>
- [14] Energy to 2050: Scenarios for a Sustainable Future (2003), International Energy Agency (IEA/OECD) Paris, France; www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/2050_2003.pdf
- [15] The Role of Nuclear Power in Europe, World Energy Council, 2007; www.cna.ca/english/Studies/WEC_Nuclear_Full_Report.pdf
- [16] World Energy Outlook, International Energy Agency, 9 rue de la Fédération, 75015 Paris, France; www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/weo2004.pdf
- [17] Institute of Physics Report: The Role of Physics in Renewable Energy, RD&D, 2005
- [18] http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/com/2007/com2007_0002en01.pdf
- [19] World Nuclear Association, 22a St James's Square, London SW1Y4JH, United Kingdom; www.world-nuclear.org
- [20] Paul Scherrer Institut (PSI), 5332 Villigen, Schweiz, Technology Assessment/GaBE; <http://gabe.web.psi.ch/research/ra>
- [21] World Health Organisation, Avenue Appia 20, CH-1211 Geneva 27, Switzerland; www.who.int/mediacentre/news/releases/2005/pr38/en/index.html
- [22] Bernard L. Cohen: Before it's too late; Springer 1983, ISBN-13: 978-0306414251, www.ecolo.org/documents/documents_in_english/Bernard.Cohen.rankRisks.htm
- [23] Mineral Information Institute, 505 Violet Street, Golden CO 80401, USA; www.mii.org/Minerals/photothorium.html
- [24] Deutsche Zentrale für Biologische Information (in German); www.biologie.de/biowiki/Uran
- [25] Martin Volkmer, Radioaktivität und Strahlenschutz (in German), Courier Druckhaus, Ingolstadt, 2003, ISBN 3-926956-45-3, www.ktg.org/r2/documentpool/de/Gut_zu_wissen/Materialen/Downloads/013radioaktivitaet_strahlenschutz2005.pdf
- [26] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Alexanderstraße 3, 10178 Berlin, Germany (in German); www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/anhang_a.pdf
- [27] Niedersächsisches Umweltministerium; Archivstraße 2, 30169 Hannover, Germany; www.umwelt.niedersachsen.de/master/C24150382_N23066970_L20_D0_I598.html

- [28] Zur Geochemie und Lagerstättenkunde des Urans (in German) Gebrüder Borntraeger, Berlin Nikolassse, 1962, ISBN 3-443-12001-6
- [29] Strahlenschutzkommission, Geschäftsstelle beim Bundesamt für Strahlenschutz, Postfach 12 06 29, 53048 Bonn, Germany (in German); www.ssk.de/werke/volltext/1981/ssk8102.pdf
- [30] Deutsches Krebsforschungszentrum, Im Neuenheimer Feld 280, 69120 Heidelberg, Germany, http://web.archive.org/web/20050430173258/http://www.dkfz.de/epi/Home_d/Programm/AG/Praevent/Krebshom/texte/englisch/204.htm
- [31] R.Neth: Radioaktivität und Leukämie, Deutsches Ärzteblatt 95, Ausgabe 27, 03.07.1998, S.A-1740 / B-1494 / C-1386 (in German); www.aerzteblatt.de/v4/archiv/artikeldruck.asp?id=12227
- [32] www.iaea.org/About/Policy/GC/GC51/GC51InfDocuments/English/gc51inf-3_en.pdf
- [33] <http://www-ns.iaea.org/conventions/waste-jointconvention.htm>
- [34] A.Geist et al.: Reduzierung der Radiotoxizität abgebrannter Kernbrennstoffe durch Abtrennung und Transmutation von Actiniden: Partitioning, NACHRICHTEN-Forschungszentrum Karlsruhe Jahrgang 36(2004) p. 97-102; <http://bibliothek.fzk.de/zb/veroeff/58263.pdf>
- [35] Posiva Oy, 27160 Olkiluoto, Finland; www.posiva.fi
- [36] The Long Term Storage of Radioactive Waste: Safety and Sustainability; A Position Paper of International Experts, IAEA 2003, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/LTS-RW_web.pdf
- [37] Gerald E.Marsh and George S. Stanford: Bombs, Reprocessing, and Reactor Grade Plutonium; Forum on Physics and Society of the American Physical Society, April 2006, Vol. 35, No. 2 <http://units.aps.org/units/fps/newsletters/2006/april/article2.cfm>
- [38] Management and Disposition of Excess Weapons Plutonium, National Academy of Sciences (U.S.), Panel on Reactor-Related Options, 1995; http://www.ccnr.org/reactor_plute.html
- [39] Nuclear Files.org, A Project of the Nuclear Age Peace Foundation, 1187 Coast Village Road, Santa Barbara CA 93108-2794, USA; <http://www.nuclearfiles.org/menu/keyissues/nuclear-weapons/issues/terrorism/introduction.htm>
- [40] J. Carson Mark, Science & Global Security, 1993, Vol. 4, pp 111-128 http://www.fissilematerials.org/ipfm/site_down/sgs04mark.pdf
- [41] Making the Nation Safer – The Role of Science and Technology in Countering Terrorism. In: The National Academy Press (Washington DC, USA) 2002; http://books.nap.edu/catalog.php?record_id=10415
- [42] nuclearfiles.org, A Project of the Nuclear Age Peace Foundation 1187 Coast Village Road, Santa Barbara CA 93108-2794, USA; <http://www.nuclearfiles.org/menu/key-issues/nuclearweapons/issues/proliferation/fuel-cycle/index.htm>
- [43] A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy System, issued by the U.S.DOE Nuclear Energy Research Advisory Committee and the Generation IV International Forum, December 2002, <http://www.gen-4.org/Technology/roadmap.htm>
- [44] Resources, Production and Demand, A Joint Report by the OECD Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency (“Red Book”, 21st edition) <http://www.nea.fr/html/ndd/reports/2006/uranium2005-english.pdf>
- [45] International Atomic Energy Agency, P.O. Box 100, Wagramer Strasse 5 A-1400 Vienna, Austria, <http://www.iaea.org/NewsCenter/Statements/DDGs/2006/sokolov01062006.html>
- [46] The 2005 IAEA-NEA „Red Book“, quoted in <http://www.worldnuclear.org/info/inf62.html>
- [47] Frank N. von Hippel: Plutonium and Reprocessing of Spent Nuclear Fuel; Science, 293 (2001) 2397-2398, <http://www.princeton.edu/~globsec/publications/pdf/Sciencev293n5539.pdf>
-

[48] Martin Volkmer, Kernenergie Basiswissen (in German), CourierDruckhaus, Ingolstadt, 2003, ISBN 3-926956-44-5; <http://lbs.hh.schule.de/klima/energie/kernenergie/basiswissen2004.pdf>

[49] AREVA Head Office, 27–29 rue Le Peltier, 75433 Paris cedex, France, http://www.arevaresources.com/nuclear_energy/datagb/cycle/indexREP.htm

[50] Shaping the Third Stage of Indian Nuclear Power Programme, Government of India, Department of Energy, <http://www.dae.gov.in/publ/3rdstage.pdf>

[51] http://cdsagenda5.ictp.trieste.it/askArchive.php?base=agenda&categ=a04210&id=a04210s122t8/lecture_notes

[52] <http://nuklear-server.ka.fzk.de/eurotrans/>

[53] S. David et al. in Europhysicsnews 2007, Vol. 38, no. 2, p. 24

[54] OECD Nuclear Energy Agency, Le Seine Saint-Germain12, boulevard des Îles, F-92130 Issy-les-Moulineaux, France, <http://www.nea.fr/html/ndd/reports/2002/nea3109.html>

[55] www.iter.org

[56] Mineral Information Institute, 505 Violet Steet, Golden CO 80401, USA, <http://www.mii.org/Minerals/photolith.html>

[57] SCAD Plus: Green Paper: A European strategy for sustainable, competitive and secure energy; <http://europa.eu/scadplus/leg/en/lvb/l27062.htm>

[58] http://ec.europa.eu/energy/green-paper-energy-supply/doc/green_paper_energy_supply_en.pdf

[59] <http://ec.europa.eu/energy/nuclear/doc/brusselsfdemay2002.pdf>

*Изпълнителен комитет на ЕФД
ноември 2007 г.*

Hartwig Freiesleben

(председател на отделението по ядрена физика)
Технически университет в Дрезден, Германия;

Ronald C. Johnson

Университет Сурея в Гилдфорд, Англия;

Olaf Scholten

Kernfysisch Versneller Instituut, Грьонинген, Холандия;

Andreas Türler

Технически университет в Мюнхен, Германия;

Ramon Wyss

Кралски технологичен институт, Стокхолм, Швеция

Превод **Ивелина Терзиева**

www.eps.org

ЗА УЧИТЕЛЯ И ЧОВЕКА ПРОФ. ХРИСТОВ

(по повод сто години от рождението му)

Никола Балабанов

Не претендирам, че зная повече за професор Христо Христов от колегите в Софийския университет и БАН, които са работили заедно с него и под негово ръководство. Моето предимство е в това, че през повечето години на общуването ми с него съм бил извън столицата и впечатленията ми са изчистени от онзи „шум“, който внасят административните отношения и емоциите, съпровождащи изкачването по академичната стълба, които често не са приятни. В този смисъл смятам, че моите спомени и оценки за професора са по-обективни и най-малкото – могат да допълват онези, които дават колегите от близкото му обкръжение.



На снимката: акад. Христов, Таня Попова от Комитета за мирно използване на атомната енергия, проф. Н. Балабанов, акад. Матей Матеев. Това е българската делегация, която поднася приветствие на директора на ОИЯИ акад. Н. Н. Боголюбов по случай 30-годишнината от създаването на института.

Както вече стана ясно, аз ще „титuluвам“ проф. Христов с неговото университетско звание, подчертавайки неговата роля като мой и на хиляди специалисти учител. Три са „териториите“, на които съм общувал и съм се учил от проф. Христов:

– най-напред във физико-математическия факултет, където той беше мой преподавател и декан на факултета, а аз – негов студент и член на деканския съвет, като представител на младежката (комсомолска) организация;

– по-късно аз, като ръководител на катедра, зам.-ректор и ректор на Пловдивския университет, редовно търсех неговото съдействие и ползвах административния му опит като ректор на Софийския университет и директор на ИЯИЯЕ-БАН;

– като председател на пловдивския клон на Съюза на физиците в продължение на 20 години и член на редколегията на Бюлетина на съюза имах непрекъснати контакти с проф. Христов, който беше председател на УС на Съюза и участваше в редколегията до смъртта си.

Така че моите впечатления съвсем не са косвени и повърхностни, а са породени от живата връзка с този човек, за когото аз винаги ще си спомням с топлина.

Ще започна моите спомени с впечатленията ми за

проф. Христов като университетски преподавател

Слушал съм неговите лекции по „Математични методи на физиката” и „Електродинамика”. Това бяха курсовете, в които математиката се осмисляше като фундамент на физиката. Повечето от онова, което бяхме слушали по диференциално и интегрално смятане, висша алгебра и геометрия и го възприемахме, невинаги осъзнато, като „необходимо и достатъчно условие” за нашата подготовка, осмисляхме в курсовете по теоретична физика. Тогава разбирахме, че това е езикът, на който говори Природата. Ще припомня думите на Ричард Файнман, че така, както на глухия човек не може да се опише удоволствието от слушането на музика, така и на човек без математическа култура не може да се предаде удоволствието от разбирането на природните явления и закономерности. В този смисъл, ние именно при проф. Христов усъвършенствахме нашите сетива на физици и започнахме да долавяме мелодията на Природата.

(Не мога да премълча възмущението си от прочетеното преди година в един пасквил, написан от бивш университетски преподавател, който в изблиците си, породени от незадоволени амбиции, пише, че професорите Христов и Дацев са били наизустили лекциите си и, едва ли не, в това се е състояла тяхната преподавателска дейност. За съжаление, тази нелепост и непочтеност беше споделена от университетското издателство, което, ръководено от избуялата деформирана демокрация, лекомислено е позволило да се пишат неверни неща за един от най-авторитетните преподаватели на Алма Матер, за признанието на когото говорят избирането му за декан, зам.-ректор и ректор на Софийския университет.)

Аз, както и моите колеги, с които заедно следвахме или с които по-късно работихме (в това число и една от дъщерите ми – сега доктор по физика), имаме единодушна преценка за проф. Христов – като за много добър преподавател, съвършено владеещ своя предмет, както и методиката на неговото преподаване. Ще споделя два спомена от студентството.

При проф. Христов лекциите ни винаги бяха в т.нар. „Астрономическа аудитория”

(в сградата на „Московска“) – малка, с амфитеатрално наредени банки, изключително удобна за общуване между студенти и преподаватели. Това, за което ще разкажа, се случи един следобед. Чакахме професора за поредната лекция, без да знаем, че той е в чужбина (ако знаехме, едва ли щяхме да го чакаме). След малко закъснение, той влезе запъхтян и усмихнат и първото нещо, което каза, беше: *„Нося ви поздрав от Дубна, току-що пристигнах и от летището право при вас идвам!“*.

Не съм забравил този пример за изключителна преданост към преподавателските задължения и привързаност към студентите.

Вторият спомен е свързан с изпитите при проф. Христов. Не мога да се похваля, че съм бил „отличник“ при него. И двете ми оценки по неговите дисциплини бяха „много добър“ (докато при проф. Дачев имах „отличен“). Но не съм забравил онези човешки думи, които ми каза, когато ми пишеше оценката по електродинамика: *„Балабанов, Вие можете повече!“*. Думите му може би са били повлияни от другите оценки в студентската ми книжка, но за мен те не звучаха като укор, а по-скоро като поощрение, като стимул. И друг път съм споделял, че в живота са ми помагали не толкова похвалите и потупванията по рамото, а поощрения от рода на това: *„Вие можете повече!“*. Защото в тях се съдържа известна критичност, доброжелателност и доверие едновременно.

Не мога да не прибавя към написаното, че два месеца след дипломирането ми проф. Христов ме покани да кандидатствам за асистент в ръководената от него катедра по атомна физика. Да работя в тази катедра беше моя мечта, но до края на конкурса оставаше малко време и аз прецених, че няма да мога да се подготвя. Малко по-късно получих подобна покана и от проф. Раев и благодарение на предостатъчното време за подготовка, постъпих в неговата катедра. А две години по-късно мечтата ми се сбъдна и станах един от основателите на втората в страната катедра по атомна физика в Пловдивския университет.

