



СЪЮЗ
НА ФИЗИЦИТЕ
В БЪЛГАРИЯ

3'18

СВЕТЪТ
СВЕТЪТ
СВЕТЪТ
СВЕТЪТ

НА

ФИЗИКАТА

С В Е Т Ъ Т Н А Ф И З И К А Т А

том XLI, кн. 3, 2018 г.

Издание на Съюза на физиците в България

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

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

ГЛАВЕН РЕДАКТОР

Сашка Александрова

ЗАМЕСТНИК-ГЛАВЕН РЕДАКТОР

Ана Георгиева

ОТГОВОРЕН СЕКРЕТАР

Пенка Лазарова

ЧЛЕНОВЕ

Никола Балабанов, Иван Лалов,
Евгени Попов, Мариана Кънева,
Радостина Камбурова, Борислав
Павлов, Светлен Тончев, Игорь
Масляницын, Лилия Атанасова

РЕДАКЦИОНЕН СЪВЕТ

Александър Г. Петров, Николай В.
Витанов, Чавдар Стоянов,
Николай К. Витанов, Лъчезар
Аврамов, Хассан Шамати,
Евгения Вълчева

ВОДЕЩ БРОЯ: Сашка Александрова

АДРЕС НА РЕДАКЦИЯТА:

Бул. „Джеймс Баучер“ №5,
1164 София

EDITORIAL STAFF

EDITOR-IN-CHIEF

Sashka Alexandrova

VICE EDITOR-IN-CHIEF

Ana Georgieva

EXECUTIVE SECRETARY

Penka Lazarova

MEMBERS

Nicola Balabanov, Ivan Lalov,
Evgeni Popov, Mariana Kuneva,
Radostina Kamburova, Borislav
Pavlov, Svetlen Tonchev, Igor
Maslyanitsin, Liliya Atanasova

EDITORIAL COUNCIL

Alexander G. Petrov, Nikolay V.
Vitanov, Chavdar Stoyanov,
Nikolay K. Vitanov, Lachezar
Avramov, Hassan Chamati,
Evgenia Valcheva

VOLUME EDITOR: Sashka Alexandrova

EDITORIAL OFFICE ADDRESS:

5, James Bouchier Blvd,
1164 Sofia

☎ 02 862 76 60

E-mail: worldofphysics@abv.bg

Предпечатна подготовка: Л. Атанасова

ISSN: 0861-4210

РЕДАКЦИОННО

Предназначението на „Светът на физиката“ е да разпространява знание. Какво е обаче знанието? Просто информация за заобикалящия ни свят? Нещо като база данни или по-сложна система с описание на явленията в тяхната взаимовръзка? Само да натрупваме данни не е достатъчно. Търсим взаимовръзките, обясненията, казано на модерен език „строим модели“, извеждаме закони, т.е. строим наука. Моделите трябва да имат предсказателна сила.

Но как е започнало всичко? Още от дълбока древност хората са искали да опознаят света. Били са изпълнени с любопитство – най-чистият мотив за изследване. Разбрали са например, че хвърленият нагоре камък пада обратно на земята – първото експериментално свидетелство за наличието на гравитация. Забелязали са, че нощното небе е изпълнено със светещи обекти, че има едно мощно светило, което изгрява и се издига на небето, става топло и светло, после се спуска, но от противоположната страна и става студено и тъмно – наблюдение, поставило началото на астрономията и термодинамиката. Освен любопитство има и още един мотив за изследване на света. Хвърляйки камък, от дървото може да се свали съдобен плод. Най-добре е това да се прави, когато Слънцето е изгряло и е светло, а когато то залезе е по-добре да се потърси скривалище от дивите зверове. Полученото знание е осигурявало приспособяване и оцеляване в един непознат свят.

До ден днешен пътят на познанието остава същият. Камъкът и пръчката са заменени с повече или по-малко сложна апаратура и компютри, а до тях сме достигнали благодарение на получените знания. И макар че науката е единна система, често говорим за фундаментална и за приложна наука.

Фундаменталната наука се занимава с изследване и получаване на познания за заобикалящия ни свят, откриване на основните закони, които управляват света. Тази наука се развива предимно в университетите и академиите на науките и често се нарича академична. Чистото изследване е източникът на повечето нови научни идеи и начини на мислене за света. Основните изследвания се извършват, без да се преследват практически цели. Това води до общо познаване и разбиране на природата, получаване на ново знание, разширяване на границите на познанието. Този процес е безкраен. Непрекъснато се правят нови фундаментални открития. Да си спомним Нобеловите награди от последните две години, които бяха дадени за регистрирането на гравитационните вълни (2017 г.) и за теоретични открития на топологични преходи и топологични фази на материята (2016 г.). Главен движещ импулс е вроденото интелектуално любопитство на всеки един човек към новото и неизвестното. Отговорите, които науката дава, ни вълнуват и възхищават толкова, колкото музиката, изкуството или литературата. Както казва Стивън Хокинг: „Науката не е просто ученик на разума, но също така романтика и страст“.

За разлика от фундаменталната, приложната наука е ориентирана към способността да се използват придобитите фундаментални знания и да се приложат към реални проблеми. Нейната основна задача е не просто изследване на дадено физично явление, а изследването му от гледна точка на решаване на технически или технологичен проблем. В този смисъл, приложната физика е основата на модерните технологии.

Непредсказуемо е обаче, кога ще възникне определен продукт или нов отрасъл на промишлеността, който води началото си от определено фундаментално знание. Процесът не е линеен. Но това, че в дългосрочен план знанията водят до нови технически приложения, е емпиричен факт, проверен през вековете. Фундаменталните изследвания стимулират нови начини на мислене, които имат потенциала драматично да подобрят начина, по който на практика да се решават технологичните проблеми в бъдеще.

Трябва ли обаче да развиваме фундаментална наука, чиито резултати е неясно кога ще намерят приложение във всекидневния живот? Тези въпроси не са нови. Още в древността Аристотел пише „Умът е не само в знанието, но и в умението то да се прилага“. Хуманистът от Ранния ренесанс Петрарка си задава риторичния въпрос: „Каква полза от това, че знаеш много, щом не умееш да прилагаш своите знания към нуждите си?“. В настоящия момент, изглежда, много хора сякаш не се интересуват от научната картина за света, нито за това как работят физичните закони. Какъв е смисълът на постигнатото досега, на научното наследство, оставено ни от тези, които наричаме велики, като например Джаул, Ландау, Файнман, за които разказваме в този брой? За какво става дума, за фундаментална или за приложна наука? Освен това съвременната наука изисква значителна финансова поддръжка и възниква въпросът трябва ли да се влагат средства, ако не се виждат приложими резултати в обозримо бъдеще. Известни са схващания, че изследванията трябва да захранват икономическата система, вместо да търсят отговори на въпроси, които нямат очевидно или непосредствено приложение, а само защото биха могли да увеличат нашите знания и да ни покажат очарованието на природата. Кой се интересува от това, че някой искал на измери скоростта на светлината? Или че някой измислил нанотранзистор, или разработил теория за растежа на кристалите? Фундаменталната наука не е ли ненужен лукс? Не е ли по-добре светът да използва ресурсите си за по-належащи нужди като здравеопазване, добив на енергия, чиста вода? В настоящия брой представяме мнението на проф. Люилин, бивш директор на ЦЕРН, за ползата от фундаменталните изследвания. Мнения и анализи по тези въпроси ще публикуваме и в следващите броеве, тъй като връзката образование-наука-технологичен прогрес е предпоставка за бъдещето на цивилизацията.

Сашка Александрова, главен редактор на „Светът на физиката“

КВАНТОВИТЕ ТОЧКИ И БЪЛГАРСКИЯТ ПРИНОС

Борис Арнаудов

Абстракт. Квантовите точки са наночастици с кристална структура с типични размери между 2 и 20 nm, в които електронните и фотонни процеси могат да се третират с квазикласични модели. Те намират приложения в най-различни области на наноелектрониката, оптоелектрониката, медицината и в много области на промишлеността. Решаващ принос в технологията на ансамбли от квантови точки има уникалната теория на българските учени Ив. Н. Странски и Л. Кръстанов за хетерокристализацията, създадена още през 1938 г. Цел на настоящата статия е да въведе достъпно тези идеи и постижения.

Повод за написването на тази статия е публичната лекция на тема „Софийската „Странски – Каишев“ школа по фазообразуване и кристален растеж и нейната следа в световната наука“, изнесена от доц. Михаил Михайлов на 12 октомври 2017 г. на сбирка от лекторията „Светът на физиката на живо“. В нея авторът обстойно и професионално изложи значителните приноси на двамата бележити български физикохимици, като отбеляза и една работа със съавтор Л. Кръстанов, тогава докторант на Ив. Странски, а в бъдеще – председател на БАН. Създадената през 1937 – 1939 г. теория за специфичен механизъм на хетерокристализация [1], наречена по-късно „Метод на Странски – Кръстанов“, третира процесите на отлагане на кристал върху вече съществуваща стена на друг различен кристал. По-късно, в края на миналото столетие, се оказва, че този процес прави възможно формиране на самоорганизирани ансамбли от нанокристали за квантови точки. Идеята на Странски и Кръстанов изпреварва с близо половин век появата на наноелектрониката и нанооптоелектрониката и има огромен принос за развитието им. Случаите на употреба и цитиране на резултатите на двамата автори в този дял от физиката и техниката са направо неизброими.

Настоящата статия е посветена на българския принос в създаването на квантови точки – методът на Странски и Кръстанов [1], представен от позицията на наноелектрониката и оптоелектрониката.

Увод

Квантовата точка (*Quantum Dot*, *QD*) е най-малкият обект на нанотехнологиите и наноелектрониката. Тя представлява наночастица, нанокристал с екстремно малки размери, обикновено между 2 и 20 nm, в някои случаи до няколко десетки nm. В квантовите точки електронните и съпровождащите ги фотонни процеси протичат с особености, наподобяващи процесите в единич-

ните атоми. Това е дало основание на Нобеловия лауреат по физика Жорес Алфьоров да нарече квантовата точка „изкуствен атом“.

За пръв път вниманието на физичната общност е насочена към екстремно малки, нанометрови обекти през 1959 г. от Нобеловия лауреат, бележит физик, блестящ лектор и популяризатор Ричард Файнман, чиято 100-годишнината от раждането отбелязахме през м. май тази година. В своята презентация [2], която може да се намери в различни варианти и която силно изпреварва развитието на физиката и технологията на нанообектите, той прави две важни стъпки.

- Първо, оценява статистически, че формиране в кондензирана фаза, което съдържа група от 100-160 атома, може да бъде постоянно във времето, в смисъл че няма да се саморазпадне. В сега достъпните версии на текста на тази презентация се говори за кубче метал от $5 \times 5 \times 5$ атома.

- Второ, ако такова кубче метал със страна няколко nm се нанесе върху друг метал и се използва за запис на един бит информация, то голямата Британска енциклопедия от 24 тома би могла да се запише върху повърхността на главата на карфица. А ако се осъществи обемен запис и четене, в главата на карфицата могат да се запишат всичките около двадесет и четири млн. тома съществуваща тогава литература.

В представянето си Файнман изброява и възможните технологични реализации на такива твърде малки формирования, като например литография с електронен сноп или нанопечат от групата методи за намаляване, раздробяване („*top-down*“), както и селективно израстване, и спонтанно и самоорганизирано израстване от групата „*bottom-up*“. Към някои от тези методи ще се върнем в изложението, като приносите на Странски и Кръстанов касаят именно самоорганизираното израстване на квантови точки.

Идеята на Файнман за използване на наноразмерни обекти също изпреварва развитието на нанофизиката. Вълнуваща и обещаваща, тя представлява първата – дотогава само мислена – реализация на нещо много близко до теоретичното понятие материална точка. Ще отбележим само, че в минималната си по размер реализация, предложената от Файнман „точка“ от типичните кристални вещества, използвани в електрониката, би съдържала само няколко елементарни клетки, като размерът ѝ ще е около 40 000 пъти по-малък от диаметъра на човешки косъм и около 2000 пъти по-малък от пращинките, които се носят във въздуха.