Няколко думи за администратора проф. Христов

Както вече споменах, като секретар на комсомолската организация във ФМФ, участвах в заседанията на Деканския съвет по времето, когато проф. Христов беше декан (в сегашното демократично време студентите нямат такива права). Това, което ме впечатляваше в неговата работа, беше небюрокрастичното, човешко отношение към решаването на проблемите, особено, когато те касаеха студентите.

Заместник-декани бяха професорите Я. Тагамлицки и Г. Близнаков. Двата бяха по-строги като администратори и при докладване на студентски молби или доклади за техни нарушения бяха категорични за наказания: *„Законът е ясен, няма какво да обсъждаме!“*. И отново съм запомнил една реплика, неведнъж повтаряна от декана проф. Христов: *„Вижте какво, ако трябва стриктно да се спазва законът, ние с вас сме излишни. Другарката Пенева (секретарката на факултета) най-добре познава законите. Тя може да решава всички студентски проблеми без нас. Ние с вас сме тук не за да спазваме задължително законите, а за да преценяваме кога може и трябва да се прави изключение от техните изисквания“*.

Когато през 1972 г. ме избраха за заместник-ректор на Пловдивския университет, проф. Христов беше ректор на Софийския. Отидох при него и го помолих да ми съдейства да се запозная с опита на Алма матер в организацията на учебния процес. Той ме свърза със своя заместник по учебните въпроси проф. Жечо Атанасов, педагог по специалност. Разговорът ми с проф. Атанасов продължи 5 часа, в резултат на което аз прослушах кратък курс по управление на учебния процес. Той също беше доволен от срещата. Разбрал, че съм физик по професия, преди да се разделим сподели: *„Признавам, че вашата наука е много по-трудна. Имам познати физици, които са ми казвали, че публикуват по една статия на 2-3 години. А аз, въз основа на нашия разговор, съм готов още тази вечер да напиша статия за някое педагогическо списание.“*

По същото време, по моя инициатива, организирахме двустранни срещи на ръководните екипи на двата университета, които бяха полезни преди всичко за нас. Срещите продължиха и при ректорството на акад. Б. Сендов.

Посещавал съм многократно проф. Христов и в директорския му кабинет в ИИИ-ЯЕ, и в кабинета му като зам.-председател на БАН (бях член на специализирания научен съвет, чийто председател беше той). Мисля, че проф. Христов беше от онези администратори, които се вслушваха и уважаваха мнението на останалите и беше готов да коригира първоначалните си преценки. При него администраторът никога не надделяваше над човека.

За обществената дейност на проф. Христов

говори фактът, че беше избран почти две десетилетия за председател на Съюза на физиците в България. През същите години аз бях председател на пловдивския клон, което ми даваше възможност всеки месец да присъствам на заседанията на централното ръководство.

По инициатива на проф. Христов, от началото на 70-те години започна организиране на ежегодни национални конференции по проблемите на обучението по физика. Тъй като конференциите се провеждаха в различни окръжни градове, тяхната подготовка включваше предварителни срещи с местните държавни и партийни ръководства. Проф. Христов поддържаше връзка с всички клонове на Съюза, беше навсякъде, където бе необходимо, и с присъствието си осигуряваше добра подготовка на конференциите.

Имам преки впечатления от десетки негови посещения в Пловдив и окръга. Като негов домакин, съм бил свидетел на голямо уважение към него. Той е изнасял много научни доклади и популярни лекции за елементарните частици, за Айнщайн и теорията на относителността, за квантовата механика и др. Спомням си, веднъж дойде в Пловдив с висока температура, но не се беше обадил да отмени срещите. Настанихме го в хотел „Тримонциум“, осигурихме му „чаена терапия“ и въпреки състоянието му, срещите в Пловдив и Асеновград се проведеха (разбира се, за сметка на неговото здраве). Всеотдайност в обществената работа, отговорност за поетите ангажменти, уважение към домакините – такива качества притежаваше проф. Христов.

Освен конференции, свързани с проблемите на обучението, в Пловдив сме

провеждали Конгрес по космически лъчи, конференция „Физика и производство“, „Физика и електронизация“, както и редица чествания, мероприятия на ученическата академия и др. Неговото присъствие и участие превръщаше тези прояви в празник за пловдивските физици.

Не мога да не завърша спомените си за проф. Христов, без да кажа нещо за неговите

Човешки качества

Отново ще повторя, че те надделяваха над останалите – административни, организационни и др. Той винаги беше естествен, не се представяше за такъв, какъвто не беше, никога на важничеше. Като пример ще посоча една среща с кмета на гр. Пловдив – Диран Парилян, предшестваша Международния конгрес по космическо лъчение. И на мен, и на професора ни направи впечатление един необичаен факт – в кабинета на кмета, на огромното му бюро нямаше нито едно листче, все едно, че не е работено или че специално е изчистено за случая. Със свойствената си откровеност, проф. Христов накрая на срещата попита: *„Господин Парилян, впечатлен съм от това състояние на бюрото Ви. И аз съм администратор, но да си призная, при мен всичко е отрупано с книжа – списания, доклади, писма. И съм го възприел като нормално.“*

Кметът се усмихна, стана, отиде до вградените към стената шкафове, отвори един-два, в които се виждаха добре подредени папки, и каза: *„Ето, вижте, всички документи са тук. Когато ми потърбява някой от тях, взимам го, свършвам работата с него и пак го прибирам. Секретарката непрекъснато ми носи писма и доклади, запознавам се със съдържанието им, слагам резолюция, подписвам се където трябва и тя отново ги прибира. Защо трябва да има нещо на бюрото ми?“*

(Това беше урок и за мен, макар и до днес бюрата ми – и в университета, и вкъщи са вечно претрупани.)

Много примери мога да дам за онази непосредственост и непрестореност, свойствени за проф. Христов. Беше началото на септември 1959 г. Влизам в неговия кабинет (на ул. „Московска“). Той ме посрещна, покани ме да отидем до прозореца и с възхищение ми показва току-що позлатените кубета на храм „Ал. Невски“: *„Вижте каква красота!“*. Направи ми впечатление и красотата на кубетата, и неговото вълнение, споделено с един студент.

„Елате да Ви почерпя една баничка!“ – ми каза професора по време на една разходка в Ямбол, където се провеждаше поредната национална конференция; *„Хайде да изпием по една боза!“* – ми предлага при слизането от влака на гара Пловдив и т.н. Професорът беше винаги естествен, неподправен. Нямаше случай да гостува в Пловдив и да не извади от голямата си чанта кутия бонбони и да ни почерпи.

Нашето уважение беше взаимно. Той ме включваше във всякакви комитети и съвети, в комисиите по избор на академици, в делегацията за честване на 30-годишнината на ОИЯИ (март 1986 г.), предложи ме за почетен член на Съюза и т.н.

Последната ни среща беше по средата на март 1990 г. Посетих го в Института, за да го покана на предстоящите прояви в Пловдив. Той ме разпитваше за обстановката

в Университета, вълнуваше се от неуправляемите процеси, които ставаха в страната. Въпреки че беше вече пенсионер и освободен от всякакви постове, тревожеха го събитията, които се случваха през онези първи месеци след големите промени. Изпрати ме чак до двора и когато се качих в колата, ми помаха за довиждане.

След една седмица научих за внезапната му смърт. Не можех да не дойда в София и да не се простя с моя уважаван учител. Заедно с ректора на Софийския университет, застанахме на почит край ковчега му.

Оттогава измина четвърт столетие, но не съм забравил за нашите срещи и общуване. Помня проф. Христов с неговото трудолюбие, книголюбие, човеколюбие, с неговата усмивка и с онези поощрителни думи, които цял живот са ме водили напред, без да ме успокояват от постигнатото: „*Вие можете повече!*”.

Смятам тези думи за своеобразен лост, който добрият учител трябва да използва в работата си със своите ученици. Всеки, който работи с млади хора, трябва да умее да им внушава такава увереност в способностите им, която да ги стимулира за действия. Затова пожелавам на колегите, които имат или ще имат ученици и последователи, да използват в отношенията си с тях тези пропити с оптимизъм и доверие думи: „*Вие можете повече!*”.

Аз лично съм ги запомнил като един важен урок и завет от учителя и човека проф. Христо Христов.

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

ПРОФ. Д-Р ВЛАДИМИР ИЛИЕВ ГЕНЧЕВ (1945-2015)



На 6 януари 2015 г. след дълго и мъчително боледуване почина проф. д-р Владимир Генчев, дългогодишен ръководител на Лабораторията по „Физика на високите енергии“ на Института за ядрени изследвания и ядрена енергетика при Българската академия на науките (ИЯИЯЕ БАН).

Роден на 27 октомври 1945 г. в гр. Искър, Плевенска област, той завършва висшето си образование през 1969 г. в СУ „Св. Климент Охридски“ със специалност „Атомна физика“ с отличен успех и е разпределен на ра-

бота като физик в секция „Високи енергии и космични лъчи“ във Физически институт с Атомна научно-експериментална база (ФИ с АНЕБ) при БАН. През 1972 г. заминава на специализация в Обединения институт за ядрени изследвания (ОИЯИ), Дубна, СССР, където през 1976 г. защитава дисертация на тема: „Изучение формфакторов в $K_L^0 \rightarrow \pi \mu \nu$ разпадах“ и е удостоен с научна степен „кандидат на физико-математическите науки“. През 1977 г., след завръщането си в България, той е избран за научен сътрудник I степен в ИЯИЯЕ, а през периода 1984-1988 г. е отново на работа в ОИЯИ, Дубна за участие в експеримента NA4 по дълбоко нееластично разсейване на мюони на ускорителя SPS в ЦЕРН. През 1991 г. е избран за ст.н.с. II ст. в ИЯИЯЕ БАН, в периода 1991-1993 г. е ръководител на проблемна група „Високи енергии“, а от 1993 до 2015 г. е последователно ръководител сектор „Високи енергии и космични лъчи“ и от 2001 г. на лаборатория по „Физика на високите енергии“. От 2004 г. до 2007 г. е на работа в ЦЕРН за участие в експеримента CMS на ускорителя LHC.

Проф. д-р Владимир Генчев е автор и съавтор на повече от 500 труда, публикувани в реномирани списания, посветени на физиката на високите енергии и елементарните частици. Като ръководител на Лабораторията по „Физика на високите енергии“ (ФВЕ) на ИЯИЯЕ и на дългогодишния договор за сътрудничество с експеримента CMS (Compact Muon Solenoid) той имаше съществен принос за участието на България в ЦЕРН. Той проявяваше активност и съпричастност към дейността на Лабораторията ФВЕ и на Института и неговите служители. Проф. Генчев беше член на Научния съвет на ИЯИЯЕ, на Комисиите за сътрудничество с ЦЕРН и ОИЯИ, председател на

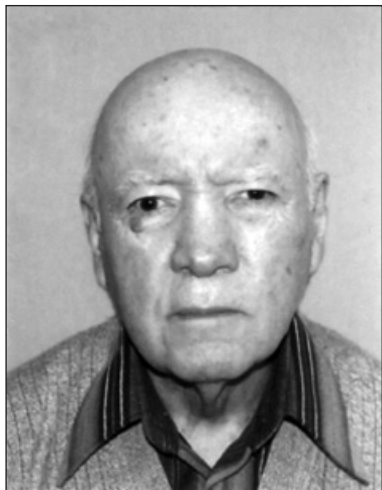
експертния съвет по физика на високите енергии и физика и астрофизика на частиците, научен ръководител на провежданите в ЦЕРН учителски програми за български учители по физика и ръководител на дипломанти и докторанти по физика на елементарните частици.

Проф. Владимир Генчев беше добронамерен, но принципен в отношенията с колегите си и отстояваше последователно и твърдо разбиранията си за наука и научна политика. Ползваше се с признанието на висококвалифициран и авторитетен учен, известен в редица световни университети и научни организации.

Смъртта на проф. Владимир Генчев е голяма загуба за българската колегия от ядрени физици.

Н. Ахабабян

АКАДЕМИК АЛЕКСАНДЪР ИВАНОВ ДЕРЖАНСКИ (1933-2015)



На 6 април 2015 г. ни напусна един от големите български учени на 20-и век, академик Александър Иванов Держански, почетен член на Института по физика на твърдото тяло при БАН. Той постави началото на ядрено-магнитните изследвания у нас и основа българската течнокристална школа.

Александър Держански е роден на 10.02.1933 г. и е възпитаник на Втора софийска мъжка гимназия. Завършил физика през 1955 г., младият учен създава и оглавява във Физическия институт на БАН Лаборатория по ядрен магнитен резонанс. Той разработва редица методи за изследване на молекулната структура, междумолекулните взаимодействия и надмолекулната организация в твърдо и течно състояние на

веществото. В резултат на това открива нов термично стимулиран конформационен преход в миоглобин, един от първите конформационни преходи в белтъци, докладвани в световната литература. През 1968 г. започва пионерни за България изследвания на физичните свойства на течни кристали и ръководената от него лаборатория се трансформира в лаборатория „Течни кристали“. Лабораторията прераства в солидна научна школа, световно известна като *Софийска група по течни кристали*, и дава начало на ново научно направление у нас. В нея израстват като негови ученици редица млади учени-изследователи. Заедно със своите ученици академик Держански разработва молекулно-статистическата теория на диелектричните и флексоелектрични свойства на течни кристали, създава мултиполния модел на взаимодействията в течни кристали, въвежда понятията стерично и бифилно поле и открива появата на обемни въртящи моменти в течнокристален слой под действието на нехомогенно електрично поле, като нарича това явление градиентен флексоелектричен ефект.

Академик Держански е автор и съавтор на около 200 оригинални научни статии, обзори и доклади и на 13 патента, които са добре известни на световната научна общност. Той притежава богат преподавателски и научно-организаторски опит. Изключително успешна е дейността му при провеждането на конференции и школи по течни кристали и биомембрани. Неговото име привлича на посещения у нас много световноизвестни чужди учени, което е от голямо значение за развитието на българската физика на течните кристали.