Днес наночастици се използват в почти всички области на техниката, в медицината и в други области на живота. Наночастиците квантови точки се използват широко в електрониката и оптоелектрониката, през последните години включително и за дисплеи и телевизионни екрани от ново поколение, наречено *QLED*. В представянето си Файнман не засяга детайли от технологията, както и поведението на електроните в такива наноразмерни простран-

ствено подредени тела – нанокристали. В тях малките размери довеждат до квантуване на енергията на електроните, докато в потенциалната яма на голямо кристално тяло спектърът на енергията им е непрекъснат. Във връзка с тези особености към названието **точка** е добавено определението **квантова**. Или, **квантови точки** са тези наночастици, които имат кристална структура и в които протичат специфични електронни и оптоелектронни процеси.

Изложението съдържа две части. В първата, в относително популярна форма, се въвеждат характерните особености на поведението на електроните в квантовите точки, като се следва логиката „*top-down*“ и се прави преглед на методите за създаване на квантови точки. Втората част е посветена на най-резултатния известен досега метод за създаване на ансамбли от квантови точки – метода на Странски и Кръстанов.

I. Електронни свойства на квантовите точки

В тази част ще въведем кратко „електронната“ страна на нанокристалните тела. Тя е описана в множество източници, като за пример ще посочим монографията на Вайсбух и Винтер [3]. За въвеждане в проблематиката може да се използват популярните статии [4, 5].

Както е известно, в кристалите с преобладаваща ковалентна връзка част от най-външните валентни електрони на атомите участват в процеси на електропроводимост и обмен на фотони. При това, в резултат на диелектричното въздействие на атомните остатъци и на резонансното действие на междоатомния потенциал, електроните на проводимостта се обобществяват в кристалната решетка. Използваният модел позволява – при някои ограничения за пространство и време – процесите да се описват в много добро квазикласично приближение. В него минималната Борова орбита на електроните става многократно по-голяма от тази в единичния атом, а самото приближение е наречено водородоподобно. Електроните на проводимостта имат зона с непрекъснат енергетичен спектър и могат да се опиричат на класични топчета. Придвижването им в кристала се описва от класичните уравнения на динамиката, като коефициентът с размерност на реципрочна маса в тях е многократно по-голям от този на свободния електрон. Това означава, че в рамките на модела „електроните-топчета“ на проводимостта в кристала се държат като пораснали и олекнали едновременно. Относителният дял на тези „електрони“ е малък и се мени експоненциално с температурата.

Това е квазикласичното приближение на зонната теория, което позволява кристалът да се описва като тримерна потенциална яма с плоско дъно, както и за неин модел да се използва своеобразна „кутия“. Размерите на кутията определят колко електрона могат да бъдат затворени в нея чрез силите на отблъскване от стените, които са станали достатъчно „плътни“ за порасналите електрони. Стените на кутията са пространствен израз на потенциалната стена на бариерите. Когато в смисъла на модела кутията е едновременно **дебе-**

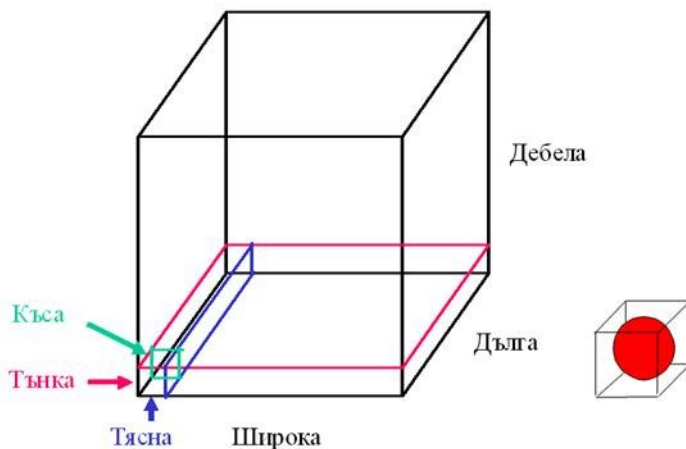
ла, широка и дълга, тя може да затвори в обема си много електрони. На Фигура 1 (ляво) е показана такава голяма кубична „кутия“ с ориентировъчен размер на ръба, около $1\ \mu\text{m}$ [4].

С помощта на някои от технологичните прийоми на *top-down*, намаляване, ние можем последователно да направим кутията:

- първо – **тънка**, колкото е диаметърът на топчето-електрон, но да я оставим **широка и дълга**, това е двумерна квантова яма (*Quantum Well, QW*), прави се със съвременните епитаксиални техники, с които може да се израстне един монослой;

- второ – **и тънка и тясна**, пак колкото един пораснал електрон, но да я оставим **дълга** – това едномерна квантова жичка (*Quantum Wire, QWr*), прави се с комбинация от литография и епитаксия;

- и накрая – **и тънка, и тясна, и къса** – кубче със страна равна на Боровия диаметър на електрона в кристала или квантова точка с нулева размерност (*Quantum Dot, QD*), прави се с техники, които ще коментираме отделно.



Фигура 1. (ляво) Модел на класична тримерна потенциална „кутия“, събираща много електрони. Кутията е дебела, широка и дълга [4]. (дясно) Модел на потенциална кутия за един пораснал електрон – квантова точка. Кутията е тънка, тясна и къса [4]

Това е само идейна илюстрация на методите за създаване на малки нанотела, като се тръгне от вече обявените за „големи“ микроструктури.

На Фигура 1 (дясно) е показано леко увеличено „малкото“ кубче от левия долен ъгъл на „голямата“ кутия. Това всъщност е модел на квантова точка с един пораснал електрон в нея в споменатото квазикласично приближение [4]. Картината формално възпроизвежда нещо като водородоподобен атом с твърде големи размери, примерен размер на ръба – десетина nm. Само че за разлика от природните атоми, в които електроните се задържат от силите на

привличане от ядрото, в този модел въпросният електрон – червеното топче – е затворено в потенциална кутия от стени, символизиращи силите на отблъскване навътре.

В трите последователно споменати по-горе нанообекта енергията на електроните става квантувана, като положението на енергетичните нива зависи от размерите им. Намаляването на размерите „изтласква“ енергетичните нива към горната част на бариерата. При това квантови структури от един и същи материал, включително квантови точки, ще излъчват фотони с различна енергия или светлина с различен цвят, както това става в атомите на различните елементи. За промяна на цвета на стандартните микросветодиоди досега се налагаше промяна на състава на кристалната структура. Това ново свойство на квантовите точки се оказва изключително перспективно за изработване на дисплеи и телевизионни екрани от ново поколение.

Изработването на такива единични квантови точки става чрез различни нанолитографски техники, съчетани с процеси на селективна кристализация в нанопрозорче, отворено в защитаващ слой. Подобен е и примерът в презентацията на Файнман [2], в който се предлага използването като инструмент на лъч на електронен микроскоп. Единични квантови точки се изработват по този начин, например за създаване на едноелектронни транзистори, в които преходът от логическа нула към логическа единица става при „вкарване“ в гейта (квантовата точка) на само един електрон.

От методите за получаване на много квантови точки ще отбележим спонтанната кристализация от течна или газова фаза, като процесът бива технологично прекъсван в началния си стадий. Така се синтезират големи количества свободно стоящи квантови точки, често диспергирани в някаква среда, например полимерна. Такива квантови точки могат да излъчват видима светлина при възбуждане, например с ултравиолетови фотони, като цветът на излъчване на квантови точки от един и същи материал ще се определя – съгласно казаното по-горе – от техния размер. На Фигура 2 са показани капсули от полимер с диспергирани в тях квантови точки от еднакъв материал, но с различни за различните капсули размери. Те излъчват от синя до червена светлина.

Показаните капсули са относително лесно реализуеми, но за повечето цели на оптоелектрониката са по-удобни конструкции, наподобяващи светодиода с хетеропреходи. Например, в телевизионните LED-екрани образът се формира от матрица светодиоди от трите основни цвята, на брой колкото са пикселите на екрана. Активните им области за всеки цвят са от различни по състав полупроводникови материали.

По-интересни и по-резултатни за практиката са методите за създаване на групи от квантови точки, пространствено подредени върху някаква подложка

и ансамбли от тях, образуващи двумерна или даже тримерна матрица. На такъв метод е посветена следващата част.



Фигура 2. Капсули от полимер с диспергирани в тях квантови точки от еднакъв материал, но с различни за различните капсули размери. Те излъчват от синя до червена светлина в зависимост от размера на квантовите точки

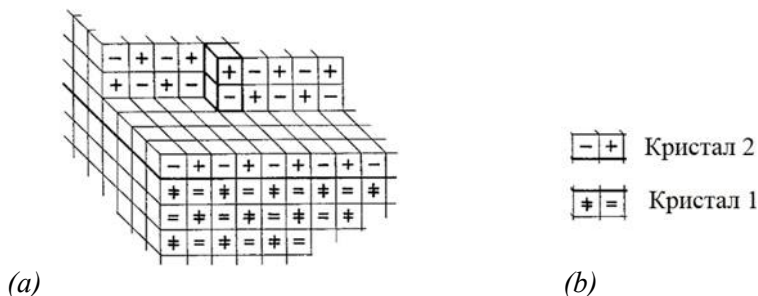
2. Метод на Странски и Кръстанов за израстване на ансамбли от подредени квантови точки

Очевидно, много по-резултатно би било израстването в активната област на светодиода на самоорганизирана матрица от квантови точки, за начало двумерна. Ще отбележим, че за разлика от свободно стоящите квантови точки, израстналите върху друг материал частици са ограничени от потенциални бариери, които се образуват на интерфейсите. За начало това е хетеропреход на границата с подложката, но като краен ефект обикновено се използва всестранното ограничаване с материала на подложката или с друг подходящ материал. Квантова точка, обградена от всичките си страни с хетеропреход, се нарича погребана (*buried*).

Теорията на кристалния растеж в общия си вид е развита в първата половина на миналото столетие със значимото участие на Софийската школа „Странски – Каишев“ и на немския учен Косел. Съгласно тази теория кристалите нарастват послойно, като в процеса най-напред се образуват последователно редици от кристални клетки и след запълването на повърхността с такива редици се образува поредният кристален слой. Статистически една структурна частица може да се отложи многократно на най-вероятното място, да попълни част от дадена редица от частици или да образува начало на нова редица. Този тип послоен растеж определя всяка кристална стена като съставена от такива попълнени или попълващи се редици. Теорията е развита за йонни кристали, но е приложима за бинарни или квазибинарни многокомпонентни кристални вещества. Бинарността създава някаква степен на йонност в иначе преобладаващия ковалентен характер на връзката. По този начин атомите на едната или повече от компонентите могат да бъдат условно причислени към групата на катионите, а останалите – към анионите. Процесът е илюстриран на Фигура 3а [1]. Вижда се образуването на поредни слое-

ве и поредни редици. В случая на хомогенен кристал този процес би се повтарял многократно.

Теорията, развита от Странски и Кръстанов в [1], разглежда случай, в който върху повърхността на един кристал, Кристал 1, започва да расте друг, Кристал 2 (Фигура 3b). Това е така наречената хетерокристализация. Предполага се, че двата кристала имат еднакви решетъчни константи. Странски и Кръстанов отчитат, че след като върху Кристал 1 е отложен първият решетъчен слой, кристализацията няма да продължи послойно.



Фигура 3 (a) Модел на хетерокристализация съгласно [1]. След отлагане на първия слой от Кристал 2 върху Кристал 1 послойната кристализация се превръща в стъпална. (b) Означения на Кристал 1 и Кристал 2 съгласно [1]

По-долу показваме факсимилно разсъжденията на Странски и Кръстанов от [1].