Като безспорен научен авторитет академик Держански е член на редица между-

народни организации. Високите държавни и академични отличия, сред които са орден „Кирил и Методий“ II и I ст., награда „Акад. Никола Обрешков“, медал „Марин Дринов“, юбилеен медал „100 години БАН“, почетен знак „Георги Наджаков“ (на лента), са признание за неговите качества на учен, ръководител и организатор.

Неговата кончина е тежка загуба за всички, които го познаваха, защото той бе човек умен, мъдър и съпричастен. Отиде си големият учен, научен ръководител, организатор, преподавател, лектор, изпратен с почит и преклонение от ученици и колеги.

А. Г. Петров, Р. Камбурова

През настоящата година редакционната колегия на сп. „Светът на физиката“ в рубриката си Четиво с продължение ви предлага откъси от книгата „Театърът на квантите“ на френските автори Ален Кон, Дани Шеро и Жак Диксмие. Книгата е опит да се представи животът и изследванията на физици и математици във формата на художествено произведение. Основният фокус е върху влиянието на идеите и структурите на некомутативната геометрия върху съвременното развитие на теоретичната физика и физиката на елементарните частици. Събитията в книгата се развиват основно в ЦЕРН, но и в други европейски центрове и университети за теоретична и експериментална физика.

За авторите:

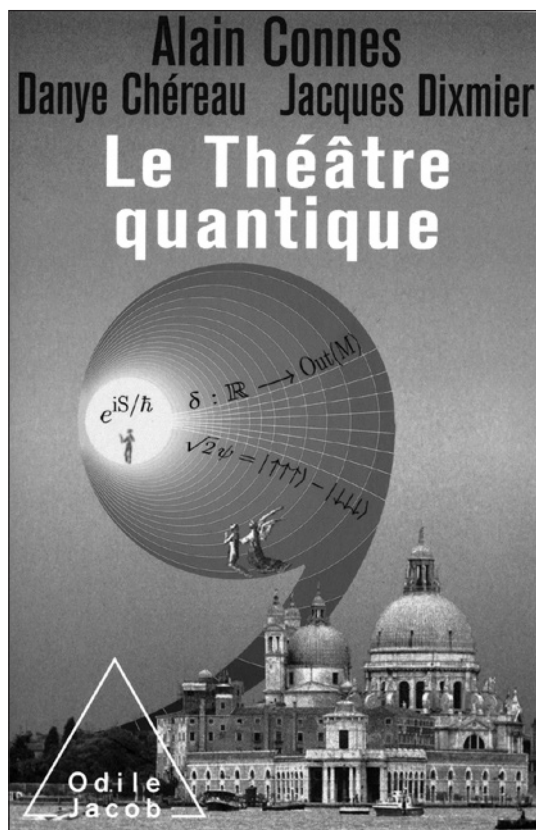
Ален Кон (Alain Connes) е френски математик, работил в областите на операторните алгебри, К-теорията и теорията на индекса. А. Кон се счита

за основен създател и мотивираща фигура в развитието на съвременната некомутативна геометрия. Носител е на множество международни престижни награди в математиката, включително и на Филдсовия медал през 1982 г. Понастоящем А. Кон е професор по математика във Френския колеж, Париж, в Института за висши научни изследвания Бюр-Сюр-Ивет, в Щатския университет на Охайо, САЩ, и университета Вандербилд, САЩ.

Дани Шеро (Danye Chereau) е съпруга на Ален Кон. Филолог по образование. В младостта си Дани Шеро е неподатлива на математическото мислене. Случайностите на живота я срещат с научните среди, към които тя храни много топлота и любопитство.

Жак Диксмие (Jacques Dixmier), роден 1924 г., е френски математик с основни приноси в операторните алгебри. Автор е на основни и широко използвани монографии по алгебри на Фон Нойман, обвиващи алгебри и C^* -алгебри. Дългогодишен професор в университета на Париж и ръководител на докторантурата на А. Кон. Понастоящем е пенсионер.

Преводът от френски е на д-р Петър Тодоров.



О. Йорданов

ТЕАТЪРЪТ НА КВАНТИТЕ

Ален Кон, Дани Шеро и Жак Диксмие

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ: За описанието на ЦЕРН (Европейската организация за ядрени изследвания) авторите са използвали художествена измислица и случките, описани в тази книга, са единствено плод на тяхното въображение.

В истинския ЦЕРН не се срещат нито ревниви любовници, нито екипи в конкуренция, а бюджетът е предостатъчен. Няма и луди учени, а техническите инциденти са сравнително редки. За сметка на това, ресторантът на ЦЕРН действително предлага превъзходни ястия.

Глава 2. Отклонението

Влакът Венеция-Женева тръгва в 22 часа и 09 минути. Шарлот без проблем намира празно купе. Извън натоварения сезон това не е особено трудно. А и вече няма толкова пътници по тази линия, тъй като само старите романтици и сърдечно болните взимат влака, за да преминат Алпите. Спалният вагон е почти празен, за щастие на Шарлот, която има нужда да остане насаме с мислите си и от дълъг сън. Спомените от престоя ѝ във Венеция преминават като филм пред очите ѝ: падналите ангели от катедралата Санта Мария дела Салуте, Големият канал, осветеният купол на музея Пунта дела Догана.

Човек трябва да е истински изтощен, за да заспи в спалния вагон. По навик тя не беше закрила прозореца си със завесата. Легнала на кушетката, с тънката възглавница под главата си, с изпънат към прозореца врат, Шарлот наблюдаваше смяната на нощните пейзажи. Когато ставаше време влакът да влезе в нова гара, пълната Луна и невисоката скорост на влака ѝ позволяваха да вижда нови и нови неща. Предградията я интригуваха и осветените прозорчета на къщите, задоволяваха граниещите с воайорство нейни наклонности. Обичаше да наблюдава хората, дори и седнали на вечерната маса или докато се приготвят да лягат. Ето, влакът преминава през нова малка гара, в далечината се виждат няколко светлинки, а покрай линията се виждат табели с имена на затънтени селца. Това стигаше, за да докара Шарлот в състояние, близко до екстаз. Процес, който тя беше неспособна да обясни. След известно време Шарлот все пак заспива дълбок сън.

Влакът приближава Лаго Маджоре. Шарлот се буди. В далечината, по средата на езерото, пред погледа ѝ, се разкрива нощната Изола Бела. Лунната светлина подчертава романтичните ракурси на острова. Цветята в прекрасните му градини, известни и с хищните си растения, би трябвало да са вече в зимен покой. Но друг спомен връхлита Шарлот в този момент: случката в музея. Кой би могъл да запише нейния глас, част от доклада ѝ на конференцията, и да го сложи в художествената инсталация в една от залите на Пунта дела Догана? На всичкото отгоре, очевидно записът беше пуснат точно при нейното посещение. Кой знаеше, че тя е на посещение там,

откъде идваше звукът? Какъв беше смисълът на това послание: предупреждение, или може би сплашване?

Въпросната конференция в ЦЕРН беше привлякла немалко публика. Хора от всякакви националности, както винаги. Нейните колеги и приятели от ЦЕРН, нейните колеги и врагове от ЦЕРН, целия Принстън, руската група, няколко китайци, шестима японци и индицеа, как може да го пропусне.

Влакът продължаваше бавния си ход край езерото. Отблясъците по повърхността ѝ припомниха августовските нощи във Варена и лятното училище във Вила Монастеро, в което беше участвала преди 14 години. Тогава Шарлот беше на 21 години и участваше в конференцията като докторант по теоретична физика, горещо препоръчана от директора си. Вилата е стар манастир, който се намира на брега на Лаго ди Комо, недалеч от Беладжо. Вила Монастеро е собственост на италиански университет, като много други забележителни места в района, в които се организират конференции и конгреси, за най-голямо удоволствие на участниците и техните съпрузи. Беше невъзможно за участниците да пропуснат да посетят Палацоне ди Кортоне, във Вила Мондрагоне край Фраскати, или някой от другите манастири, превърнати в светски храм на науката. Сред паметниците от околността безспорно най-известна е Вила Фарнезина, чиито стени са покрити с фрески и изобилстваща от статуи; вълшебни места, на които още се усеща духът на Ренесанса, с неговата космополитност и нетърпение за прогрес.

През тази година честта да ръководи лятното училище се падна на Дени Карисимо, чаровен мъж с рядка класа. Дени Карисимо имаше изтънчен вкус и изискано чувство за хумор, които само добавяха към романтичния му темперамент. Друго рядко срещано качество, той беше влюбен в съпругата си, една изключителна жена, както и тя в него. Хармонията на двойката принуждаваше околните да им се възхищават. Шарлот си задаваше въпроса за това дали с нейния бъдещ спътник биха могли един ден да достигнат до такова състояние. Днес Шарлот знае отговора и, за съжаление, само може да отбележи колко е била наивна.

Споменът за това време я развълнува. Беше оставила книгата на Дирак, която четеше, на коленете си и пред очите ѝ сякаш се появяваха отново тези розови храсти, пейката, скрита зад евкалиптовото дърво, от която тя наблюдаваше езерото и сякаш виждаше замъка Грианта. Това лятно училище беше истинска пещера на Али Баба. Най-добрите специалисти от нейната област споделяха с докторанти като нея следобедните почивки, без надменност и готови да отговорят на въпросите ѝ. Италианците не можеха да се сдържат да включват разнородни жестове в обясненията си; нещо, което беше напълно неприсъщо на скандинавците. Някои от големите светили в областта ѝ я поздравяваха. С американците тя би си говорила на „ти“, ако в езика им се срещаха тези белези за съучастничество. Атмосферата беше приятна, във въздуха се носеше една изискана естественост.

Вила Монастеро имаше душа. Обстановката, като декор на картина на Фра Анджелико, със своята красота и хармония можеше да впечатли всеки посетител. За съжаление, обширните зали не разполагаха с картини на Фра Анджелико. Но нещо

като скица на ангел се привидя на Шарлот между стените на Вила Монастеро. С това предимство, че беше от плът и кръв, седнал няколко реда по-напред, най-отляво, и си водеше прилежно записки по доклада на японския лектор. Шарлот беше впечатлена от неговия десен профил. Там, пред нея, беше седнал ангел, който си беше забравил арфата – но какво значение има това – и изглеждаше досущ като избягал от манастира Сан Марко във Флоренция.

Шарлот беше добър учен и знаеше, че за да има сила един научен експеримент, той трябва да може да бъде повторен. Тя трябваше да го види и от лявата страна. Не след дълго те се срещнаха в коридорите на Вила Монастеро и тази среща не отне нищо от очарованието от нейния ангел, който се оказа швейцарец. Но какво значение има това. Идилията трая 15 дена.

Във Варена тя научи много неща. Попълни някои пропуски в разбирането си за групите на Ли. Умът ѝ се отличаваше с особена пъргавина, новите понятия бързо ставаха част от знанията ѝ. Спомените ѝ бяха изпълнени със сантименталност. Шарлот си спомняше аромата на лавандулите, сред които беше прочела за първи път доказателството на тази или онази теорема.

Старият влак продължаваше пътя си към Женева. Мислите на Шарлот я връщат към нейната настояща тема на изследване: Големия Бронзон. Ето, най-после една тежка частица! Неговата маса, ако съществува, е милиард пъти тази на Хигс бозона! А всъщност, от какъв мързел наричаме тази частица бозон на Хигс, след като Англер и Брут имат също толкова заслуга към теоретичното му откриване! Наистина ли няколко срички в повече биха уморили толкова хората? Ходът на мисълта ѝ сякаш беше по-свободен в полубудното състояние, в което се намираше, отколкото ако беше напълно будна. Тя се остави на мислите си, водена от притеснението за тази толкова голяма маса на Големия Бронзон: ами масата му е толкова голяма, защото той играе решаваща роля в механизма, по който неутрината придобиват маса.

Този похват е добре известен на физиците: „Механизма на каскадно нарушение на калибровъчната симетрия“, при който едни частици имат малка, почти неизмерима маса, защото други имат огромна маса¹. Добре, така да бъде, но тогава каква е връзката на Големия Бронзон с гравитацията?

Привидното противоречие между теорията на гравитацията и квантовата физика често пленява мислите на Шарлот. Тя често си спомня за този дебат между Айнщайн и Бор, който придобива впечатляващи размери на Солвеевския конгрес през 1930 г.

Айнщайн пристига на конгреса и излага един от своите мисловни експерименти. Той заявява, че разсъждавайки върху един прост часовникарски механизъм, подобен на часовник с кукувица, човек може да опровергае принципа на неопределеност на Хайзенберг, който твърди, че никой опит не може да определи едновременно енергията на дадено събитие и момента на неговото настъпване, и дава пример с излъчването на

¹ От английското “Tumbling gauge theory”. Във френския оригинал е *Mécanisme de la balance*, (механизъм на люлката). Редакторът благодари на чл. кор. Емил Нисимов за поясненията свързани с този механизъм.

фотон. Часовникът с кукувица в опита на Айнщайн виси на пружина, която служи за кантар, с който се измерва масата на часовника преди и след излъчването на фотона, което позволява да се определи енергията на този фотон; времето на излъчването на фотона пък се чете по стрелките на часовника.

Идеята на Айнщайн се радва на сериозен успех. Шарлот се сеща за тази снимка, на която се вижда тържествуваният Айнщайн, който излиза от едно от събиранията, и Бор след него, разочарован. За да направи мисловния си експеримент, Айнщайн използва известното си уравнение, свързващо маса и енергия. Значение за този опит има и гравитационната константа, тъй като масата на часовника се измерва преди и след излъчването на фотона. Така изглеждало, че съотношението на Хайзенберг, което няма нищо общо с тази константа, не може да бъде вярно в рамките на този експеримент.

Но Бор не приема поражението и изглежда е прекарал следващата нощ на крак. Той вниква още по-дълбоко в опита и това му показва пътя към решението. Всъщност, времето не тече с еднаква скорост на различните височини и човек може да разбере това, количествено, с Общата теория на относителността на Айнщайн! Трябва човек да вземе под внимание Общата теория на относителността в мисловния експеримент на Айнщайн, поради простата причина, че кукувицата си променя височината. Да, променя си височината! Бор трескаво пресмята приноса на този ефект и установява, че гравитационната константа изчезва от крайния отговор. И той стига отново до съотношението на Хайзенберг. Невероятно! Ако Айнщайн се беше задоволил със специалната относителност и не беше развил Общата теория, неговият експеримент щеше да детронира квантовата физика, а ето го сега победен със собствените му оръжия!