Съвсемъ не е необходимо, обаче, щото отлагането на кристала да протича непремънно по такъвъ начинъ, че най-напредъ да се образува втората решетъчна равнина и следъ това върху нея — третата и т. н. Протичането на процеса може да става и така, че върху първата решетъчна равнина $Kt \cdot An'$ да се образува единъ двудимензионенъ зародишъ, който да се състои отъ две или повече решетъчни равнини. Парното налѣгане (респ. разтворимостъта) на единъ достатъчно голѣмъ двудимензионенъ кристалъ, който се състои отъ две или повече решетъчни равнини, ще бѣде по-малко отколкото парното налѣгане p_2 и това говори въ полза на втората възможност. Решаваще е, обаче, дали работитѣ за образуването на съответнитѣ зародиши сж по-голѣми или по-малки отъ работата за образуването на единъ двудимензионенъ зародишъ, който се образува върху първата решетъчна равнина $Kt \cdot An'$ и се състои само отъ една единствена решетъчна равнина³⁾.

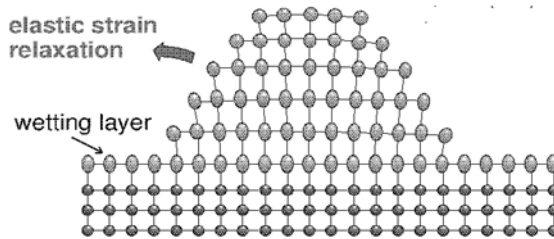
Тук с $Kt \cdot An'$ е означен Кристал 2 от Фигура 3b.

Въпросните „двудимензионни зародиши“ в началния си стадий представяват нанокристални островчета и водят до образуване на ансамбли от квантови точки. Следващото нарастване може да превърне островчетата в кванто-

ви дискове, а след това и да ги съедини в нов слой, но тези етапи не влизат в предмета на настоящата статия.

Важно е да се отбележи, че тази теория за хетерокристализация с поява на двумерни островни зародиши представлява почти гениално прозрение, изпреварващо всички тогавашни представи за кристален растеж. От публикуването ѝ през 1939 г. тя практически не е проверявана и вниманието се насочва към нея едва след няколко десетилетия.

Особен ефект се появява като следствие от нееднаквата решетъчна константа на двата кристала, което е реалният случай. Като правило това води до пирамидална форма на островчетата, обикновено реализирани като пресечени пирамиди. Това е илюстрирано на Фигура .



Фигура 4. Пирамидалност на кристалните наноостровчета, предизвикана от – в случая – по-голямата константа на кристалната решетка на хетерокристала. Илюстрирано е образуването на остров върху т.нар. „мокрещ слой“ от нарастващия кристал

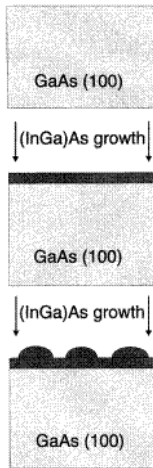
Удивителното е, че получените наноразмерни островчета могат да бъдат подредени по повърхността на мокрещия слой, повтаряйки крупномасабно симетрията на подложката и образувайки двумерна плоска свръхрешетка. Това подреждане се определя с термина „самоорганизирано израстване“.

Процесът на получаване на такива самоподредени ансамбли от квантови точки е изучаван експериментално и описан от множество автори. В настоящия текст ще се възползваме главно от изчерпателния обзор на Р. Ньотцел [6], в който са показани и множество илюстрации, направени на специално израстнали ансамбли с по-големи размери на островчетата, за да може да бъдат заснети.

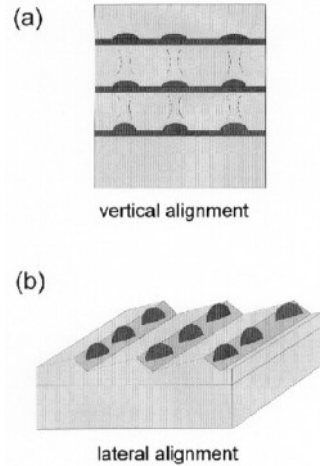
На Фигура 5 е показана илюстрация на идеята на модела Странски-Кръс-танов. Вижда се отгоре-надолу последователното израстване върху подложка от GaAs на мокрещ слой от InGaAs и последвалото образуване на островчета от него.

Островчетата могат да бъдат „погребани“ отново чрез кристализация с GaAs и процедурата да бъде повторена няколкократно до получаване на три-мерен ансамбъл от вертикално (Фигура 6a) или странично (Фигура 6b) съгласувани квантови точки. Схематичното представяне на подредеността е идеа-

лизирано и не винаги осъществимо, но експериментите показват и доста сполучливи реализации.

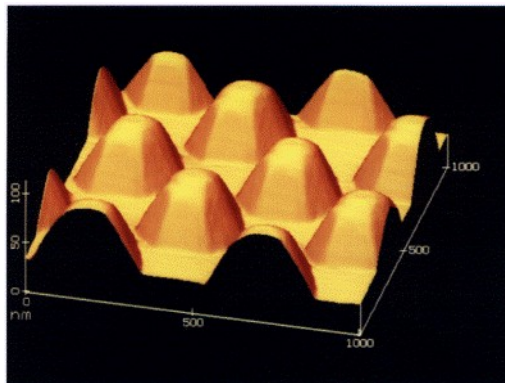


Фигура 5. Илюстрация на последователните етапи на образуване на нанокристални островчета при хетерокристализация по модела на Странски-Кръстанов [6]



Фигура 6 (а) Илюстрация на вертикалното съгласуване на слоевете от погребани островчета, израстнали по модела на Странски-Кръстанов [6]. (б) Илюстрация на страничното съгласуване на островчета, израстнали по модела на Странски-Кръстанов [6]

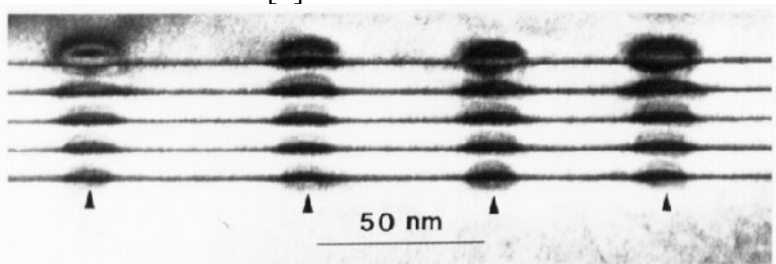
На Фигура 7 е показана снимка от атомно-силов микроскоп (AFM) на пирамидални нанокристали от AlGaAs, формирани чрез метода на Странски-Кръстанов върху мокрещ слой от 10 nm InGaAs на подложка от стена с индекси (311) [6] от GaAs.



Фигура 7. AFM снимка на пирамидални нанокристали от AlGaAs формирани чрез метода на Странски-Кръстанов върху мокрещ слой от 10 nm InGaAs на подложка от стена от GaAs с индекси (311) [6]

Вижда се възпроизведената тетрагонална симетрия на подложката. За да може да се направи снимка, растежът е продължен до доста по-големи размери на кристалните островчета.

На Фигура 8 е показан напречен изглед от трансмисионен електронен микроскоп на вертикално съгласувани слоеве от островчета от InAs, израстнали върху GaAs, погребани със слой от GaAs и разделени помежду си от 36 кристални монослоя от GaAs [6].



Фигура 8. Напречен изглед от трансмисионен електронен микроскоп на вертикално съгласувани слоеве от островчета от InAs, израстнали върху GaAs, погребани със слой от GaAs и разделени помежду си от 36 кристални монослоя от GaAs [6]

Вижда се, че така формираните по метода на Странски-Кръстанов многослойни ансамбли от квантови точки са много удачни за изработване на активните области на светодиодни структури от ново поколение, особено за преносими и стационарни дисплеи.

Ще завършим с една друга страна на българско участие и принос в проблематиката на квантовите точки. През 2004 г. във Физическия факултет на СУ „Св. Климент Охридски“ завършва магистърска степен по „Лазерна физика и оптика“ към катедра „Квантова електроника“ студентът Добри Симеонов. По това време в магистърската програма е включен и курс по полупроводникови лазери (Лазери за нанооптиката), четен от автора на настоящата статия. В курса е отделено специално внимание на лазери с квантови точки, главно по метода Странски-Кръстанов, както и на самия модел на кристализация. След завършването на магистратурата Добри Симеонов прави докторантура в *École polytechnique fédérale de Lausanne* на тема „*Synthesis and optical investigation of single polar GaN/AlN Stranski-Krastanow quantum dots*“, като публикува статии, две от които [7, 8] са пряко посветени на обсъждания по-горе модел. Може да се предположи, че изборът на тематиката – полупроводникови лазери и модела Странски-Кръстанов – е повлиян от първия контакт чрез курса лекции. След защитаването на докторската степен Добри Симеонов работи като *Postdoctoral Researcher* в *UC Santa Barbara* по същите и подобни проблеми, включително и с изследване на квантови кристали.

Добри Симеонов не е единственият българин физик, допринесъл и допринасящ за развитието на физиката и технологията на наноструктури с

квантови точки. Даже само изброяването на известните ми колеги и публикуваните от тях статии би било трудно, а и не е възможно в обсега на статията. Спираме се на Добри Симеонов – без ни най-малко да омаловажаваме работите на останалите колеги – заради известната доза емблематичност в неговото участие. С това кръгът на българския принос в технологията и изследването на квантовите точки се затваря идейно по един достоен начин.

Литература

- [1] *Върху теорията за отлагане на йонни кристали един върху другъ*. И. Н. Странски и Л. Кръстановъ. Годишникъ на Софийския университетъ, II. Физико-математически факултетъ, книга 2 (Химия) XXXV 1938-1939, стр. 169 – 183.
- [2] *Plenty of Room at the Bottom*. Richard P. Feynman (Dated: Dec. 1959)
This is the transcript of a talk presented by Richard P. Feynman to the American Physical Society in Pasadena on December 1959, which explores the immense possibilities offered by miniaturization.
- [3] *Quantum Semiconductor Structures*. Claude Weisbuch and Borge Vinter, Academic Press, Inc., Boston, 1991.
- [4] Въведение в наноелектрониката. Б. Арnaudов, сп. Физика: методология на обучението (в печат).
- [5] Полупроводниците – един поглед към електроните, Б. Арnaudов. сп. Физика: методология на обучението кн. 2 219-230 (2014).
- [6] Richard Nötzel, TOPICAL REVIEW: *Self-organized growth of quantum-dot structures*. Semicond. Sci. Technol. **11** 1365 (1996).
- [7] D. Simeonov, E. Feltin, J.-F. Carlin, R. Butté, M. Illegems, and N. Grandjean, *Stranski-Krastanov GaN/AlN quantum dots grown by metal-organic vapor phase epitaxy*. Journal of Applied Physics **99** 083509 (2006).
- [8] D. Simeonov, E. Feltin, F. Demangeot, C. Pinquier, J.-F. Carlin, R. Butte, J. Frandon, N. Grandjean, *Strain relaxation of AlN epilayers for Stranski-Krastanov GaN/AlN quantum dots grown by metal organic vapor phase epitaxy*. Journal of Crystal Growth **299** 254-258 (2007).

QUANTUM DOTS AND THE BULGARIAN CONTRIBUTION

Boris Arnaudov

Quantum dots are nanoparticles with a crystalline structure and dimensions typically between 2 and 20 nm, in which the electronic and photonic processes can be treated in frames of semiclassical models. Quantum dots are applied in nanoelectronics, optoelectronics, medicine, industry etc. Their most important applications are single-electron and single-photon devices.

A crucial contribution in the technology of self-organized quantum-dot structures is the unique theory of hetero-crystallization of the Bulgarian scientists I. N. Stranski and L. Krastanov created in 1938 and widely used in the second half of the 20th century and up to now. Here the formation on a substrate of groups of nanocrystal islands – quantum dots – assembled in spatially ordered 2- or even 3-dimensional matrix is predicted. The latter are used for constructing of modern nano- and optoelectronics devices, such as high-efficiency lasers and QLED displays.

Currently, many Bulgarian physicists investigate the technology and properties of quantum dot structures as well.

ПОСЕТЕТЕ НАШИЯ САЙТ

wop.phys.uni-sofia.bg

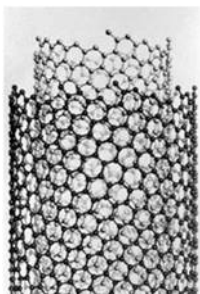
**НА НЕГО МОЖЕТЕ ДА ОТКРИЕТЕ ВСИЧКИ БРОЕВЕ НА
„СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА“ ОТ 1991 Г. ДОСЕГА**

ВЪГЛЕРОДНА ЕЛЕКТРОНИКА (II ЧАСТ)

Савчо С. Тинчев

2. Въглеродни нанотръбички

Въглеродните нанотръбички (*Carbon nanotubes* – *CNT*) са открити през 1991 г. [1]. Те представляват едномерен (1D) въглероден наноматериал, подобен на двумерния (2D) графен. Смята се, че *CNT* се формира чрез огъване на лента от графен, за да се образува затворен цилиндър. Забележителните електрични свойства на въглеродните нанотръбички се дължат до голяма степен на необичайната електронна структура на графена. Освен това полупроводниковите въглеродни нанотръбички са материали с пряка забранена зона, представляващи идеална система за оптиката и оптоелектрониката и даващи възможност за прилагане както на електронните, така и на оптоелектронните технологии върху един и същ материал.



Фигура 1: Многостенна въглеродна нанотръбичка

Цилиндричните въглеродни нанотръбички могат да растат в две форми: многостенни или с единични стени. Многостенните въглеродни нанотръбички (*Multi Walled Carbon Nanotubes* – *MWCNT*) (Фигура 1) се състоят от концентрични *CNT* цилиндри. Разстоянието между тях е приблизително $3,4 \text{ \AA}$, което е ван дер Ваалсовото (*van der Waals*) разстояние на две графитни въглеродни решетки. Единостенните въглеродни нанотръбички (*Single Walled Carbon Nanotubes* – *SWCNT*) се състоят от един графенов цилиндър с метален или полупроводников характер.

2.1. Електрични свойства на *CNT*

Въглеродните нанотръбички могат да се характеризират с набор от електрични свойства – съпротивление, капацитет и индуктивност, които произтичат от вътрешната структура на нанотръбичката и взаимодействието ѝ с други обекти. Електричният транспорт вътре в *CNT* се определя от разсейване от дефекти и от трептения на решетката, които водят до съпротивление, близко до това в обемните материали. Обаче 1D природата на *CNT* и силната ковалентна връзка имат съществено влияние. Разсейването на малки ъгли не е позволено в 1D материал, а само постъпателно движение на носителите. Най-важното е, че 1D природата им води до нов тип квантувано съпротивление, дължащо се на свързването с тримерни (3D) макроскопични обекти като

металните електроди – квантувано контактно съпротивление $R_Q = h/4e^2 = 6,45 \text{ k}\Omega$.

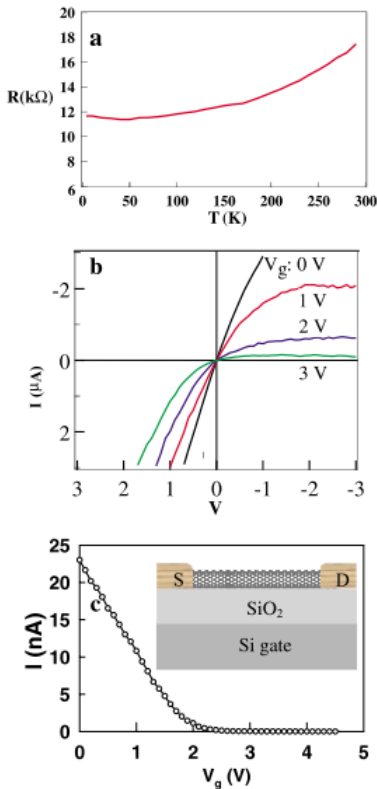
Съществуват и други форми на контактно съпротивление, като например Шотки бариери на интерфейсите метал-полупроводникова нанотръбичка и „паразитно“ съпротивление, което се дължи на лоши контакти. Когато единственото съпротивление е квантовото, транспортът в *CNT* е балистичен – т.е. в обема на *CNT* няма разсейване на носителите или разсейване на енергия. Дължината, върху която един *CNT* може да се държи като балистичен проводник, зависи от структурното му съвършенство, температурата и големината на електричното поле. По принцип балистичният транспорт може да бъде постигнат до дължини, които са от порядъка на микрометър. При дълги *CNT* или при силни полета може да има голям брой разсейващи удари и се достига така наречената дифузионна граница, характерна за конвенционалните проводници, т.е. носителите имат ограничена подвижност. Въпреки това в *CNT* тя може да бъде много висока – до 1000 пъти по-голяма, отколкото в обемния силиций. Подвижността при слаби полета е много висока във въглеродните нанотръбички дори при стайна температура, за разлика от много други материали като III-V полупроводниците, които имат много висока подвижност при ниски температури, но съществено намаляваща при стайна температура.

Собствената електронна структура на *CNT* води също така до капацитет, който е свързан с плътността на състоянията, т.е. с разпределението на енергетичните им състояния, и не зависи от електростатиката. Този квантов капацитет (C_Q), е малък – от порядъка на $10^{-16} \text{ F}\cdot\mu\text{m}^{-1}$. Освен C_Q *CNT*, включена в структура, има електростатичен капацитет C_G , който възниква от свързването с околните проводници и като такъв зависи от геометрията на прибора и диелектричната структура. Двата капацитета са свързани последователно, т.е. $1/C_{\text{total}} = 1/C_G + 1/C_Q$, и следователно определящ е по-малкият капацитет. В повечето експериментални полеви транзистори (*field-effect transistors* – *FETs*) на базата на *CNT* C_G е по-малък от C_Q , но в *CNT FETs* със силно намалени размери и диелектрик с висока диелектрична константа, C_Q може да доминира в общия капацитет и да определя функционирането на прибора.

CNT имат и индуктивност, която е съпротивление срещу всякакви промени в тока, протичащ през тях. Тук също има квантов и класически принос. Квантовата индуктивност, обикновено наричана кинетична индуктивност L_K , е съпротивлението спрямо промяната на кинетичната енергия на електроните в *CNT*. Това води до скорости на електроните, които изостават по фаза спрямо външното поле и са пропорционални на плътността на състоянията на *CNT*. Класическата индуктивност L_C зависи от диаметъра на *CNT*, геометрията на структурата и магнитната проникваемост на средата. Общата индуктивност е сума от двете стойности, така че доминира по-голямата индуктив-

ност L_K ($L_K \approx 16 \text{ nH} \cdot \mu\text{m}^{-1}$, $L_C \approx 1 \text{ nH} \cdot \mu\text{m}^{-1}$). В отговор на променлив сигнал поради индуктивността си *CNT* се държи като предавателна линия.

На Фигура 2 са показани някои типични електрични свойства, включващи *I-V* характеристика на *CNT*.



Фигура 2. Електрични свойства на единични *SWNT*

a) Съпротивлението във функция от температурата на метална *SWNT* с два *Ti*-електрода

b) *I-V* характеристики на полупроводникови *SWNT* при различни напрежения на гейта V_g

c) $I(V_g)$ характеристики на нанотръбичката

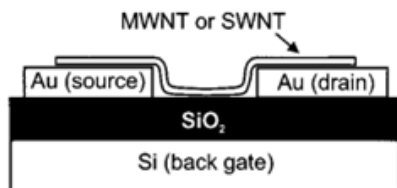
2.2. Приложение на *CNT* в електрониката

- Металните (най-вече многослойните) *CNT* предлагат възможност за използване като съединения в интегрални схеми с висока степен на интеграция.
- Полупроводниковите *CNT* могат да бъдат използвани като база на нови транзистори с полеви ефект.
- Възможност за охлаждане с чипове чрез вградени въглеродни нанотръбички.
- Получаване на електронни полеви емитери от въглеродни нанотръбички.

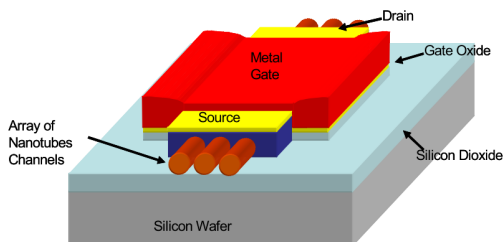
2.2.1. *CNT FETs*

За пръв път *CNT FETs* бяха предложени през 1998 г. [2, 3]. Основното предимство на *CNT FETs* спрямо *Si MOS FETs* в логическите схеми е техният

много по-малък капацитет ~ 10 aF (за $d_{CNT} = 1$ nm, $L = 10$ nm) и тяхното понижено работно напрежение. По този начин *CNT FETs* предлагат по-ниска енергия на превключване за логически преход. Енергията на динамично превключване на даден прибор се дава с: $1/2(C_{dev} + C_{wire})V^2$, където C_{dev} и C_{wire} са съответно капацитетите на прибора и на свързването. Тъй като за *CNT* и C и V са по-малки, *CNT FETs* могат да имат предимство да са до шест пъти по-ефективни.



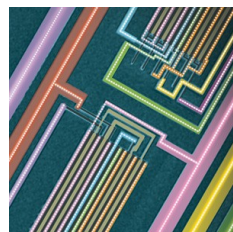
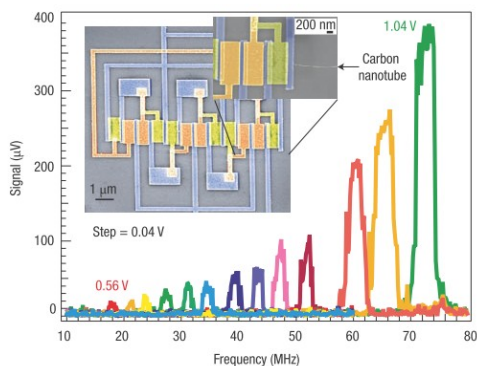
Фигура 3. Напречно сечение на FET прибор. Като заден гейт служи Si подложка



Фигура 4. Диаграма на транзистор с *CNT* гейт

2.2.2. Интегрални схеми с нанотръбички

За логически схеми и ринг-осцилатори (Фигура 5) са предложени по-сложни структури на базата на *CNT-FET* [4].



Фигура 5. Ринг-осцилатор на базата на една нанотръбичка. Графиката показва промяната на честотата при увеличение на захранващото напрежение

Фигура 6. Електронно-микроскопска снимка на част от първия компютър с въглеродни нанотръбички

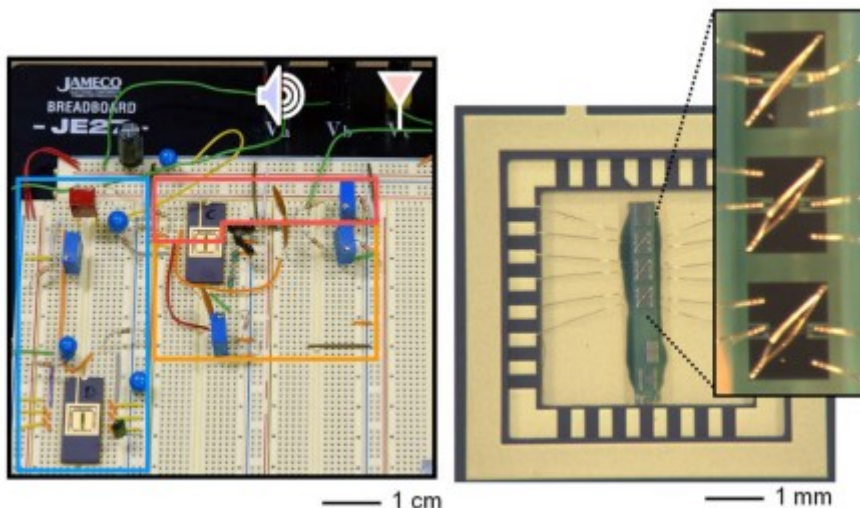
2.2.3. Компютър на базата на въглеродни нанотръбички

В Университета Станфорд е изготвен компютър с въглеродни нанотръбички, като статията е публикувана през септември 2013 г. в „Nature“ [5]. Това е демонстрация на най-сложната реализирана електронна система – първият компютър, изграден изцяло с транзистори, базирани на *CNT* (Фигура 6).