На следващия ден Бор е вече победител, понеже е показал, че примерът, замислен от Айнщайн, всъщност само потвърждава принципа за неопределеност. Този пример беше любим на Шарлот, защото той сочеше път към съвместимост между квантовата физика и гравитацията. Тя винаги е завиждала на големите умове за тези моменти на проблясък, при които интуицията предхожда леко мисълта и дава, в по-късен момент, неизмерима радост за мозъка.

Времето минава, спиранията на влака се повтарят с прецизна монотонност, но нейният ум продължава да скита.

Влакът влиза в тясната долина на Рона. Пейзажът навява усещане за хаос. На стръмните наклони се виждат залепени скали, които създават впечатлението да са пред падане. Изведнъж, пряко волята ѝ, мислите ѝ поемат изцяло нов ход. Някой, нещо... я води. И проблясъкът идва! Сякаш нещо разтърсва цялото ѝ същество.

Отвъд огромната превъзбуда, провокирана от новата ѝ идея, започват да я връхлитат тягостни мисли за трудностите, които възникват от евентуалните приложения, които могат да се намерят.

Глава 3. Намереното време

Малко след 8 часа влакът я оставя на мокрия и хлъзгав перон. Такситата са малко, налага ѝ се да чака в студа. Влиза в идеално подредения си и изчистен двустаен апартамент. Докато беше във Венеция, Шарлот беше решила, че добре дозирана разсеяност

и невнимателност няма да ѝ навреди. С колеблив жест отмества двете африкански статуетки, разположени около снимката ѝ с Бертрам, която стои на бюрото ѝ. С иронична усмивка отбелязва наум: „И аз мога да нарушавам симетриите“. Шарлот трепери. Якето ѝ е напоено с вода, тя го хвърля на масата, събува си и обувките. Бързо решава, че трябва да отиде в горещата вана, към която има навика да добавя аромат на кестен.

Във ваната Шарлот разсъждава най-добре. Колко теореми е доказала, но и колко настинки е хванала, заради това че оставя водата да се изстуди! Кестенът отпуска мускулите. След проблясъка в нощния влак тя има усещането, че носи в себе си съкровище, крехко като дете, но и водещо със себе си тягостни мисли. Трябва да провери някои основни точки в книгите, които са на разположение в библиотеката в ЦЕРН. Но внимание! Хората ще идват, ще я разпитват за пътуването ѝ, тя трябва да им говори за магазините, общи приказки, да обсъждат различни неща... Не, Шарлот не иска общи приказки! Рисува да издаде идея, която в никакъв случай не трябва да попада в случайни уши, още повече, че слуховите способности на учените са по-големи от тези на средностатистическия човек. Още повече, че тя вече е била жертва на недобронамерени хищници, дебнещи да заимстват чутото. Все повече се открадват идеи в тази среда, водена от закона на джунглата: „Публикувай или загини“.

Шарлот заживява с тайна с голяма разрушителна мощ, „страхотна и силна“, която тя трябва да пази с похвати на таен агент. Но тя не може да прекъсне редовната си работа, нейният екип има нужда от нея, от нейния поглед върху физиката на високите енергии. Тя вика такси, което да я закара до ЦЕРН. Задръстванията по трасето не са рядкост, а шофьорът, швейцарец, следва буквално правилника за движение. Това ѝ дава време да размисли над идеите си, които усеща замъглени от полусъзнателно, вътрешно колебание, което тя към този момент не разбира. След известно време пристига в ЦЕРН.

Тя минава покрай стаята на портиера и се отправя директно към ресторанта на институцията, който се намира в обширно помещение с разположени големи правоъгълни маси, което позволява на учените да се събират на групи от седем-осем човека. В средата на залата е разположен голям овален бюфет. Ястията са добри, често изпипани, и всеки се ползва на воля. Около петдесетина учени изяждат бавно закуската си, след което се отдават на шумни дискусии по най-разнообразни теми. Какво космополитно събрание, за пореден път отбелязва Шарлот, съзерцавайки за кратко хората. Господ, без съмнение, съжалява за лошата шега, която си прави с хората във Вавилон, и през последните петдесет години позволява на хората да говорят на един език. Тук всички разбират английския. Шарлот подочува части от разговори, на английски с повечко носови звукове, с липсващи части, малко измъчен..., но толкова практичен и здраво застанал на доминантната си позиция. До портокала на касата са застанали основните лица в нейния екип: Раней Ганди, млада индийка с фини черти, Мануел Сервантес, андалусиец с горд поглед, и Валентино Пичи, чист италианец, чието хоби е оперното пеене. Тримата я поздравяват сърдечно. Шарлот, която е само на 35 години, е старши научен сътрудник в ЦЕРН, благосклонна и гъвкава, приятелски настроена, но често звискателна и директна.

– Бих искала, на първо време, горещо късо кафе и кроасан..., по-скоро два кроасана.

Пичи се забързва към бюфета. Тримата учени наблюдават с интерес закусващата си началничка. Тази красива руса жена би могла да избере всякаква професия, например да стане актриса. Външният ѝ вид и силният ѝ характер биха били гаранция за големи успехи в тази област, но научната работа беше нейно призвание. Тя си посвети живота на науката без колебания.

Четиримата започват разговор, както обикновено без табути и без особен респект към йерархията.

– Колко красиви венецианеца – я попита Сервантес – вкара, Шарлот, в гондолите си? Не, не се притеснявай – допълни той, след като видя Шарлот да върти очи – Юнг не е наблизо.

Неуместният въпрос на Сервантес си има своите задни мотиви. Шарлот не презира кратките връзки. С нейната хубост, изборът ѝ е повече от голям, дори и ако се ограничи само в ЦЕРН. Но нейната самодисциплина ѝ забранява забежки с най-близките ѝ сътрудници.

– Бях много разочарована от венецианците. Те непрекъснато са с техните мандолини, и това не е удобно за някои пози.

Пичи възразява, смеейки се. После добавя:

– Ти, предполагам, си наясно с промяната в ръководството? Брасле окончателно е уволнен от директорския пост и сега твоята приятелка Франческа заема мястото му.

– Виж ти – казва тихо Сервантес. – Том излиза от кабинета на Франческа. Не му отне много време преди да се впусне да ухажва новата власт.

Том, или по-точно Томачандраам, 60-годишен, произхожда от индийска брахманска династия. Позволява да му викат Том, понеже си е дал сметка за неудобствата, свързани с произнасянето на името му. Но пък да го наричат Томи съвсем не му хареса, и след първия си опит в тази посока, Сервантес го нарича така само зад гърба му.

Том се върна при постдоците си: Херман Брукнер, Линус Хьод, Чиприан Луческу. Или всъщност не точно, отбеляза Шарлот, Луческу го няма, странна работа. Този екип е в открита конкуренция с екипа на Шарлот. Отношенията им са протоколно любезни, но научна информация между тях се обменя с много резервираност.

– И още една новина – добави Раней – руски милиардер е учредил награда по физика; наградният фонд е три милиона долара, ти да видиш! И първите лауреати са деветима специалисти по струнна теория.

Това изненада Шарлот. И няма как тя да е доволна от това: струнната теория никога не я е привличала. Нейният основен недостатък, както изглежда, е, че теорията, поне засега, не предсказва явления, чрез които да бъде опровергана.

Раней ѝ подава вестника, в който Шарлот вижда и имената на деветимата наградени.

– И деветимата наградени – допълва Пичи – ще определят лауреатите на следващите награди.

На което Сервантес се засмива и една приятна мисъл му минава през главата:

– В крайна сметка руснаците, рано или късно, преоткриват и преоткриват една и съща система. Това нещо не ви ли прилича на пресъздаване на политбюро?

Всички избухват в смях, след което Шарлот вдига рамене. Тя много добре знае, че получателите на тази награда биха я заменили без колебание за няколко реални физични опита, които да проверят валидността на абстрактните им спекулации.

С нови сили Шарлот се качва отново в кабинета си, за да се занимае със задачите, които ѝ изглеждат най-спешни. В коридора се разминава с Том, когото пита как е Луческу.

– Хоспитализиран – отвърща Том – надявам се, не е сериозно.

Шарлот изведнъж забравя за колегите си, за ресторанта и за всичко около нея. Потапя се в спомените си. Болница..., баща ѝ на смъртното си легло..., последните му думи са за бозонен часовник. Ами разбира се! Това е отправната ѝ точка в нейните разсъждения над квантовата механика. Това е неразгадаемото послание, което я измъчва всичкото това време! Тя благодари на умрелия си баща и продължава напред успокоена, но и малко притеснена. Но Шарлот ще изчака преди да обсъди новите си идеи със Сервантес и другите.

Глава 4. Барокова любов

Същата вечер младата жена беше поканила Бертрам Юнг в дома си. Макар и връзката им да бе на практика официална, за нея беше по-приятно да кани любовника си в апартамента си. Феминистка като Шарлот не можеше да не отстоява свободата си, дори и с цената на нещадащите забележки, идващи от съседите ѝ: „Симпатичен е този господин, този ви посещава от време на време; онази вечер именно той ми помогна да си намеря ключа. Внимателен човек!“

Юнг беше канадец, завършил образованието си в Калгари, градът на родето, на дивия запад и на неопитомимите коне, и най-вече на ревността. Срещат се с Шарлот на конгрес в Санкт Петербург. Благодарение на добрата си работа в областта на квантовата физика, получава позиция в ЦЕРН.

Този път Юнг не носи цветя – излязло му е вече име сред съседите, „оня с белите лалета“ – а книга. Опаковката е превъзходна: на пръв поглед едноцветна, а всъщност от много преливащи един в друг близки нюанси антрацитно сиво. Възелът на панделката пък е скрит от бляскаво светлосиво топче. Бертрам е убеден, че е намерил оригинален подарък за Шарлот, който той беше поръчал от Амазон. Ще ѝ хареса, казваше си той, малко притеснен.

Шарлот отваря развълнувана вратата. Той я поглежда с усмивка и не отпуска прегръдката си, докато не става време да ѝ даде подаръка. Тя също се усмихва и вперва поглед в него.

– Каква добра идея – казва Шарлот докато приема подаръка – книга? Надявам се да ми хареса, изглежда голяма, сага ли е?

Времето сякаш спира. Бертрам фиксира с поглед нежните ѝ ръце, бавно отвърз-

ващи панделката. Между двамата любовници протича безмълвен разговор. Тишината се прекъсва от характерния шум от раздирането на хартията.

От прекрасната опаковка, от тази изискана хартия, изскача *Петдесет нюанса сиво*, бестселъра на Е. Л. Джеймс, порно за домакини...

Винаги готов да сгафи! – казва си недоволната Шарлот.

Бертрам усеща хапещата ирония в погледа ѝ. Нещата не вървят по план.

Шарлот се колебае дали да не го отпрати, но иска преди това да обсъди с него някои въпроси от квантовата физика.

– Наистина ли смяташ, че може да ми хареса такава книга? Да си ме виждал в секс-шоп?

– Чела ли си я? – отвръща Бертрам.

– Не, но прегледах откъс от нея в *Монд*, беше ми достатъчно.

– Съжалявам, надявах се да ти хареса, но съм сбъркал. Грешката е моя. Ядосана ли си ми?

– Дори не може да ме ядоса – отвърна Шарлот, хвърляйки книгата на масичката с подигравателна усмивка на лицето – хайде сядай, да ти сипя ли уиски?

– С удоволствие.

– С бучка лед?

– За какво ми е?

Шарлот се засмива.

– Много ми харесва това, че никога не се цупиш.

Шарлот го прегръща и ляга в обятията му. След малко се изправя, хваща го и го отвежда към спалнята си.

– Ела, ще ти пусна диска, който купих във Венеция.

С елегантен жест Шарлот поставя диска в процепа. В стаята се чува: *Non partir, Signor, deh non partire (Останете, синьор, останете)*.

– Опера ли е това? Барокова?

– Коронацията на Попея, от Монтеверди, версията на Харнонкурт от 1974 година.

– Къде я намери?

– В един музикален магазин в Дорсодуро.

– Сама?

– Сама отидох във Венеция и бях там сама през цялото време.

– И какво, вече си прекарваш времето в музикални магазини във Венеция?

– Не утежнявай положението си, слушай.

<i>Adorati miei rai,</i>	<i>Мой прекрасен слънчев лъч</i>
<i>Deh restatevi omai!</i>	<i>Не ме напускай!</i>
<i>Rimanti, o mia Poppea,</i>	<i>Остани, прекрасна Попейо,</i>
<i>Cor, veggio, e luce mia...</i>	<i>сърце мое, очарование, слънчице...</i>

Но атмосферата прилича много повече на Венеция от 1643 г., отколкото на Рим от

62 г. Нерон и Попея са се вкопчили пламенно един в друг, музиката го казва по-добре от текста.

Операта продължава над три часа, но Шарлот и Бертрам се задоволяват само с първия акт.

*Come dolci, Signor, come soavi
Riuscirono a te la notte andanta
Di questa bocca i baci?*

Più cari i più mordaci

Малко по-късно, излегнат върху нея, с нежност в гласа Бертрам я пита:

– Разкажи ми за Венеция.

– Знаеш ли, не ми е до това. Хванала съм една следа в работата си и не искам да я изпускам. Знаеш за този голям брозон. Имам проблем с интерпретирането на квантовата механика. Знам, че ти си отделил много време на тези въпроси и бих искала да чуя мнението ти.

– Знаеш, че не е лесно човек да приеме „посланието“ на квантовата механика, но сякаш всичко се обобщава с онази крилата фраза на Файнман: „*Реалността е суперпозиция на всички виртуални алтернативи*“.

Факт е, че теорията, с нейната математическа формулировка, позволява единствено да бъдат изчислени вероятности за всички възможни алтернативи, и отказва да даде сигурни предвиждания. Не е лесно това да бъде асимилирано и примирено със здравия класически разум.