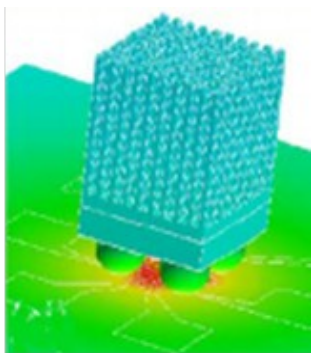
Компютърът е бавен и прост, но показва, че електрониката с въглеродни нанотръбички позволява потенциална замяна на Si при достигане на границите на намаление на размерите на електронните схеми. Процесорът е съставен от 178 транзистора, всеки от които съдържа въглеродни нанотръбички с дължина от 10 до 200 nm и е сравним по отношение на възможностите с първия микропроцесор *Intel 4004*, пуснат през 1971 г.

2.2.4. Високочестотна аналогова електроника на базата на въглеродни нанотръбички

Разработени са също радиочестотни (*RF*) аналогови електронни устройства със *SWNT* като теснолентови усилватели, работещи във *VHF* честотен обхват [6, 7] (Фигура 7).



Фигура 7. Изображение на радио. Показан е увеличен образ на *SWNT* транзисторите



Фигура 8. Електронно-микроскопско изображение на структура на чип /CNT охладител.

2.2.5. Охлаждане на чипове посредством интегрални въглеродни нанотръбички

Високата консумация на електроенергия и съответният проблем с разсейването на топлината са две от най-сериозните ограничения в електрониката с висока производителност. Ефективно охлаждане на силициевите чипове може да се постигне като се използват фини структури, направени от подредени многостенни решетки от въглеродни нанотръбички [9] (Фигура 8). Малки охлаж-

дащи елементи, монтирани на задната страна на чиповете, позволяват разсейване на мощността на нивото на съвременните изисквания към електрониката. Нанотръбните перки са механично по-добри в сравнение с други материали, като са десет пъти по-леки, гъвкави и в същото време твърди. Получената ефективност на охлаждане е в обхвата на нуждите на микросхемите ($\sim 100 \text{ W.cm}^{-2}$).

2.2.6. Електронни полеви емитери от въглеродни нанотръбички

Електронно-полева емисия се получава в резултат от действието на външно електрично поле върху проводник. Добрите емисионни свойства на *CNT* се дължат главно на високата стойност на отношението на размерностите (съотношение на размерностите е $\alpha = h/d$, където h е височината и d е диаметърът на нанотръбичката), присъщо на тези обекти. В резултат на това интензитетът на електричното поле в близост до нанотръбичката е стотици пъти по-висок от усреднената по обема стойност. По тази причина емисионните свойства на *CNT* се проявяват при значително по-ниски стойности на приложеното напрежение в сравнение със стандартните катодни емитери, които са макроскопично заострени метални остриета [10, 11].

Емисионните характеристики на слоеве от *CNT*, измерени при стайна и слабо повишени температури, са в добро съгласие с *Fowler – Nordheim* емисията $J=C_1 E^2 \exp(-C_2/E)$, където J е плътността на тока и E е интензитетът на електричното поле на границата на проводника.

Електронните устройства със студени катоди, базирани на *CNT*, включват електронни дисплеи, рентгенови източници, луминесцентни източници на светлина и т.н. и се отличават от конвенционалните аналози с по-ниско приложено напрежение и захранване, ниско тегло и малък напречен размер.

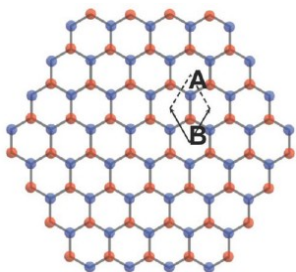
3. Графен

Графенът е полуметал, в който носителите на заряд се държат като фермиони на Дирак (с нулева ефективна маса) [12], което води до ефекти като подвижности до $200000 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ [13], разстояния на балистичен транспорт до $1 \text{ }\mu\text{m}$ при стайна температура [14], полуцял квантов Хол-ефект [14, 15] и абсорбция само на 2,3% видима светлина [16]. Голямата подвижност на носителите също го прави подходящ за високочестотни електронни прибори [17, 38], докато ниската абсорбция и полуметалната природа го прави идеален прозрачен проводник, когато се изисква прозрачност и ниско съпротивление (за замяна на *ITO – Indium Tin Oxide*) [18].

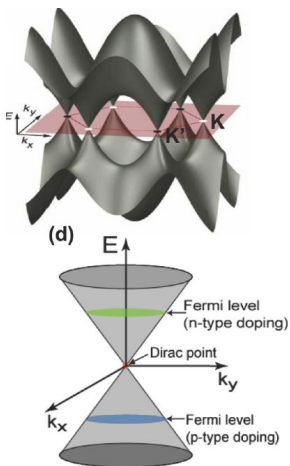
3.1. Електрични свойства на графена

Въпреки че графитът, който е източникът на графен, се използва още от древността, електричните свойства на графена са изследвани за пръв път през 2004 г. от Новоселов, Гейм и колеги от университета в Манчестър [19, 20]. Графенът е идеална 2D система (Фигура 9), но за разлика от конвенцио-

налните 2D системи притежава уникална зонна структура. Валентната и проводимата му зони се допират в шест точки – така наречените точки на Дирак или на неутралност (Фигура 10), т.е. графенът е материал с нулева забранена зона.



Фигура 9. Хексагоналната решетка на графен с два атома (A и B) на една клетка



Фигура 10. 3D зонна диаграма на графен и нейната апроксимация за малки енергии като два конуса, докосващи се в точката на Дирак

Транспортните свойства на графена и на въглеродните нанотръбички са подобни в много отношения. Например носителите и за двата материала могат да имат много високи подвижности и амбиполарен транспорт. Съществуват обаче и различия като разликата в размерността (1D срещу 2D) и произтичащите от това промени в Ландауеровото (*Landauer*) контактно съпротивление и наличието на забранена зона в полупроводниковите нанотръбички.

Свойствата на графена, които са от съществено значение за транзисторни приложения са следните:

- Забранена зона

Графенът е полуметал с нулева забранена зона. По тази причина прибори с канал от графен не могат да бъдат превключвани и следователно не са подходящи за логически приложения. Но зонната структура на графена може да бъде променяна и е възможно да се отвори забранена зона по три начина: 1) чрез ограничаване на обемен графен в едно измерение, за да се образуват наноленти, 2) чрез прилагане на напрежение на двуслоен графен и 3) чрез прилагане на механично напрежение.

▪ Подвижност

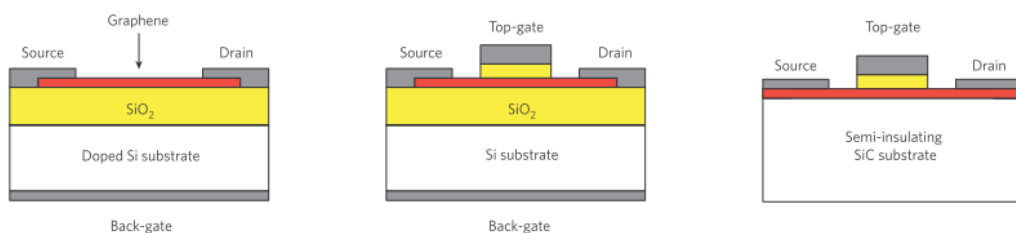
Най-често посочваното предимство на графена е високата подвижност на носителите при стайна температура. За ексфолиран графен върху покрити със силициев диоксид силициеви подложки са характерни подвижности $10\,000\text{--}15\,000\text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$. При отсъствие на заредени примеси и неравности на повърхността се очаква $200\,000\text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ и за свободен графен е измерена подвижност $10^6\text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ [46]. Тези стойности са впечатляващи, но трябва да бъдат интерпретирани внимателно. Въпреки че високите подвижности могат да увеличат скоростта на приборите, те са за сметка на това, че е трудно изключването, като с това отпада едно от основните предимства на *CMOS* – ниското статично потребление на енергия. Независимо от това много приложения като ВЧ усилватели или миксери остават важна област за използване на графеновите транзистори.

▪ Амбиполярен полеви ефект

Графенът показва силен ампополярен полеви ефект. Приложеното поле индуцира повърхностен ефект и съответно измества нивото на Ферми. В резултат се получава полево легиране. Положително напрежение привлича електрони, а отрицателно напрежение привлича дупки, което води до намаляване на съпротивлението на прибора.

3.2. Транзистори на базата на графен

Графеновите транзистори се развиват бързо и сега се считат опция за пост-силициевата електроника. Еднослойният графен е изцяло двумерен материал. Най-често използваните методи за получаване на графена са механично ексфолиране, растеж върху метали и последващо прехвърляне на графена върху изолиращи подложки [21, 22], и термично разлагане за получаване на епитаксиален графен върху SiC подложки [23, 24].



Фигура 11. Структура на графенови MOSFETs

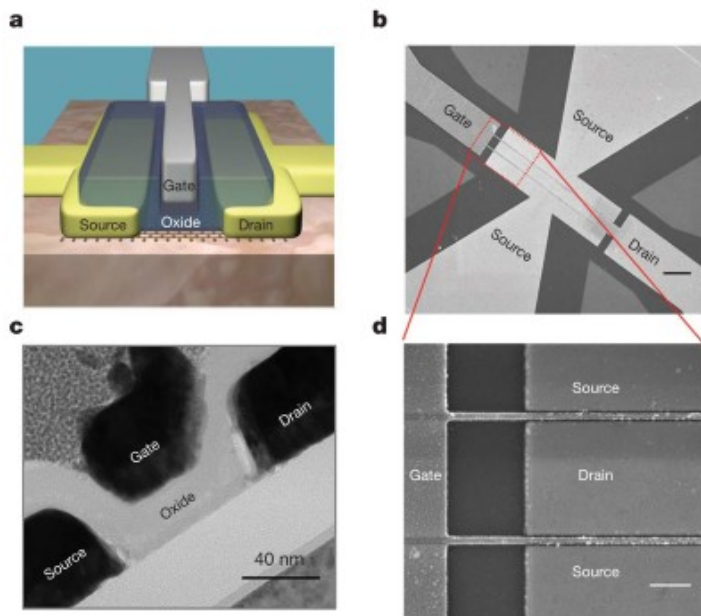
Схема на графенов полеви транзистор *FET* е показана на Фигура 11. Първият графенов *MOS* прибор е направен от Манчестърската група през 2004 г. [25]. Слой от SiO₂ с дебелина 300 nm под графена служи като диелектрик, а легираната Si подложка служи като заден гейт. Такива прибори със заден гейт са удобни за целите на доказването на концепцията, но поради твърде големи паразитни капацитети не могат да бъдат интегрирани с други

компоненти. Ето защо, графеновите транзистори се нуждаят от горен гейт. Такъв графенов MOSFET е получен през 2007 г. [26].

3.3. Графенови транзистори върху *DLC*

Транзисторите, направени от графен, получен чрез *CVD* (*Chemical Vapor Deposition*) отлагане върху медни (Cu) подложки, които след това се прехвърлят върху SiO_2 , показват по-слаби характеристики поради разсейването от фонони и дефекти на SiO_2 повърхността.

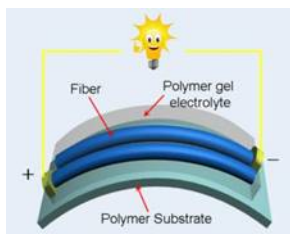
IBM предложи използването на диамантоподобен въглероден слой (*Diamond-like carbon, DLC*), отложен върху SiO_2 , за подложка за прехвърляне на графеновите слоеве [27]. Схема и *SEM* и *TEM* изображения на графенов *r.f.* транзистор са показани на Фигура 12. *DLC* има предимствата на по-висока фононна енергия и по-ниска плътност на уловките на повърхността и следователно трябва да има по-малко влияние върху транспортните свойства на графена. Еднослоен графен първо се израства върху Cu фолио при 1000°C , след това се отделя от Cu и се прехвърля върху *DLC* подложката. За оформяне на сorsa и дрейна, както и на гейта, се използва литография с електронен лъч. Чрез плазмено ецване се отстранява графенът извън областта на канала. За гейтов диелектрик се използва Al_2O_3 , отложен в двустъпален процес, като първо се окислява Al-слой, изпарен с електронен лъч, след което се нанася допълнителен слой Al_2O_3 чрез атомно послойно отлагане (*atomic layer deposition – ALD*).



Фигура 12. Производство на графенови *r.f.* транзистори

3.4. Суперкондензатори на базата на графен

Микро-суперкондензаторите са обещаващи устройства за съхранение на енергия, които могат да допълват или дори да заменят батериите в миниатюрната преносима електроника и микроелектромеханичните системи. Основното им ограничение е ниската обемна плътност на енергията в сравнение с батериите. В [28] е представено въглеродно микровлакно, направено от мрежа от подредени въглеродни нанотръбички с единични стени с вградени легирани с азот редуцирани графенови оксидни слоеве. Наноматериалите образуват мезопорести структури с голяма специфична повърхност ($396 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$) и висока електрическа проводимост (10^2 S.cm^{-1}). Микро-суперкондензаторите могат да бъдат лесно интегрирани в миниатюрни гъвкави устройства. Използват се например за захранване на ултравиолетов фотодетектор и диод, излъчващ светлина.



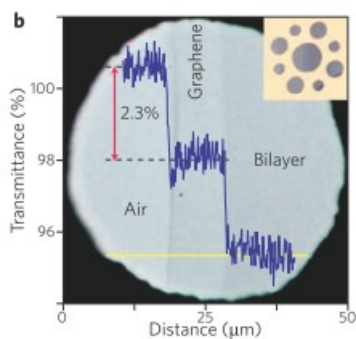
Фигура 13. Суперкондензатори на базата на графен



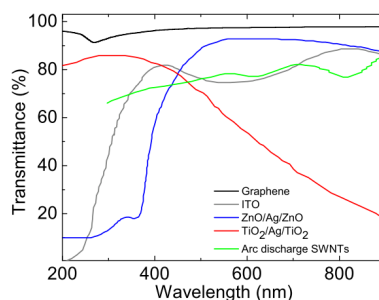
Фигура 14. Гъвкави суперкондензатори на базата на графен

3.5. Прозрачни проводящи графенови електроди

Прозрачни проводими графенови слоеве са алтернатива на използваните в момента в електрониката и в оптоелектрониката метални оксиди като *ITO*,



Фигура 15. Пропускане при нарастващ брой графенови слоеве



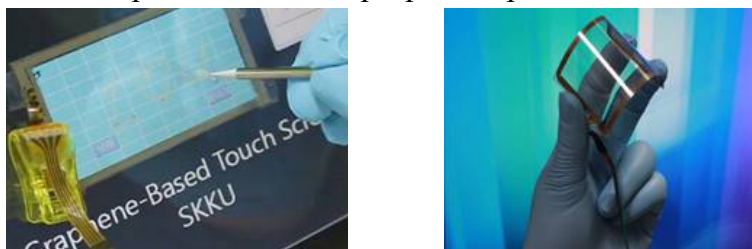
Фигура 16. Графеновите слоеве имат по-високо пропускане за по-широк диапазон от дължини на вълните в сравнение със *SWNT* слоеве, тънки метални слоеве и *ITO*

ZnO и т.н. Металните оксиди са проблематични поради: 1) ограничената наличност на елементарен индий на Земята, 2) нестабилност в присъствието на киселина или основа, 3) чувствителност към йонна дифузия в полимерни слоеве, 4) ограничената им прозрачност в близката инфрачервена област.

Графенът има електронни и оптични свойства, които го правят много подходящ за приложения в оптоелектронни устройства, слънчеви клетки, дисплеи с панели, сензорни екрани и *OLED* (*Organic Light-Emitting Diode*) [29–31]. Фигури 15 и 16 показват пропускането T на графеновите слоеве във видимата област в сравнение с други прозрачни проводящи метални оксидни слоеве ($T \approx 97,7\%$). Оптичната абсорбция на графеновите слоеве е пропорционална на броя на слоевете, като всеки абсорбира $\approx 2,3\%$ над видимия спектър. Абсорбционният спектър е напълно плосък от 300 до 2500 nm с пик в ултравиолетовата област (~ 270 nm).

В същото време проводимостта на графеновите слоеве варира значително в зависимост от метода на получаване. Стойностите могат да бъдат подобрени допълнително. Тъй като минималната проводимост на графена е $\sigma_{dc,min} \approx 4e^2/h$, повърхностното съпротивление за идеален собствен еднослоен графен с $T \approx 97,7\%$ е $R_s \approx 6 \text{ k}\Omega/\square$. Вижда се, че такъв графен превъзхожда *ITO* само по отношение на оптичната прозрачност, но не и по отношение на съпротивлението R_s . Листовото съпротивление може да се намали с нарастването на броя на слоевете графен.

Независимо от това добрата проводимост и високата прозрачност както във видимата, така и в близката инфрачервена област, високата повърхностна гладкост и високата химическа и топлинна стабилност, както и гъвкавостта, придават на графена голям потенциал за прозорци в слънчеви клетки, както и в много други оптоелектронни прибори. Фигура 17 показва някои примери на графенов „тъч скрийн“ и гъвкав прозрачен проводник.

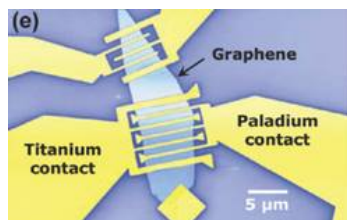


Фигура 17. Графенов „тъч скрийн“ и гъвкав прозрачен проводник

3.6. Графенови фотодетектори

Освен линейните оптични свойства на графена, неговите нелинейни оптични свойства също предлагат полезни приложения. Например, графенът може да бъде използван като активен елемент във фотодетекторите, въпреки липсата на забранена зона. Предимствата включват абсорбция в много ши-

рок обхват от дължини на вълната, бърз транспорт на носителите и факта, че за разлика от конвенционалните полупроводници, и електроните, и дупките могат да имат много висока подвижност.



Фигура 18. Графенов фотодетектор

На Фигура 18 е показан графенов фотодетектор [32].

3.7. Терахерцови прибори

Диапазонът 0,3–10 THz (30 μm до 1 mm) е от голямо значение за биомедицински изображения, сигурност, дистанционно наблюдение и спектроскопия. Въпреки това, липсват достъпни и ефективни източници и детектори. Разработват се различни източници на базата на електрично или оптично напompване [33]. Графенови прибори могат да се използват и за детектори в терахерцовия диапазон, и за честотно преобразуване. Други възможни прибори включват модулатори, филтри, превключватели, разделители на лъчи и поляризатори [34–37].

3.8. Метрология на базата на квантово съпротивление в графен

Квантовият ефект на Хол позволява да бъде дефиниран международният стандарт за съпротивление само чрез електричния заряд и константата на Планк. Ефектът представлява квантуване на съпротивлението на Хол в двумерни електронни системи в целочислени стойности $R_K = h/e^2 = 25\,812,807\,557\, (18)\, \Omega$. Графенът е идеален материал за стандарт чрез квантово съпротивление, тъй като по същество е двумерен и дискретните енергетични нива на електроните в магнитно поле (нивата *Landau*) са на голямо разстояние. Постигнато е квантуване с точност до няколко десети по 10^{-9} [38], което потвърждава стабилността на квантовия Хол-ефект в графен, синтезиран върху SiC. Тази точност е близка до постигнатата в полупроводниковите стандарти.

Заклучение

Електрониката на основата на въглерода е една от най-обещаващите възможности за наследник на силициевата технология в бъдеще. На базата на въглеродни материали могат да се реализират различни активни и пасивни компоненти, транзистори, кондензатори, сензори и датчици, работещи на нови принципи, защитни и антикорозионни покрития, необходими за електрониката и оптоелектрониката на бъдещето изградена изцяло на въглеродна основа.

Литература

1. S. Iijima, Helical microtubules of graphitic carbon, *Nature* **354**, 56-58 (1991).
2. S. J. Tans, Verscheuren, A. R. M. & C. Dekker, Room-temperature transistor based on a single carbon nanotube, *Nature* **393**, 49-52 (1998).

3. R. Martel, et al. Single- and multi-wall carbon nanotube field-effect transistors, *Appl. Phys. Lett.* **73**, 2447-2449 (1998).
4. Z. Chen, et al. An integrated logic circuit assembled on a single carbon nanotube, *Science* **311**, 1735 (2006).
5. M.M. Shulaker, et al., Carbon nanotube computer, *Nature* **501**, 526-530 (2013), doi:10.1038/nature12502.
6. C. Rutherglen, D. Jain and P. Burke, Nanotube electronics for radiofrequency applications, *Nature nanotechnology* **4**, 811 (2009).
7. C. Kocabas, et al., Radio frequency analog electronics based on carbon nanotube transistors *PNAS* **105**, 1405-1409 (2008).
9. K. Kordás, et al., *Appl. Phys. Letters* **90**, 123105 (2007).
10. Yu.V. Gulyaev et al. Le Vide Les Chouches Minces (Suppl. 271) 322 (1994); *Chem. Phys. Lett.* **233**, 63 (1995); *J. Vac. Sci. Technol.* **B 14**, 2080 (1996); N.I. Sinitsyn et al. *Appl. Surf. Sci.* **111**, 145 (1997).
11. W.A. De Heer, A. Chatelain, D. Ugarte, A Carbon Nanotube Field-Emission Electron Source, *Science* **270**, 1179 (1995).
12. A. H. C. Neto, et al., The Electronic Properties of Graphene, *Rev. Mod. Phys.* **81**, 109 (2009).
13. J.-H. Chen, et al., Intrinsic and extrinsic performance limits of graphene devices on SiO₂, *Nat. Nanotechnol.* **3**, 206 (2008).
14. X. Du, I. Skachko, A. Barker and E. Y. Andrei, Approaching ballistic transport in suspended graphene, *Nat. Nanotechnol.* **3**, 491 (2008).
15. X. Du, et al., Fractional quantum Hall effect and insulating phase of Dirac electrons in graphene, *Nature* **462**, 192 (2009).
16. R. R. Nair, et al., Fine Structure Constant Defines Visual Transparency of Graphene, *Science* **320**, 1308 (2008).
17. Y.-M. Lin, et al., *Science* **327**, 662 (2010).
18. J. K. Wassei and R. B. Kaner, Graphene, a promising transparent conductor, *Mater. Today* **13**, 52 (2010).
19. K.S. Novoselov et al., Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films, *Science* **306**, 666 (2004).
20. K.S. Novoselov, et al., Proc. Two Dimensional Atomic Crystals, *Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **102**, 2005,10451.
21. K-S. Kim, et al. Large-scale pattern growth of graphene films for stretchable transparent electrodes. *Nature* **457**, 706-710 (2009).
22. A. Reina, et al. Large area, few-layer graphene films on arbitrary substrates by chemical vapor deposition. *Nano Lett.* **9**, 30-35 (2009).
23. C. Berger, et al. Electronic confinement and coherence in patterned epitaxial graphene. *Science* **312**, 1191-1196 (2006).
24. J. Kedzierski, et al. Epitaxial graphene transistors on SiC substrates. *IEEE Trans. Electron. Dev.* **55**, 2078-2085 (2008).