– Предната нощ във влака си мислех за онзи спор между Бор и Айнщайн, нали се сещаш, момента, в който Бор успява да убеди Айнщайн във валидността на принципа на неопределеност, като си служи с общата относителност.

– Бързаш. Айнщайн никога не е бил наистина убеден в това. Приемал го е най-малко с неохота, но не от невежество или прекален скептицизъм, нито пък за да има той последната дума. Всъщност той е разсъждавал над квантовата механика много повече, отколкото над относителността. Но тези разсъждения са го докарвали до тревожност (*Unbehagen*) от интерпретацията на квантовата механика и от принципа за неопределеност. Малко след случката, за която ти говориш, Айнщайн и двама други физици излизат със статия, в която, нека резюмираме, казват, че „квантовата механика не само че предрича с несигурност бъдещето, но тя *изчислява с несигурност миналото*“.

– Мога да приема без забележки принципа, че квантовата физика налага ограничение на това да можем да предскажем бъдещата траектория на частица. Но да не можем да опишем точно нейното минало, това вече недоумявам.

– И въпреки това, точно това показва въпросният мисловен експеримент. Авто-

рите му заключават, че ако по тези квантови закони дават несигурни предвиждания за бъдещето, то същата несигурност се появява в изчисленията на миналото, която е абсолютно аналогична на несигурността за бъдещето!

- По дяволите, минало, което се променя!
- Разбира се, знам, че не е лесно да се разбере...
- Предлагам по една чаша *Шато Марго*, за улесняване на процеса на разбиране.

Виното, чието качество съперничи с това на музикалния фон, им помага да продължат вечерта в интелектуална еуфория. Шарлот познава добре качествата на това известно бордо. Бертрам продължава:

– Но историята въобще не свършва така. Две години по-късно Айнщайн се връща в боя с нов мисловен експеримент, който този път идва като гръм от ясно небе. Става въпрос за известния парадокс АПР на Айнщайн, Подолски и Розен. Идеята е много проста, достатъчно е две частици да бъдат създадени едновременно, идентични, в една и съща точка, със скорости, насочени в противоположни посоки, така че от съображения за симетрия да можем да определим едновременно техните позиции и импулси, нещо, което принципът за неопределеност забранява. Един наблюдател ще измери позицията на едната частица, а друг – импулса на другата. Тъй като теорията на относителността забранява предаването на информация със скорост, по-голяма от тази на светлината, двете измервания са независими и следователно принципът за неопределеност е нарушен.

– И как реагира Бор на това?

– Изоставя текущата си работа и бавно разбира, след като прави няколко опита да напише отговор, за дълбочината на парадокса и за парадоксалността на понятието „реалност“, което ние имаме за даденост.

– Грубо казано, Бор се скрива зад философски аргументи.

– Да, и отговорът му не убеждава Айнщайн, който е убеден, че има по-пълно обяснение на реалността от квантовата физика. Следващото важно откритие в тази област са работите на Джон Бел и опитите на Алан Аспе, които показват, че предвижданията на квантовата механика не могат да бъдат възпроизведени от теория, допускаща съществуването на скрити променливи, както и че квантовата теория, в основата си, допуска нелокални ефекти.

Най-интересната илюстрация за това как квантовата механика не допуска скрити променливи е конференция, която за щастие е достъпна в интернет, на Сидни Коулман, едно от светилата във физиката на елементарните частици. Заглавието на лекцията е *Quantum Mechanics in Your Face*, което аз бих превел като „Квантов плесник“. Коулман първо обяснява как се е колебал между няколко заглавия, след като последно се е отказал от заглавието „Ето ти я квантовата механика, глупчо“.

В тази лекция той говори за опит, който е първо предложен от Д. Грийнбергер, М. А. Хорн и А. Целингер. Съответното квантово състояние, между другото, се нарича GHZ. GHZ е състояние на квантово преплитане, което изкарва наяве противоречието между постулат за съществуване на локални скрити променливи и квантовите принципи. Трима

наблюдатели, А, В и С, достатъчно отдалечени, така че да не могат да си влияят един друг, измерват, да кажем ежеминутно, спиновите на частици, като могат да измерят или проекцията по оста Х, или проекцията по оста У, като двете оси са перпендикулярни. За всяко измерване има два възможни резултата: ± 1 , и всеки наблюдател сам решава коя проекция да измери. Опитът продължава, докато получим дълга серия с резултати. Например, $X(A) = 1$, $Y(B) = -1$, $Y(C) = -1$ означава, че А е избрал да измери проекцията по Х и е получил 1, В е избрал да измери проекцията по У и е получил -1, и С е избрал да измери проекцията по У и е получил -1. Когато се вгледаме внимателно в резултатите, виждаме, че когато само един наблюдател е решил да измери проекцията по Х, произведението от трите измервания дава 1. Така, $X(A)Y(B)Y(C) = 1$, както и $Y(A)X(B)Y(C)$ и $Y(A)Y(B)X(C)$. Ако пък и тримата наблюдатели решат да измерват проекцията по Х, произведението на трите измервания е, в рамките на класическата механика, равно на 1. И наистина, произведението на деветте члена е $(X(A)Y(B)Y(C)) \times (Y(A)X(B)Y(C)) \times (Y(A)Y(B)X(C)) = 1$, а У-ците изчезват, понеже техният квадрат е 1.

Но за квантовото състояние GHZ от лекцията на Коулман квантовата физика предсказва, че $X(A)X(B)X(C) = -1$! И наистина, това състояние е суперпозиция на едно състояние, в което и трите спина са равни на 1, и друго състояние, в което и трите спина са равни на -1. Проста сметка (с няколко 2×2 матрици) показва, че предсказанието на квантовата механика е $X(A)X(B)X(C) = -1$, което е в тотално противоречие с класическата теория, която предвижда $X(A)X(B)X(C) = 1$. И опитът показва, че правилното предсказание е това на квантовата механика. И точка!

– И всичкото това понеже матриците на спина не комутират!

– Да, едно от най-впечатляващите развития в квантовата физика от края на ХХ век е това, че модерните технологии позволиха да бъдат осъществени в лабораторни условия този тип опити и при всички такива опити предвижданията на квантовата физика винаги се оказваха правилните!

– А съвременната технология пък се уповава, самата тя, на квантовата физика!

– Точно така. Лазерите, например, играят много важна роля. Но да се върна на лекцията на Коулман, експозето му е много забавно. В самото начало, след като припомня някои положения от формализма на квантовата механика, се обръща към аудиторията и заявява: „който има някакви въпроси върху това, което казах, да напусне залата!“ . Коулман казва, че е избрал този опит, за да илюстрира на практика неравенствата на Бел, но че никога не си спомня точната форма на тези неравенства. Така, казва той, и след 4 години да ме събудят в 4 часа сутринта, с револвер в слепоочието, и ме накарат да обясня опита с трите спина, аз ще го направя без затруднения. Резултатът е 1, ако можем да намерим скрити променливи, и -1, ако квантовата механика има право. Толкова просто и убедително е.

– Мога да се съглася. Но как разрешаваме парадокса АПР?

– Ами по този начин: когато измерваме някоя величина (импулс или позиция) на една от двете частици, наблюдаваме незабавен „колапс на вълновата функция“, който модифицира мигновено състоянието на двете частици.

– Не мога! Първо, думата „мигновено“ няма никакъв смисъл заради относителността на едновремеността, а и това означава взаимодействие, пътуващо по-бързо от светлината...

– Парадоксът се разрешава с това, че никой от двамата наблюдатели не може да реши какъв ще е резултатът от този опит. Резултатът е напълно случаен и така информация не може да се предава. Има корелация (да кажем, по-просто, че ако на едно място имаме „ези“, то на другото ще е „тура“), но между двете измервания няма причинно-следствена връзка.

Шарлот започва да разбира обясненията на Бертрам. Той има качеството да е ясен. Ако се довери на смелостта си, би могла и да направи някои връзки с текущата си работа. Мисълта ѝ харесва отсега. В момента, в който решава да сипе още от превъзходното бордо, звъни телефонът, като че ли за да им развали настроението. Часът е 1 и 15.

– Ало! Вие ли сте Шарлот Дампиер? Чува се мъжки глас с лек акцент.

– Знаете ли колко е часът! Кой звъни?

Тя пуска високоговорителя.

– Няма значение как се казвам. Ние сме от Swisscom. Правим проверка.

– По това време? Каква проверка?

– Има проблем с вашата линия и с вас, затова ви питам дали сте Шарлот Дампиер, собственичката на линията.

– Няма да ви отговоря. Как мога да знам, че сте Swisscom?

– В червения списък сте. Знаете, че в случай на проблем разкриваме анонимността. Така че, вие ли сте Шарлот Дампиер?

– Какъв е проблемът?

– Не мога да ви кажа нищо повече, освен че има голям проблем с вашата линия. Моля, отговорете на въпроса ми, трябва да съм сигурен във вашата самоличност.

– Защо? Оставете ме на мира, лемански кретен!

И тя затвори. Бертрам беше убеден, че това е лоша шега, която просто цели да покаже, че и Шарлот Дампиер е способна да излезе от релси след един определен час. Значи и тя има малки недостатъци, тази Шарлот, която често се хвали, че винаги запазва хладнокръвие. В лабораторията често се шегуваха с това.

От страната на жертвата се наблюдава зрелищна реакция. Тя скърца със зъби и изфучава с ядосан глас:

– Това не е за първи път! Ако го открия някой ден този, който ме тормози, ще му вгорча живота до степен такава...

В този момент Шарлот хвърля чашата си на пода. Бертрам я гледа ококорен, не може да скрие почудата си от действията на Шарлот. Тогава той си припомня, че преди няколко месеца Шарлот му сподели за това, че от десет години ходи на курсове по самоотбрана.

Тя се успокоява, започва да диша спокойно и излива в най-малки подробности притеснението си за случката от Пунта дела Догана.

– Притеснявам се да не полудея. Не исках да говоря за тази случка, исках да мога

да я пренебрегна, но не стана. Тези обаждания ме тревожат, макар и най-вероятно да не са свързани. Но акцентът... акцентът беше същият... или май не... не знам.

Глава 5. Роклята от Бюр

Макар и ревнивец, той си има и добри страни, си каза младата жена, признателна за разговора с Бертрам, който ѝ помогна за работата, която сега ѝ е присърце. Изкусителните задачи сега ѝ изглеждаха по-ясни и тя беше по-наясно отвсякога за това в коя посока да поеме. Разбира се, тя нямаше как да му каже за „отклонението“, което нейната траектория претърпя малко след като влакът премина швейцарската граница.

За нещастие, в библиотеката тя не намери нито една статия, която да е свързана с това, което става в главата ѝ. Което означава, че за да продължи по-нататък, тя не може да разчита на това, което съществува. Преди да говори на Сервантес и на другите за новата си визия, тя трябва да бъде наистина сигурна в себе си. Въпрос на самовискателност.

Едва завърнала се в Женева, Шарлот вече трябва да се готви отново за път, този път за Бюр-сюр-Ивет², малко градче в долината на Шеврьоз, където се намира IHÉS, Институтът за авангардни научни изследвания. Защо? За да се върне по стъпките на баща си. Той, без съмнение, ще ѝ покаже пътя. На няколко пъти той се налага в мислите ѝ и сега Шарлот се коси, че не е направила това по-рано. Защо се бе съгласила с предложението на директора на IHÉS да складира всичките книги на баща ѝ в кашони зад библиотеката, докато тя не е в състояние да ги прибере? Това решение я устройваше, а и нямаше място в двустайното ѝ жилище. Но най-вече това щеше да ѝ остави достатъчно време да скърби за умрелия си баща, преди да се зарови в тези книги.

Баща ѝ, известен физик, беше прекарал последните две години от живота си в института в Бюр, като „посетител за дълъг период“. Не беше намерено, уви, административно наименование на длъжността му, което да отговаря на значимостта му. Но и на Ке Конти³ титлите „безсмъртен“ и „вечен секретар“ не са гаранция за вечен живот. Но и членовете на Френския институт не са на друго мнение. Макар и за малко някои да повярват в обратното, а именно, че доказателствата на Жак Адамар и Шарл дьо ла Вале Пусен на теорема за простите числа са им осигурили безсмъртие. В крайна сметка Адамар умира на 97 години, а „Шарл Льовийо, барон дьо ла Вале Пусен“, умира на 96-годишна възраст.

Двете прекарани години в Бюр без съмнение са му били приятни. Когато той си спомняше за тях, го правеше без да го казва открито. Тонът на гласа му, усмивката му на зрял и сериозен мъж предшестваха заигравания в думите му. Този учен беше много резервиран човек, който никога не говореше само за да го гледат другите. Укротяваше егото си съвсем дискретно, направо срамежливо, което беше необичайно

² Предградие на Париж, бел. прев.

³ Кея Конти е адресът на Френския институт, част от който е и Френската академия на науките, бел. прев.

за този малък свят от мегаломани. Когато излезе песента на Брасенс⁴ „Скромният“, всички му казваха „Писана е за теб“, а той се изчервяваше. Шарлот успя да го посети само веднъж в IHÉS. Беше в разгара на развода ѝ, тя не намираше време и енергия.

Свикнала със заводските пропорции на ЦЕРН, Шарлот се озадачи от малките размери на IHÉS. Кабинети, библиотека, ресторант... – всичко беше предвидено за ограничен брой учени. Пряко всякакви опити за промяна, ръководителите на IHÉS бяха успели да запазят почти семейната атмосфера в института, противопоставяйки се на опитите за негово несъразмерно разширяване. В началото на историята на института той беше парк, лесът Мари, а благотворното влияние на хлорофила върху научната работа пък няма нужда от доказателство.

Шарлот беше посетила веднъж кабинета на баща си, който се радваше на изглед към вековни дървета. Спомни си за работната му маса, с дъска отляво, покрита с формули, а отдясно и на стената в дъното – етажерки с прилежно подредени книги, на групи, чиято подредба така и остана загадка. Препринти и статии, разпределени в класьори, образуваха прилична на какавида защитна ограда около бюрото. Предназначеният за посетители фотьойл беше затрупан с фотокопия: обитателят на стаята нямаше особено желание хората да се застояват в стаята му. Не би било любезно да постави табелка „Не притеснявайте“, като на вратите на хотелските стаи. Този добре възпитан човек предпочиташе да учи другите да разбират намеците му.