25. K.S. Novoselov, et al., Electric field effect in atomically thin carbon films. *Science* **306**, 666-669 (2004).
26. M.C. Lemme, et al., A graphene field-effect device. *IEEE Electron Dev. Lett.* **28**, 282-284 (2007).
27. Y. Wu, et al., High-frequency, Scaled Graphene Transistors on Diamond-like Carbon. *Nature* **472**, 74-78 (2011). doi:10.1038/nature09979.
28. Yu. Dingshan, et al., Scalable synthesis of hierarchically structured carbon nanotub-graphene fibres for capacitive energy storage, *Nature Nanotechnology* **11** (2014), DOI:doi:10.1038/nnano.2014.93
29. Y. Chen, et al., Towards Flexible All-Carbon Electronics: Flexible Organic Field-Effect Transistors and Inverter Circuits Using Solution-Processed All-Graphene Source/Drain/Gate Electrodes, *Nano Res.* **3**, 714-721 (2010).
30. X. Wang, Zhi. Linjie, K. Muellen, Transparent, Conductive Graphene Electrodes for Dye-Sensitized Solar Cells, *Nano Lett.* **8**, 323-327 (2008).
31. Y. Lee, J.-h. Ahn, Graphene-based transparent conductive films, *NANO: Brief Reports and Reviews*, **8**, 1330001 (2013).
32. F. Xia, et al., Ultrafast graphene photodetector, *Nat. Nanotechnol.* **4**, 839 (2009).
33. F. Rana, Graphene terahertz plasmon oscillators. *IEEE Trans. Nanotechnol.* **7**, 91-99 (2008).
34. F. Bonaccorso, et al., Graphene photonics and optoelectronics, *Nature Photonics* **14**, 611-622 (2010).
35. S.A. Mikhailov, Non-linear graphene optics for terahertz applications, *Microelectronics Journal* **40**, 712-715 (2009).
36. Ch.B McKitterick, D.E. Prober, B.S. Karasik, Performance of graphene thermal photon detectors, *J. Appl. Phys.* **113**, 044512 (2013).
37. A.M. Mahjoub, et al., Towards Graphene GHz/THz Nanosensor, *Jap. J. Appl. Phys.* **50**, 070119 (2011).
38. A. Tzalenchuk, et al., Towards a quantum resistance standard based on epitaxial graphene, *Nature Nanotechnology* **5**, 186-189 (2010).

CARBON-BASED ELECTRONICS: A REVIEW

S. Tinchev

Carbon-based electronics is considered as one of the most promising options to replace silicon technology in the future. Good examples are diamond-like carbon (DLC), carbon nanotubes (CNT) and graphene, which have received remarkable progress recently. This review summarizes some recent developments in the field of carbon-based electronics. Their properties allow realization of numerous active and passive components, sensors and emitters for future application in entirely carbon-based electronics.

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

БАНКОВА СМЕТКА НА СФБ
IBAN: BG91FINV91501215737609
BIC: FINVBGSF
ПЪРВА ИНВЕСТИЦИОННА БАНКА

СПИСАНИЕ „СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА“ СЪЮЗ НА ФИЗИЦИТЕ В БЪЛГАРИЯ



Списанието „Светът на физиката“

е издание на Съюза на физиците в България, което публикува оригинални и обзорни статии във всички области от физиката.

ПОСЕТЕТЕ НАШИЯ САЙТ

wop.phys.uni-sofia.bg

АБОНИРАЙТЕ СЕ

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

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

СТАНЕТЕ НАШИ АВТОРИ

Може да изпращате статии за публикуване в списанието като прикачени файлове на същия адрес.

Броевете на списанието можете да намерите на сайта ни

wop.phys.uni-sofia.bg

и на адрес

Съюз на физиците в България, Физически факултет, СУ „Св.
Климент Охридски“

София 1164, бул. „Джеймс Баучер“ 5

Тел. + 359 2 62 76 60, e-mail: upb@phys.uni-sofia.bg

ОТЛИЧЕНИ БЪЛГАРСКИ ФИЗИЦИ С НАГРАДАТА ЗА НАУКА „ПИТАГОР“ 2018

Пенка Лазарова

На 17 май 2018 г. на тържествена церемония в Националния археологически музей бяха връчени традиционните награди за съществен принос за развитието на науката „Питагор“ на Министерството на образованието и науката – десети по ред, на български учени, научни колективи и организации.



ГОЛЯМАТА НАГРАДА „ПИТАГОР“ ЗА МЛАД УЧЕН – статуетка „Питагор“, изработена от Вежди Рашидов, и парична награда от 12 000 лв., бе връчена от Министъра на образованието и науката г-н Красимир Вълчев на д-р Даниела Донева Донева от ИИЯЕ – БАН.

Д-Р ДАНИЕЛА ДОНЕВА е магистър по астрофизика и звездна астрономия и доктор по физика към Физическия факултет на СУ „Св. Климент Охридски“.



От 2012 г. е постдокторант в университета в Тюбинген, получила е на Хумболтова стипендия за периода 2012 – 2015 г. От 2016 г. е със спечелена хабилизационна стипендия „Margarete von Wrangell Habilitation“. Публикувала е общо 34 статии в реферирани издания, които са били цитирани 548 пъти в международната литература; $h\text{-index} = 15$. За периода 2015-2017 г. има 17 статии в реферирани списания с общ IF

81.528. Съавтор е на учебник „*Physics and Astrophysics of Neutron Stars*“, Springer „*Astronomy and Astrophysics Library*“. Има 9 участия в научни форуми.

Основните научни постижения на д-р Даниела Донева са в следните две направления:

- Излъчването на гравитационни вълни от компактни обекти, като са открити нови ефекти в излъчването на гравитационни вълни от осцилиращи неутронни звезди, които могат да бъдат наблюдавани от текущото и следващото поколение детектори на гравитационни вълни.
- Изучаването на компактни обекти в модифицираните теории на гравитацията. Получени са решения, описващи неутронни звезди в редица алтернативни теории на гравитацията, изследвани са техните аст-

рофизични приложения, както и универсални (независещи от уравнение на състоянието на ядрената материя) съотношения. Изучени са възможностите да бъдат използвани за тестване на различни модификации на Общата теория на относителността.

Още един физик беше номиниран в тази категория – доц. д-р Сунай Ибрямов от Шуменския университет „Епископ Константин Преславски“ и Института по астрономия с Национална астрономическа обсерватория, БАН. За периода 2015-2017 г. е публикувал общо 19 статии в реферирани списания с общ IF 83.9, които са били цитирани 80 пъти в международната литература. Има 15 участия в научни форуми. Основните научни интереси на доц. д-р Сунай Ибрямов са в четири основни направления от областта на астрофизиката и звездната астрономия:

- Звезди преди Главната последователност на диаграмата на Херцшпрунг-Ръсел.
- Активни галактични ядра.
- Различни типове променливи звезди.
- Малки тела в Слънчевата система.

Носител на **НАГРАДАТА ЗА ЗНАЧИМ ПРИНОС НА БЪЛГАРСКИ УЧЕН, РАБОТЕЩ В ЧУЖБИНА** – плакет и парична награда от 8000 лв., която се връчва за трета поредна година, е проф. дфн. Красимир Панайотов от Института по физика на твърдото тяло – БАН.

КРАСИМИР ПАНАЙОТОВ е професор по философия (10%) в Свободния Белгийски университет в Брюксел и член на Института по физика на



твърдото тяло към БАН. Научната му дейност е в областта на нелинейната и влакнестата оптика, фотонни кристали, физиката на полупроводниците и нелинейната динамика, физиката на дисипативни структури в оптиката и химията. В тази обширна научна област той е публикувал 180 научни статии в реномирани международни списания с анонимни рецензенти, 8 глави в книги, и е изнесъл 227 доклада на международни конференции. Съгласно *Web of Science*, *h-index* на проф. К. Панайотов е 32; сборният му импакт фактор е 442 и сред-

ната цитируемост е 10,45, при общ брой на цитати 3094 (без самоцитати 2167). Данните в Google Scholar са: *h-index* 38, цитати 4665, i10-индекс 115. Проф. Панайотов е ръководил 10 успешно защитили докторанти и по настоящем е ръководител на 3-ма. Успешно защитилите дипломна работа под неговото ръководство са 21. Проф. Панайотов е ръководил успешно множество национални, международни и европейски проекти (Европейски проект *IST*

„Superlaser Array Memory“, 2001 – 2004 г.), белгийски научни проекти (2009 – 2013, 2013 – 2018), Договор с Националния фонд за научни изследвания (2000 – 2004, 2013 – 2017) и други). От 2011 г. е асоцииран редактор на *Opto-Electronics Review (Elsevier)*. Той е дългогодишен рецензент в редица международни списания като *Phys. Rev. A*, *Phys. Rev. E*, *Optics Express*, *Appl. Phys. Lett.*, *Philosophical Transactions of Royal Society* и други. Почетен член е на Американското оптично общество (*Optical Society of America*) от 2011 г.

Основните научни **постижения на проф. Панайотов са:**

- Откритието на векторни оптични солитони в полупроводникови лазери с широка апертура и обяснението им чрез динамиката на спина на електроните в квантовите ями.
- Изследване на системата от течен кристал (нематичен или холестеричен), оптично свързан с полупроводников лазер (ВИКСЕЛ) за целите на пренастройка на дължината на вълната на излъчването чрез електро-оптичен ефект.
- Изследване и обяснение на поляризационните бистабилни характеристики (от тип 1 и 2) на ВИКСЕЛ с дължина на вълната на излъчване 1550 nm.
- Теоретично изследване на така наречените „редки събития“ с голяма амплитуда в нелинейни оптични системи (известни още като „вълни убийци“ в океанографията).
- Изследване на синхронизацията на хаотичната динамика на два ВИКСЕЛ взаимно свързани, предизвикана от поляризационна степен на свобода или от оптична обратна връзка.
- Изследване на нелинейната поляризационна динамика на полупроводникови лазери под въздействие на оптична инжекция и откриване на нов режим на свързване по честота с едновременно възбуждане на ортогоналната поляризация при периодично и хаотично динамично поведение.
- Експериментално демонстриране на наличието на поляризационен хаос в комерсиален полупроводников лазер с вертикално излъчване с активна област от квантови ями чрез въвеждане на подходящо механично напрежение.

Научните резултати на проф. К. Панайотов са публикувани в едни от най-престижните издания в областта на физиката като *Nature Photonics* и *Scientific Reports* от *Nature group*; *Physics Review Letters*, *Physics Reviews A*, *E*, *Physics Letters A*, *Philosophical Transactions of Royal Society*, *Applied Physics Letters*, *IEEE Journal of Quantum Electronics*, *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*.

В сродни на физиката области са отличието за **утвърден учен в областта на природните и инженерните науки**, което получи проф. Радостина

Стойнова от Института по обща и неорганична химия на БАН и проф. Славка Чолакова от СУ „Св. Кл. Охридски“ и **наградата „Елзевиер“** за отлични постижения в глобалните научни изследвания за 2018 г., която се базира на научноизследователско проучване от приблизително над 100 000 „изследователски теми“, в които научните изследвания в България имат значително и нарастващо глобално въздействие. Отличieto получи проф. Вася Банкова от Института по органична химия с Център по фитохимия към БАН.