Служебният ресторант приличаше на семейна трапезария. Шарлот веднага забеляза за малкия брой места, запазени за сътрапезниците, около 30 стола, само за учени. Като в Принстън, с който много подобни места обичаха да се сравняват, никой неинициран спътник не се допускаше до масата. Не трябваше да се рискува разсейване. И за да се запази концентрацията, не трябваше да се начеват тривиални разговори. Учудена от това, Шарлот отбеляза, че ЦЕРН е доста по-толерантно място. Без съмнение гигантизмът на мястото беше гаранция за анонимност. Друг плюс в Бюр беше и това, че имаше сервитьори, така никой не рискуваше да прекъсне интересна дискусия само за да си сервира десерт.

Преди да излязат заедно от института, Шарлот беше забелязала, че баща ѝ, с много несигурен тон, искаше да ѝ каже нещо. „Ще трябва да мина отново през кабинета си, преди да те придружа до гарата. Би ли дошла?“ Вероятно искаше да ѝ каже нещо важно. Веднъж ѝ каза: „Лоти, виждаш ли този малък класьор, зеления? Да не говорим за нещастия, но ако нещо ми се случи, той е най-важният. В него са последните ми работи“. Притеснен от мрачните си думи, за да прогони лошите мисли, той ѝ направи комплимент за красивата рокля от копринено трико, която тя си беше сложила в негова чест.

Разбира се, точно този зелен класьор тя сега издирваше и се самоупрекуваше, че го е направила толкова късно. Трябва значи да се срещне с пазителката на бащинското ѝ съкровище, библиотекарката. Налагаше се да прекоси парка, който се явяваше прекрасно преддверие на института.

⁴ Жорж Брасенс, известен френски певец-бард от втората половина на XX век, бел. прев.

– Баща ви беше много потаен, но се разбирахме добре. Оказа се, че споделяме обща страст към творчеството на Жюстен Деламар. Нали знаете, големите проблеми на запада, страховете, надеждите, ролята на религията. Често намирахме време да разговор, когато той идваше да върне или потърси нова книга, книги, за които аз най-често не можех да говоря с него..., най-вече трудове по невробиология.

Имах усещането, че за него това са моменти на ободряване... или по-скоро на развлечение, някаква „неделя на духа“, но може би само аз го виждах така. Но за мен това бяха много интересни разговори, и много удовлетворяващи. За някои тук аз съм просто жената, която подрежда книгите. Някои имат оправданието да не говорят френски: никой няма желание да говори на възвишени теми на осакатен език. Предпочитам хубавия и истински английски език!

Интересна е тази жена, каза си Шарлот, странно, че баща ми никога не е говорил за нея. А и тя потвърди, че той е бил потаен!

– Една вечер му помогнах да си подреди трудовете. Разбрах, по тежката и сериозна интонация, че малкият зелен класьор има особено място в научната му работа. Трябваше да е имал пълно доверие в постоянните членове и дългосрочните посетители, за да го остави в кабинет, който не се заключва. Нали знаете как е тук: нищо не се заключва. Всички ръководители опазиха тази традиция на взаимно доверие. Ето ви го, пази го в много внимание. Ще ми липсва.

Добра жена е, каза си Шарлот. И дори малко повече...

Тя излезе с класьора в ръка, разлисти го, докато притичваше към колата си, и установи неочаквано сходство с настоящите си занимания. Емоцията взе връх. Тя заключи колата си, нейната представа за човешката природа не съвпаднаше с тази на директорите на този пристан на спокойствието.

Този път Шарлот е решена да е по-внимателна. За да научи нови неща, тя възнамерява да тръгне по всички следи, и една такава стои тук в Бюр. Преди няколко години тя беше срещнала набързо Арман Лафоре. Този мъж, изглежда, владее добре различни аспекти на съвременната физика, за която е развил оригинални възгледи. Шарлот ще се опита да го разпита по време на обяда, за който тя смята да остане в ресторанта.

Глава 6. Ангелският сахатник

Нищо не се е променило. Същият глъч, същата кръгла маса. Тя разпознава някои кипящи глави, с живи очи и уверен глас. Има едно свободно място, до младолик мъж със сива брада. Шарлот разпознава Арман Лафоре.

– Добър ден!

– Добър ден, сега ли пристигате?

– Да, и заминавам след час.

– За Париж?

– Не, за ЦЕРН.

Мъжът се обръща към съседа си отляво, за да скрие смущението си от пристигането на красивата дама. Той беше успял да превърне естествената си скромност в техника

за ухажване. Въпросната техника беше двуетапна: първо, не обръщайте внимание на човека, попаднал в полезрението ви, и второ, пренасочете околния разговор към някоя неустойима тема.

Прилагайки буквално този метод, Арман Лафоре каза на съседа си отляво:

– И така, кога ще изберете правилния от всички възможни светове и вашите компактификации на Калаби-Яу?

– Всъщност, един физик показва, че е също толкова трудно да се направи този избор, колкото да се реши задачата за търговския пътник.

Шарлот изгаря за това да изговори открито скептицизма си към тази област, прекалено модерна, и толкова отдалечена от опита. Но не смее, от страх да не изгуби уважението на този мъж, който започва да я интригува. Затова тя предпочита да отклони темата в посока, която я ѝ е присърце.

– Извинете ме, че поемам в друга посока, но бих искала да чуя вашето мнение по следния въпрос: в недоумение съм от формализма на квантовата механика, който ни учи, че след редуцията на вълновия пакет на даден квантов обект, едновременно вълна и частица, ние получаваме точно измерване, а не облак от точки.

Виж ти, каза си Арман, това е добър въпрос, хваща ме за сърцето.

– Разбирам неспокойството ти и ще се опитам да ти представя нещата по начин, различен от стандартния. Първо, нека насочим разсъжденията си към произхода на самата „променливост“ на реалността – каза той с ентузиазъм.

И продължи:

– И под това разбирам всичко онова, което се изплъзва от контрола ни. Очевиден пример е времето, или по-точно, ходът на времето, и човек няма никакъв контрол над това.

– Винаги съм си мислела, че човек може да приведе всяка променливост към хода на времето – отговори му Шарлот.

– Така бях свикнал да мисля, но в квантовия свят е скрит непресъхващ извор на случайности, който, в определен смисъл, е също така неразбираем като хода на времето. Квантовият свят за един математик е пленителен извор на случайности.

– Защо казваш „за един математик“?

– Ами защото самото понятие „променлива“ е трудно да бъде описано математически. Интуицията ни казва, че променливата е величина, която може да има няколко различни стойности. Преди моделирахме променливата като изображение на множество към множеството на реалните числа. Ако множеството е дискретно – и променливата е дискретна. Ако не, говорим за непрекъсната променлива. Но много бързо си дадохме сметка, че в този формализъм дискретните променливи не могат да съществуват едновременно с непрекъснатите. Този проблем ме занимава дълго и накрая си дадох сметка, че формализмът на квантовата механика дава най-добрия пример за реална променлива и дори за инфинитезимал. Нютон би бил доволен, той е смятал, че инфинитезималите, които той е разглеждал като дискретни променливи, съществуват рамо до рамо с непрекъснатите променливи. Този въпрос се изяснява в квантовия формализъм!

Първоначално Шарлот се остави да бъде водена по гребена на тези разсъждения, но после се окопоти:

– Разбирам, че това задоволява любопитството ти на математик, но как това се отнася до нещата, които ме интересуват като физик?

– Смятам, че физиците правят грешка като се опитват да впишат квантовите случайности в хода на времето! Точно това става с фамозната редукция на вълновия пакет, която твърди, че след измерване дадена квантова система е редуцирана до състоянието, което е измерено. Смятам, че квантовата случайност е по-изосновна, по-изначална от своя времеви аспект и че трябва да бъде обърната връзката между двете променливости. Предлагам ти следното обобщение на казаното:

Квантовият кипеж поражда хода на времето, а не обратното!

Шарлот го поглежда, прави кратка пауза и с усмивка му отвръща:

– Ако те разбирам правилно, искаш да ми кажеш, че

Квантовият произвол е тиктакането на божествения часовник.

– Да, човек не би могъл да обобщи по-добре мислите ми – радва се Арман. Айнщайн е казал „Бог не играе зарове“, и ето идеалната реплика на тази мисъл: не само че играе, но тази игра движи стрелките на неговия часовник.

Точно в този момент готвачът, по престилка, докато излиза от кухнята и търси къде да вземе добре заслужения си момент на отдых – всеки ден приготвя почти гастрономично ястие за тридесетина сътрапезници – се появява внезапно между двамата.

– Ех, Армандо, все такъв ще си останеш! – каза му той, докато се подсмиваше и го потупваше по гърба, което съвсем му размърда стрелките и обърка плана.

Шарлот, смутена, не знаеше как да приеме този жест. Арман се изчерви. Всички наченки на ухажване бяха порязани и Арман продължи ентузиазирано:

– Оттам, неизбежният въпрос е – каза той и заби поглед в зимзелените⁵ ѝ очи – как така времето, по начина, по който го възприемаме, се явява като следствие от квантовите вероятности?

– Това, което разбрах докато си мислех за парадокса на Айнщайн-Подолски-Розен, е, че наистина съществува аналогия между квантовата случайност и времето: в случая с този парадокс, при който имаме две каузално отделени измервания, няма две отделни квантови вероятности, а една единствена, поради корелациите.

– Добре, ако е ези от едната страна, ще е тура от другата.

– Тоест, максимална корелация без причинно-следствена връзка. Какво става с хронологичността в този случай? Редукцията на вълновия пакет ми изглежда абсурдна, понеже не можем да кажем в кой момент се е случила.

– Чудесно, прицелваш се в най-интригуващия ме аспект от мислите ми. Отговорът ми е, че хронологията няма смисъл, когато измерваме наблюдаеми, които *комутират*.

– Опитай се да кажеш това по-просто.

Арман, наясно с това колко изкусителна може да се окаже идеята му, продължи:

– Алгебрата може да изглежда сложна, но пък езикът ни дава прекрасна илюстра-

⁵ Зимзелен – вид цвете (бел. ред.).

ция. Така, в едно изречение думите имат смисъл само благодарение на това, че буквите са подредени в даден ред. Правилото за *некомутируемост* забранява свободните пермутации на буквите.

– Да, и каква е връзката с квантовия свят?

– Това е голямото откритие на Хайзенберг: докато класическата механика се опира на правилата на комутативната алгебра, при микроскопичните явления трябва да спазваме реда на буквите при изчисленията! През 1925 г. Хайзенберг е титуляр на курс в Гьотингенския университет. В този период той работи над формула за интензитета на спектралните линии на водорода, но се сблъсква с непреодолими трудности. Опитите му се провалят поради сложността на проблема. Затова той се насочва към най-простата физична система: люлеещото се махало. Към края на месец май 1925 г. спасителна алергична хрема го освобождава от задълженията му и той се отправя към място без полен, острова Хелиголанд в провинция Шлезвиг-Холщайн. Там той открива математическа схема, която се налага от само себе си, когато се разглеждат наблюдаеми физични величини, но към този момент той няма никакви признаци за адекватността на този формализъм. Въпросът за запазването на енергията го измъчва, и за да го реши, той се впуска в сметки. В крайна сметка въпросът е решен една нощ към 3 часа.

„Законът за запазване на енергията е винаги спазен и това става съвсем естествено, без никакви условия. Не мога вече да се съмнявам във вътрешно непротиворечивия, от математическа гледна точка, характер на така скицираната квантова теория. Първо бях изпълнен с дълбоко притеснение. Имах усещането, че ми е дадено да видя под повърхността на атомните процеси едно по-дълбочинно явление, с особена вътрешна красота; почти свят ми се въртеше от мисълта за това, че следващата стъпка е да изследвам една по една този низ от математически структури, които природата разпростря пред зора ми. Толкова бях превъзбуден, че беше изключено да отида да спя. Излязох от къщата, тъкмо се зазоряваше, и се запътих към високата южна част на острова, към една скала, прилична на висока кула, която изпъкваше на фона на небето и която аз отдавна исках да изкача. Стигнах до върха ѝ без особени трудности и изчаках там изгрева на Слънцето.“

Хайзенберг току-що е изобретил това, което става известно като матрична механика. Оттам той извежда известното си съотношение за неопределеност и заключава, че е невъзможно две наблюдаеми да бъдат измерени едновременно, ако не комутират.

– Но каква е връзката с времето?

– И тук идва ред на чудото. Състояние върху некомутативна алгебра генерира свое собствено време! *Квантовото време!*

Шарлот не беше запозната с този резултат и беше впечатлена. Дава си сметка, че това твърдение може да ѝ помогне в решаващ момент от нейната работа. Главата ѝ е бръмнала.

Арман решава да отклони темата, за да сваля малко напрежението.

– Ти сега над тест на скаларния бозон на Хигс ли работиш?

– Не, аз работя над един много по-тежък, Големия бозон. И между другото, винаги поправам тези, които говорят за бозон на Хигс, да не забравяме Брут и Англер! Но по твоята усмивка разбирам какво ти е в главата, когато казваш „Тест на скаларния бозон на Хигс“.

– Да! Виждала ли си анаграмите на Етиен Клайн и Жак Пери-Салко? Едно от добрите им попадения⁶ обобщава толкова добре нашата дискусия: *Ангелският сахатник е особен*.

Което е почти точна анаграма на „тест на скаларния бозон на Хигс“. Двете фрази имат почти еднакъв (без к, два пъти е и р) набор от букви и така виждаме, че да се приеме, че буквите комутират, означава да се изгуби смисълът.

Шарлот решава да продължи престоя си в Бюр.

Глава 7. Валс с хиляда такта, стих на Милтън.

„...додето осите им скърцат
с такива гръмотевици,
че целият Ереб⁷ потръпна.“

Джон Милтън, *Изгубеният рай*, 1667 г.

Пет месеца след инцидента, ЦЕРН продължава да е в ремонт. През тези пет месеца Шарлот и Франческа станаха по-близки от всякога. Продължителните им разговори на четири очи в директорския кабинет започваха да привличат внимание. За да разберат за какво си говорят, хората се обръщали към секретарката на Франческа, която непрекъснато ѝ носи документи за подписване и молби за срещи, и прочие. Но секретарката само можа да каже, че разговорите им са строго научни.

– И не ме питайте за подробности, не разбирам нищо от разговорите им!

Но не съвсем, един ден тя влезе в бюрото на Франческа и успя да чуе само това: „Шарлот, това е лудост!“, което само наостри допълнително любопитството ѝ.

Мъглата около тайните срещи се сгъсти още повече, когато един ден Пичи рапортува, че е чул – или така му се е сторило, но той все пак е неаполитанец – музика от бюрото на Франческа. Той имаше среща с нея, за да оправи проблем със заповед за командировка.

Пичи не беше особено доволен от това, че беше принуден да чака пред кабинета на Франческа. Тя нямаше навика да кара колегите си да стоят пред вратата ѝ. Пичи се възползва от времето, за да прочете статия, която беше взел по-рано. Зад вратата се чуваше разговор, два женски гласа говореха оживено, следвайки строго определен ритъм и тоналност. Той разпозна толкова специфичния ритъм на бароковата музика и нейните характерни разпевки. Нямаше как да бърка, в любителските си изяви Пичи

⁶ На френски език анаграмата е точна. Le boson scalaire de Higgs → L'horloge des anges ici-bas.

⁷ Ереб в древногръцката митология е олицетворение на Мрака. Син на Хаоса и брат на Никта (Нощта). Мрак е пространството между Земята и Ада, в което душите изкупват греховете си. Бел. прев.

изпълняваше Книга VI на *Мадригалите* на Джекзуалдо. Акцентите напомняха на епохата на Монтеверди. Може би някой от неговите учители..., но не! Каква грешка! Не звучеше какво да е! Пичи не знаеше кой прави компания на Франческа в затворения ѝ кабинет, но музиката със сигурност бе от операта *Коронацията на Попея* и в този момент звучеше известният откъс, в който Попея запитва неколккратно, все по-притеснена, Нерон: *Tornerai?* – „Ще се върнеш ли?“ И Нерон, който не може да се откъсне от обятията ѝ, в крайна сметка ѝ отговаря: „*Tornerò*“ – „Ще се върна“.

Tornerai?

Se ben io vò

Pur teco io sto.

Tornerai?

... Il cor dalle tue stelle

Mai, mai non si divelle

Tornerai?

...Io non posso da te viver disguinto

Se non si smembra la unità del punto

Tornerai?

Tornerò!

Той знаеше либретото наизуст. Той преброи четирите *Tornerai*, тоест всичките, които сопранната Хелън Донат и Елизабет Съодерщрьом изпълняваха с прекрасни гласове Попея и Нерон. Пичи бе едновременно очарован и заинтригуван от чутото, дори още преди да види Шарлот да излиза от директорското бюро със сериозен вид и видимо развълнувана. Шарлот го поздрави набързо и се отдалечи.

Пичи не сподели с никого разсъжденията си за странните взаимоотношения между Франческа и Шарлот. Също така той си даде сметка, че на момента бе забравил за това правило в бароковата опера, според което партитурите на младите мъже обикновено биват изпявани от сопрано. Музиката сама бе достатъчна, за да превърне двете жени в съучастници!

Без да са последвали други необичайни и особени случки, всички забелязаха нарасналата близост между двете жени и това, че действаха като съмишленици.

Но в календара си Шарлот имаше други важни дати.

Днес тя не можеше да се види с Франческа, понеже трябваше да се посвети изцяло на Арман Лафоре. Той беше вметнал в едно писмо, че иска да посети ЦЕРН. Шарлот се възползва от повода и му предложи да даде конференция (така ще бъдат покрити и пътните му разходи). „А ако е хубаво времето – добави тя към поканата – ще наемем колело и ще се разходим в околностите.“

Пристигането на влака Париж-Женева беше обявено на високоговорителите на гарата към 10 часа. Шарлот е на края на перона, дошла е да посрещне Арман. Мисли си дали ще може да гледа на този математик с живец в погледа по същия начин, по който

гледаше на него в Бюр. След първото си посещение тя се бе върнала още два пъти там, за да се срещне с него. Тамошните им разговори бяха дълбоко философски, темите им – платоновата реалност, светът на математическите идеи и най-завладяващата я тема – тази за появяването на „квантовото време“. Идея, която на нея ѝ се привижда като свещен граал и която я привлича почти неустоймо.

Ето го и Арман, който идва само с малка чанта с презрамка. Бях му казала за вело-екскурзия, можеше да предвиди екипировка, казва си Шарлот. После обаче забелязва, че той е с елегантна тясна черна тениска. Малко мъже на неговата възраст могат да си позволят да носят тези прилепнали дрехи на един от успешите италианските модни дизайнери.

Арман изнесе лекцията си в 11 ч., в голямата аудитория на ЦЕРН. Отговори на въпросите от залата за времето и случайността в квантовия свят. Разговорите задоволиха Арман.

Последва лек обяд в ресторанта, където Арман се запозна с постдокторантите на Шарлот, които му задаваха интересни въпроси, и той беше поласкан от вниманието, което му обръщаха. След привършването на обяда, усмихнат и доволен, Арман последва своя екскурзовод, хубавата Шарлот, която беше в особен възторг. Дватамата огледаха набързо сградите (които не блестяха с нищо в архитектурно отношение) и дърветата, и тревните площи, които ги заобикаляха на път за тунелите. Да, тунелите, ето че си дойдоха на думата.

В периода след аварията се беше отворила нечувана възможност: за пръв път можеше да се посетят и трите големи детектора, които бяха в процес на частично демантиране. Инженерите трябваше да оценят щетите, които радиоактивното лъчение на ускорителя на частици им беше нанесено при аварията. Шарлот имаше пропуск, даден ѝ от Франческа, с който може да влезе в Атлас, CMS и Алис. Дватамата спътници си слагат леките защитните каски по превърналото се в ритуал правило.

Посещението им започва с детектора Алис. Той тежи десет хиляди тона, дълъг е двадесет и шест метра, диаметърът му е шестнадесет метра, а значителна част от най-външния му слой е неговият мюонен детектор. Предназначен е да изследва ядрената материя при екстремни температура и налягане. Шарлот разказва на Арман за функционирането на детектора, който всяка секунда произвежда данни от порядъка на един гигабайт. Арман е смяян от точността на измерването на времето: сто и шейсет хиляди детектора, чиято резолюция е от сто пикосекунди, детектори, разположени на стотици квадратни метри. Няма какво да се учудваме, че с такъв инструмент се изследват пределите на физиката!

Шарлот няма как да забрави за сглобяването на CMS и строежа над повърхността. Налагаше се да бъдат пренасяни части, всяка от които тежи по *хиляда тона*, на възглавници, пълни със сгъстен въздух, и после да бъдат сваляни под земята с огромни кранове, каквито сме свикнали да виждаме в корабостроителните заводи.

Дватамата посещават и третия детектор, Атлас, който тежи колкото Айфеловата кула. Мястото е мрачно, огромно, четиридесет и пет метра дълго и двадесет и пет метра висо-

ко. Ехото, което се образува, къде истинско, къде причуло му се, плаши Арман. Шарлот продължава обясненията си за устройството и функционирането на детекторите:

– В Атлас, както и в Алис, са инсталирани многожични камери, които замениха мехурчестите камери. Преди те да бъдат изобретени от Шарпак, физиците трябваше да анализират десетки хиляди изображения от мехурчести камери, което е нещо като праисторическия стадий на областта. Сега всички данни се обработват автоматизирано, с компютри.

– Това ме кара да се замисля за рентгеновите снимки, които се използват в съвременната медицина. Дали подобно откритие няма да революционизира диагностиката?

– Това вече се прави, камерите на Шарпак се използват от биолозите в техните научни изследвания.

Арман е впечатлен от размера на огромните електромагнити с форма на тор, разположени около детектора. Мощта им е титанична: една най-обикновена отвертка, забравена в магнитното поле, което те генерират, веднъж включени, би преминала през бетона като през масло. По-нататък двамата се отправят към стая, пълна с компютри.

– Тези компютри обработват в реално време данните от около двеста колизии, които са избрани за анализ сред четиридесет милиона колизии, които се случват всяка секунда.

По-нататък Шарлот го води към един от входовете на двадесет и седем километровия тунел.

– В работен режим електромагнитите на колизионния пръстен ускоряват различни видове частици до скорости, близки до тази на светлината, след което предизвикват колизии. Движение като валс с хиляда такта. Вече пет месеца опити не се правят.

– Казваш, със скорост „близка“ до тази на светлината. Аз знам, че масата на частицата се увеличава, когато скоростта ѝ приближи скоростта на светлината. Как стоят нещата в този опит?

– „Близка до тази на светлината“, какво подценяване! Това са частици, за които отношението на скоростта към скоростта на светлината е повече от 0.9, повече дори от 0.99, то е 0.9999999991, което умножава масата на ускорените частици по 7 500!

– Невероятно!

Арман е впечатлен. Всички тези числа, всички тези уреди, всички тези частици и колизии предизвикват и се завъртат в главата му като водовъртеж. Усеща и лек световъртеж, странни усещания, в главата му прехвърчат страхотни сцени, от които идват звуци, които сякаш го заобикалят. Виденията му са осветени в приглушена светлина. Напълно дезориентиран, той търси думите, с които да опише видението си, но разпознава единствено празните места, на които някога тези думи са стоели. Дали ще останат завинаги заложиници на хаоса? Малко по малко той започва да артикулира речта си. Из дебрите на паметта му изниква:

„Ереб и черната Нощ пък от Хаос възникнаха.“⁸

Откъде идва тази фраза? Той си я повтаря неколkokратно, за да я запомни, от страх да не му убегне. Друга излиза най-отгоре в мислите му:

⁸ От „Теогония“ на Хезиод, бел. прев.

*„после бяха родени Ефир и Денят лъчезарен; роди ги
Нощта, а зачена ги тя от любовната връзка със Ереб.“⁹*

Той опитва да се разсее, поглежда русите коси на Шарлот, за да остави спомена да излезе напълно, спокойно, от гънките на паметта му. Ереб, странна дума, дълбока и черна.

Накрая Арман си спомни откъде са се записали в паметта му тези фрази. От гимназията, от онези часове, в които е трябвало да заляга над учебника по гръцки, вместо да играе футбол, за което е проклинал преподавателя си. Хезиод вместо футбол. Но с времето Арман свиква с Ада, Тартара и Хадес. Една нощ му се присънва, че слиза в Ереб, първото подземие на Ада, където чакат душите на мъртвите, които не са били погребани според ритуала. Там той с методична любознателност посещава палатите на Нощта, Съня и Сънищата.

Арман вдигна очи към детектора, третият за деня, и му се привижда, че посещава отново палата на Сънищата, дълбок, с необозрим покрив, с идеално прави стени, губещи се в мрака. Поглежда към Шарлот, която го води без никакво притеснение. Той вече иска да напусне това място, в което като че ли витаят магии. Отново! Без усилие той си спомни за стиха на Вергилий:

*„Той пееше, и от дъното на Ереба тъмен
се изправиха и поеха своя път Сенките мълчаливи.“*

А някои хора казват, че часовете по класически езици каляват духа, и отново го хваща световъртеж. Хваща ръкава на Шарлот:

– Не смяташ ли, че вече трябва да си ходим? Беше много интересно, много съм впечатлен.

А всъщност Арман е изтощен, замаян, има нужда да почине, да подиша на спокойствие. Младата жена забеляза, че приятелят ѝ е преbledнял и с леко притеснение му отговори:

– Разбира се, веднага тръгваме!

Обикновено, за завършек, с лежерен тон и като между другото, Шарлот изрецитира на посетителите си стих от Милтън. Но той е за посетители, по-издръжливи от Арман:

*„Че Жар, Хлад, Влага, Суша — тези воини свирепи
тук за надмощие се борят и повеждат в бой
зачатъчните атоми“*

Не след дълго двамата учени са на повърхността. Арман напуска с облекчение студеното царство на сенките и се радва на светлината на деня, като плувец, който излиза на сушата, след като дълго е плувал далеч от брега. Денят е слънчев, но вее хладен вятър. Арман е все още разтърсен от посещението си. Мислите му се насочват към предстоящото велопътешествие.

⁹ Ibid.

За щастие, Шарлот е предвидила пълна велоекипировка, за която е помолила Раней. Шарлот знае, че може да разчита на младата индийка, известна със своята пословична скромност и любезност, за подобна услуга. Тя не би помолила Сервантес или Пичи за подобно нещо. Те не биха могли да прикрият многозначителна усмивка в подобен момент. Но Раней ги чака с екипировката, включително с каска и малка туба за вода. Арман ѝ отвръща: „Ах, наистина ли, колко мило!“, и ѝ благодари усмихнат. Раней не смее да отговори.

Всичко е приготвено и двамата приятели потеглят с колелата си към северния бряг на Леман. Нямаат причини да бързат, наслаждават се на гледката на заснежените алпийски върхове, на променливите отблясъци на езерото. Решили са да стигнат до Нион, където ги очаква очарователно кафене с тераса, където могат да похапнат мюсли с крем и торта Сахер. В един момент Арман насочва разговора към сутрешната конференция, мъчи го това, че може би е изпуснал една важна точка.

– Забравих да обясня за едно важно условие за това да се появи време: трябва системата да е в термична баня.

– Не се притеснявай, за тези пари – толкова. Те са образована публика, нали знаеш. Но пък..., за да бъдеш необорим в твоето обяснение за времето, трябва да докажеш, че наистина сме потопени в термична баня, по неоспорим начин.

– Да, за съжаление не стигнах дотам: има такава и това, разбира се, е реликтовият фон, излъчването с температура от 3К, което идва от Големия взрив.

– Не може да се измъкнем от него!

– Ако такава термична баня нарушава инвариантността на Лоренц от теорията на относителността, то оттам може да се появи ход на времето.

– Как ти дойде тази идея?

– От разговор с един физик, Карло Илверо¹⁰. Карло беше поканен да изнесе доклад в Нютоновия институт в Кембридж, в който прекарах няколко месеца като посетител, в рамките на програма за изследване на гравитацията. Карло беше дал провокативно заглавие на лекцията си: „Какво знаем за това какво всъщност е квантовото пространство-време“, и лекцията му премина в нажежена атмосфера, пред скептична аудитория. По време на един следобеден чай, запазена традиция в Нютоновия институт, наченахме дълга дискусия и аз така разбрах с каква дълбочина Карло е разсъждавал над философските въпроси, свързани с несъвместимостта между квантовия свят и гравитацията. От моя страна, аз още от периода на докторантурата ми съм запленил от начина, по който се появява ход на времето в некомутативната алгебра. Въпреки многобройните ми усилия, не успях да намеря убедителен физически смисъл на този резултат. По време на вечерята бях седнал до Карло и не се съдържах да му разкажа за това доказателство за единственост, което дава определен ход на времето в рамките на дадена некомутативна алгебра. И за изобилието от

¹⁰ Карло Илверо е анаграма на Карло Ровели, който предлага, заедно с Ален Кон, хипотезата за „термично време“ и термичен произход на стрелата на времето. Идеята за реликтивно излъчване, което да нарушава инвариантността на Лоренц, е противоречива. Бел. прев.

инварианти, като периодите, и след което му разказах за моето смущение от това, че макар и да съм изследвал математическата сила на резултата, не съм могъл да намеря никакъв физически смисъл.

– И как реагира Карло на това?

– Стана без да каже дума и си тръгна! Бях много притеснен, помислих си, че съм го обидил без да искам. А и въобще не го щадях със забележките си и въпросите по време на конференцията, тежеше ми на съвестта, че може да съм го засегнал. И после, чудо, ето го няколко минути по-късно, с две статии в ръка, в които той бе описал философските си разсъждения и които отваряха пътя за това да свържа моите математични резултати за единственост с физиката на квантовата гравитация. Впуснахме се да правим това в съвместни трудове.

– Имали сте късмет, че сте се срещнали!

– Да! Тази среща ме поразя и все си мисля, че още има какво да се изследва в тази посока. Става студено, мисля да тръгваме...

Отново на седалките, на път за връщане, двамата велосипедисти трябва да карат срещу вятъра. Уморени, те вземат пътя с няколко почивки. Летовници почиват покрай брега. Шарлот е отпочинала, почти развълнувана. Ако все още колекционираше моменти от детството си, то този би могъл да влезе в албума ѝ.

С глава на рамото на Арман, с поглед, изгубен сред вълничките на езерото, тя си мисли за онова стихотворение, изтъркано от рецитиране в час, но което тя обожава..., не, няма сега пак да го рецитира. Как ли ще реагира Арман? Може би с доза цинизъм, в най-добрия случай.

Но в крайна сметка се отдава на изкушението.

– „А спомняш ли си ти оная нощ, когато със лодка из леса се губихме?“

Но после нямаше за какво да съжالياва, понеже Арман ѝ отговори:

– А чела ли си „Падането на един ангел“, от същия автор? – и я отвежда на завет, далеч от любопитните погледи.

На следващата сутрин Арман напуска Женева, за да даде серия от конференции в Лозана, Нойшател, Берн. Без особен ентузиазъм. Те имаха още толкова много да си кажат! Образът на Шарлот в ледените дебри на колизионните пръстени бе в суперпозиция с митологични реминисценции. Леко притеснение му пречи да се наслади напълно на спомена за последното денонощие.

В ЦЕРН, към 10 часа, Раней, Сервантес и Пичи си говорят нещо в коридора, както обикновено, разговорите им са накъсани от бурни смехове, без много да ги е грижа за работещите учени. Оплакват се, че предния ден въобще не са видели шефката си, Сервантес имал два важни въпроса към нея.

Изведнъж в кабинета на Шарлот, до който те са вече близо (имат среща с нея в десет и половина), се чува разярен крясък, гласът е на Юнг.

– Ясно ми е какви си ги вършила с този Лафоре! Гаднярка! Нимфоманка! Видях те да излизаш от квартирата ти тази сутрин, много беше весела!

Отговор от Шарлот не се чува. Юнг продължава, по-ядосан, по-силно:

– Отвращаваш ме. Не можа ли да се кротнеш? Браво, обезчестяваш ме, в компанията на добре познат човек, съвсем не по дискретен начин. Наистина долно!

– Спомни си за нашата уговорка: свобода, равенство, братство! Няма какво да се бъркаш в личния ми живот!

– Не мога да повярвам! Нищо подобно! Направили сте го пред всички, гадове! Всички злословят, когато минавам по коридорите.

– Бъди силен, свободен, прави се, че не чуваш!

– Ти си наистина гадна.

– Тогава сме дотук.

– И след Лафоре, какво, ще започнеш да изпращаш сигнали към всички под 50 наоколо ли? Не виждам какво ме задържа да...

Юнг излиза от кабинета ѝ, разрошен, с премрежен поглед и разкривено лице:

– Ще си платиш за това, още нищо не си видяла. Бог Хьод¹¹ е по-хитър, отколкото си мислиш!

Юнг се отдалечава тичешком, без дори да забележи тримата учени..., които се отдръпват, стъпвайки на пръсти. Шарлот, първоначално леко замаяна, се оправя. Ядосва се. Какви глупости разправя този, какво прави бог Хьод в цялата работа? Луд човек, просто невъзможно!

За успокоение си налива вода. Винаги държи бутилка с вода на бюрото си. Глътка от нея, поглед към алпийския изглед на Вале, успокояваща гледка, която всеки път я изненадва с ефикасността си.

Време е, чука се на вратата. Часът е точно 10.30 и тримата ѝ ученици влизат, навреме. Шарлот най-после се е решила да им говори за идеите, които я занимават от месеци, или поне за част от тях. Под влиянието на стила на Арман, тя им прави полуфилософско експозе. Говори им за зеления класьор на баща си. Обобщава за Големия брозон, бозонния часовник, случайността в квантовия свят, несигурното минало, възможната промяна на миналото. Тримата учени излизат от кабинета ѝ със световъртеж. Минава 13 часа.

– Какъв сеанс! Има умения за синтез шефката ни! – казва Пичи.

Сервантес е най-впечатлен от идеята за несигурно минало и за неговата възможна промяна. Погледът му е сериозен и загрижен. Има ли основание да се притеснява от научната програма на Шарлот?

След обяда Шарлот се среща с Франческа, но преди научните въпроси, ѝ говори за личното си положение. Разказва ѝ за ревнивото избухване на Юнг и за финалния му намек. Двете жени се впускат в догадки за ролята на Хьод.

¹¹ Хьод е сънлив бог от скандинавската митология. Измамен от Локи, той убива брат си Балдер със стрела от имел. Бел. авт.

ИЗИСКВАНИЯ КЪМ ПОСТЪПВАЩИТЕ МАТЕРИАЛИ

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

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

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

Публикуването на представените материали се определя от препоръките на рецензентите.

Редакторите могат да редактират ръкописите, когато това е необходимо.

Публикуването в това списание е безплатно за авторите.

УКАЗАНИЯ КЪМ АВТОРИТЕ

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

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

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

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

– да няма табулации за нов ред;

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Издаването на настоящия брой на списанието
е с финансовата подкрепа
на Европейското физическо дружество.**



Нашиите автори:

Димитър Николов – гл. ас. д-р, Национален институт по метеорология
и хидрология (НИМХ – БАН);

Георги (Гиа) Двали – проф. по физика в Нюйоркския университет, Ню Йорк,
и в университета „Лудвиг-Максимилиан“, Мюнхен.

Директор във Физическия институт „Макс Планк“, Мюнхен

Никола Балабанов – проф. дфн, ПУ „Паисий Хилендарски“;

Иван Лалов – проф. д-р Физически факултет на СУ „Св. Климент Охридски“;

Тодорка Л. Димитрова – доц. д-р, ПУ „Паисий Хилендарски“;

Майя Вацкичева – гл. ас. д-р, катедра „Физика“, МГУ „Св. Иван Рилски“

Пламен Савов – доц. д-р, катедра „Физика“, МГУ „Св. Иван Рилски“

Людмил Вацкичев – проф. дфн Физически факултет на СУ „Св. Климент Охридски“;

Нъшан Ахабабян – проф. дфн, СУ „Св. Климент Охридски“;

Александър Г. Петров – академик, Институт по физика на твърдото тяло, БАН;

Радостина Камбурова – гл.ас., Институт по физика на твърдото тяло, БАН;

Ален Кон – проф. във Френския колеж, Париж, в Института за висши научни
изследвания, Бюр-Сюр-Ивет, в Щатския университет на Охайо, САЩ,
и Университета Вандербилд, САЩ;

Дани Шеро – филолог, съпруга на Ален Кон;

Жак Диксмие – проф. университета на Париж;

Олег Йорданов – доц. д-р, ИЕ БАН.

В кн. 2/2015 г. на „Светът на физиката“ четете:

Ал. Ганчев – Дифузия на цени

Ален Кон, Дани Черю и Жак Диксмие – Квантовият театър

СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА 1'2015

СЪДЪРЖАНИЕ

РЕДАКЦИОННО

НАУКАТА

- Д. Николов – Обледяване
- Г. Двали – Квантови черни дупки

ИСТОРИЯ

- Н. Балабанов – Алхазен и неговото „съкровище“

НАУКА И ОБЩЕСТВО

- И. Лалов – Ролята на оптиката в развитието на човешкото познание

ФИЗИКА И ОБУЧЕНИЕ

- Т. Л. Димитрова – „Медицински физик“ – модерна и перспективна професия
- М. Вацкичева, П. Савов – Музейната сбирка на катедра „Физика“ към МГУ „Св. Иван Рилски“

КНИГОПИС

- Л. Вацкичев – Явлението „Найден Геров“

СЪЮЗЕН ЖИВОТ

- О. Йорданов – Кой има интерес от лош Закон за предучилищното и училищното образование?

ЕВРОПЕЙСКО ФИЗИЧЕСКО ДРУЖЕСТВО

- ЕФД – Енергия на бъдещето. Ядрените възможности

PERSONALIA

- Н. Балабанов – За учителя и човека проф. Христов

IN MEMORIAM

- Н. Ахабабян – Проф. д-р Владимир Илиев Генчев
- А. Г. Петров, Р. Камбурова – Академик Александър Иванов Держански

ЧЕТИВО С ПРОДЪЛЖЕНИЕ

- Ален Кон, Дани Шеро и Жак Диксмие – „Театърът на квантите“

THE WORLD OF PHYSICS 1'2015

CONTENTS

EDITORIAL 1

THE SCIENCE

- D. Nikolov – The Icing 2
- Georgi Dvali – Quantum black holes 18

HISTORY

- N. Balabanov – Alhazen and His “Cave” 30

SCIENCE AND SOCIETY

- I. Lalov – The role of optics in the advance of human knowledge 36

PHYSICS AND TEACHING

- T. L. Dimitrova – Medical Physicist – Modern and Prosperous Carrier 44
- M. Vatzkicheva – The Museum Collection of the Department of Physics at the University of MGU “St. Ivan Rilski” 50

BIBLIOGRAPHY

- L. Vatzkichev – Naiden Gueroov – the Phenomenon 54

UNION LIFE

- O. Yordanov – Who is interested in having a bad law for pre-school and school education? 56

EUROPEAN PHYSICAL SOCIETY

- EPS – ENERGY FOR THE FUTURE. The Nuclear Option 58

PERSONALIA

- N. Balabanov – Prof. Hristov, The Teacher and The Person 83

IN MEMORIAM

- N. Ahababian – Prof. Vladimir Iliev Gentchev 89
- A. Petrov and R. Kamburova – Acad. Alexander I. Derzhanski 91

SERIAL

- Alain Connes, Danye Chéreau and Jacques Dixmier – „Le Theatre Quantique“ 93

СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА

ТОМ XXXVIII, КН. 1, 2015 г.

Издание на Съюза на физиците в България

<http://aiophysics.eu/wop/>

(със спомоществателството на Българска академия на науките)

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯEDITORIAL STAFF

ГЛАВЕН РЕДАКТОР

Олег Йорданов

EDITOR-IN-CHIEF

<oleg.yordanov@gmail.com>

Oleg Yordanov

ЗАМЕСТНИК ГЛАВЕН РЕДАКТОРVICE EDITOR-IN-CHIEF

Михаил Бушев

<m_bushev@abv.bg>

Michael Bushev

ОТГОВОРЕН СЕКРЕТАР

Милен Замфиров

EXECUTIVE SECRETARY

<worldofphysics@abv.bg>

Milen Zamfirov

ЧЛЕНОВЕ

MEMBERS

Никола Балабанов

<balabanov_n@abv.bg>

Nicola Balabanov

Людмил Вацкичев

<Lyuvats@phys.uni-sofia.bg>

Liudmil Vatzkitchev

Светослав Рашев

<rashev@issp.bas.bg>

Svetoslav Rashev

Ганка Камишева

<gkamish@issp.bas.bg>

Ganka Kamisheva

Евгения Стойновска

<geni_stoinovska@yahoo.com>

Evgenia Stoinovska

Георги Граховски

<grah@inrne.bas.bg>

Georgi Grahovski

Александър Ганчев

<aganchev@aubg.bg>

Alexander Ganchev

Георги Латеv

<glatev@astro.bas.bg>

Georgi Latev

Лилия Ангелова

<angelova@ie.bas.bg>

Liliya Angelova

ТЕХНИЧЕСКИ СЕКРЕТАР

Снежана Йорданова

TECHNICAL SECRETARY

<upb@phys.uni-sofia.bg>

Snejana Iordanova

ВОДЕЩ БРОЯ: Олег Йорданов

АДРЕС НА РЕДАКЦИЯТА:

EDITORIAL OFFICE ADDRESS:

1164 София,

5, James Bouchier Blvd,

Бул. Джеймс Баучер № 5

☎ 02 862 76 60

1164 Sofia

e-mail: worldofphysics@abv.bg

ПРЕДПЕЧАТНА ПОДГОТОВКА: Д. Денчева

Дадена за печат на 15.07.2015 г.

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

бул. Цариградско шосе 72

ISSN: 0861-4210