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

- Книжарница на БАН: София 1000, ул. „15 ноември“ 1, тел. (02) 987 97 86
- Книжарницата на Математическия факултет на СУ „Св. Климент Охридски“: София 1164, бул. „Джеймс Баучър“ 5
- Книжарница „Нисим“, бул. „В. Левски“ 59
- Съюз на физиците в България, Физически факултет, СУ „Св. Климент Охридски“: София 1164, бул. „Джеймс Баучър“ 5, тел. +359 2 62 76 60, e-mail: upb@phys.uni-sofia.bg

Варна

- Народна астрономическа обсерватория и планетариум „Николай Коперник“, Приморски парк 4
-

НЕСЪВЪРШЕНСТВАТА – ОСНОВА НА ЖИВОТА И ТЕХНОЛОГИЯТА

Питър Таунсенд и Таня Цветкова

Философията и религията налагат стремеж към съвършенство в живота, но тази гледна точка е изцяло противоположна на реалностите в биологията, еволюцията и технологията. Исторически се е оказало, че учените не са добри в публичните изяви и това е довело до емоционалната грешка отклоненията да се определят като несъвършенства или дефекти, вместо да бъде съставен позитивен термин или изцяло нова дума, на която липсва отрицателно лингвистично значение. Едва след откриването на полупроводниците, вместо „примеси“ и „несъвършенства“ започва да се използва леко по-окуражаващото название „легиращи примеси“ (предполагащо, че е известно какво се цели с добавянето им). Докато изследванията на несъвършенствата и структурните дефекти са абсолютно ключови за всички наши модерни технологии, много учени (както и обществеността изобщо) продължават да ги разглеждат като по-малко привлекателно занимание в сравнение с такива теми като физиката на елементарните частици или космологията. Никоя от тях обаче не би могла да напредне без технологиите за дизайн на дефекти, които осигуряват получаването на данните.

В исторически план, нашата най-ранна технология е била да се отцепват слоеве от камък, за да се направят прости инструменти. На практика това е било възможно единствено благодарение на несъвършенствата на материала, тъй като кремъкът се подрежда на слоеве (като лука), поради което е лесно да се разцепи между слоевете. Ако камъкът е перфектно структуриран и лишен от несъвършенства и дефекти, тогава той би бил 10 000 пъти по-здрав и би ни било невъзможно да отслоим от него пластове. Така, именно несъвършенствата довеждат в каменната ера до първата ни стъпка по пътя към тотално технологично доминирана заобикаляща ни среда.

Същият процес на съществена нужда от несъвършенства и дефекти продължава и в ранната обработка на метали. Медта е извличана от руди, но тя е мек метал. Било открито, че в някои минерални залежи (например в Иран) медта е примесена с калай. С прибавянето на около 12% калай се получавал много по-здрав материал, наречен бронз. Като неочакван бонус се оказало, че окисляването на повърхността формирало защитно покритие. Това е още един хубав пример на гледна точка, изразена лингвистично, при която това покритие се нарича „защитно“ вместо просто „корозия“. Съществуват много сплави на медта с различни примесни метали, например месингът е сплав от

мед и цинк. По-малко познат пример е арсеновият бронз, който се използва при контейнерите за Свитъците от Мъртво море, но тъй като парите на арсена са били смъртоносни, получаването на арсенов бронз така и не става популярен семеен бизнес.

Следващият скок в металургията е достигането на по-високи температури и обработването на железни руди. При производството на метали са се използвали много нечисти естествени минерали, поради което е било невъзможно да се добие чисто желязо, но ползата от това е, че примесите или придават здравина, или създават възможност да се получи метално острие (но не и двете). Както викингите, така и японските металурзи, решават тази дилема като правят мечове с различно съдържание на примеси в сърцевината и по повърхността на острието. Това е било невероятно трудно, тъй като те не са разбирали достатъчно металургията, а са напредвали чрез серии от опити и грешки. Стотици сплави на метали сега се използват рутинно като се приготвят по специфичен начин за различни приложения. В началото на 21-ви век дори става възможно да се произвеждат части за самолетни мотори от единичен монокристал.

През 19-ти век обработката на желязо се развива в посока на по-контролираното производство на стомана. Ключови фактори са количеството прибавен въглерод и скоростта, с която металът се охлажда. Тези променливи контролират свойствата на стоманата. Първоначално това е било прагматично експериментиране, тъй като не са съществували техники за кристалографско изследване на атомната структура, нито за теоретичното предсказване кои сплави е възможно да съществуват. Във всички тези примери от областта на металите количеството примеси се измерва в проценти.

Металургията може да изглежда като готварство с метали, но кухненското готварство по отношение на примесите не е по-различно, тъй като за приготвянето на всички храни е обичайна практика да се добавят различни треви, билки и подправки за постигането на желан вкус и аромат. Това е експериментален процес и не изисква дълбоко разбиране на биологията и химията на начина, по който усещаме вкуса и обработваме храната. Вероятно единствената разлика е тази, че добавките и подправките (готвачите не биха използвали термина „примеси“) са често в количества, по-малки от няколко хилядни части от ястието, което се приготвя.

Присъствието на примесите в скъпоценните камъни води до оптична абсорбция в части от спектъра и така материалите изглеждат оцветени. Познати примери са рубинът, сапфирът, гранатът или турмалинът, а техните вариации по отношение на наситеността на цвета зависят от типа примеси и тяхната концентрация. Примесите могат да се вграждат в нормални решетъчни възли и както рубинът, така и сапфирът започват от един и същ изходен базов материал – алуминиев оксид (Al_2O_3). Сапфирът съдържа ~0.01% титан и желязо,

което го оцветява в синьо, докато наситено червеният рубин изисква ~1% хром. Примесите правят възможна първата демонстрация на лазер с рубинови кристали, съдържащи по-малко от ~0,05% хром. Митът, че диамантите са кристали от чист въглерод и по този начин са символ на чистота, е неоснователен, тъй като самият процес на формиране, с високи налягания и температури във вътрешността на земята, ги прави силно обогатени на примеси. Би било изключително рядко да се намерят естествени диаманти без поне около 50 различни примесни елементи. Диамантите с никел са жълти, примесите от бор могат да ги направят сини, а чрез създаването на структурни дефекти в атомен реактор и добавяйки термични третираня може да се получат зелени диаманти. Въпреки значителното количество примеси, сините скъпоценни камъни са се увеличили по стойност над ~20 пъти за последните 20 години.

През 20-ти век аналитичните и кристалографски техники значително напредват и към средата на века нашите разбирания за свойствата на полупроводниците водят до създаването на прибори, най-напред от германий, а по-късно от силиций. Оттогава електричните и оптичните свойства на полупроводниците стават крайъгълен камък на модерната технология. Във всеки от случаите свойствата се определят чрез направата на изключително чист базов материал, към който впоследствие се добавят контролирани количества от примеси в различни области на структурата. Процентът заместени силициеви атоми варира от ~1 на милион до около процент. Подобни ситуации съществуват и във всички полупроводникови материали. Вероятно това изисква да се каже: „Полупроводниците са изключително несъвършени материали“!

Друга ключова технология започва през 1960-те с направата на оптични влакна. При това първата стъпка е да се отстранят примесите от стъклото, така че влакната да бъдат прозрачни по протежение на големи разстояния. По принцип такива чисти оптични стъкла са повече от милион пъти по-прозрачни от стъклата за прозорци. Обаче, за целите на физиката за захващане на светлината в рамките на влакното, показателят на пречупване на сърцевината му трябва да е по-висок от този на покриващата я област, а за постигането на това се добавят примеси. Тъй като тяхната химия рядко е съвместима със силикатното стъкло, допълнително трябва да се добавят още нови примеси, за да се осигури зарядова неутралност в стъклото и да се компенсират различните валентности на химичните елементи в него. Това не е цялата картина за влакната, тъй като при системи за работа на големи разстояния трябва да се включат и секции за оптично усилване на сигнала, което на свой ред означава добавянето на още нови примеси.

Едва ли е нужно да се подчертава важността на ролята, която полупроводниковата електроника и оптичните влакна играят в нашия живот. Те са

олицетворение на това, което може да се постигне, ако разбираме и използваме несъвършенствата, дефектите и легиращите примеси в материалите.

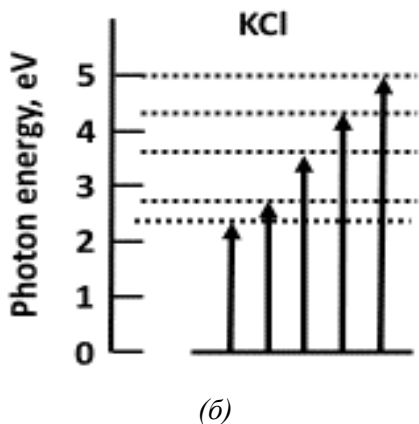
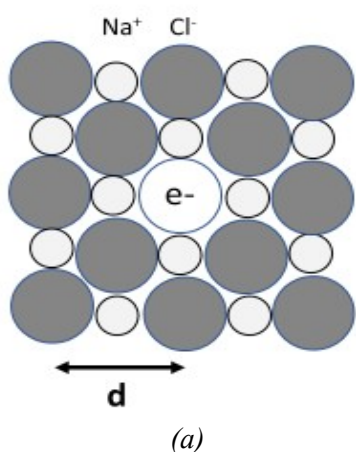
Преминавайки към 21-ви век, аналитичните методи откриват нови хоризонти в разбиранията ни за несъвършенствата и дефектите. Вече разбираме, че в много случаи, от технологиите, базирани на физика до тези – на химия и биология, играят роля много едва доловими фактори, опериращи на границата на нашите възможности за регистриране на примеси в количества до под една милиардна част. В биологията (и селското стопанство) такива вариации контролират нашия генетичен строеж, а грешки от този порядък откриват пътя за еволюция и/или болести. Трябва да се отбележи, че думата милиард може да има различно значение в различните страни, а тук тя означава 1 на 10^9 (на хиляда милиона, а не по-предишното европейско 1 на 10^{12} , или на милион милиони). Така по-стари публикации може да не се интерпретират правилно. (Остава да се надяваме, че сега политиците използват общоприетия термин за милиард.)

От гледна точка на нормалния ни опит, количество от вида „милиардни части“ е трудно за визуализиране и такива количества примеси могат да ни изглеждат незначителни (но не и на готвачите). Примери, които биха подчертали, че това не е маловажно количество са, че в термините на тегло това е приблизително съотношението на теглото на една мигла на око към теглото на тялото; дори по-малки части от теглото ни, които имат явно значение, са количеството отрова от ужилването на пчела, леталното количество нервен газ, или дори още по-малкото тегло на спермална клетка. Никое от тях не е пренебрежимо малко по отношение на ефекта си. Също така, в политиката и религията пророците и основателите на масови религии могат да повлияят живота на милиарди, а модерните лидери на Китай, Индия, Русия и САЩ могат да взимат решения, които да засегнат милиарди хора. Ясното заключение е, че милиардни части е важно количество. Аналогичен пример е възможността на мъжкия молец да детектира женски от километри чрез феромоните ѝ, които са във въздуха в концентрация части от милиард. Приемането на такъв тип чувствителност и ниво на вариации не би трябвало да е предизвикателство, тъй като ние сме 8 милиарда човешки същества, като всички сме физически и ментално различни (дори и така наречените еднородни близнаци).

„Несъвършенствата“ са фактори с голямо значение във всички области на технологията, биологията (и живота), при все че рекламирането на продукти и идеи ги третира като негативни и нежелани характеристики. В нашето разбиране за красота ние поставяме по-високо симетричното лице, но ако е идеално симетрично, както е при компютърните изображения или роботите, това ни разочарова и ние разбираме, че това не е човешка характеристика.

Производителите на работи сега целят получаването на близка симетрия, която е привлекателна, но не е нито чисто човешка, нито перфектна.

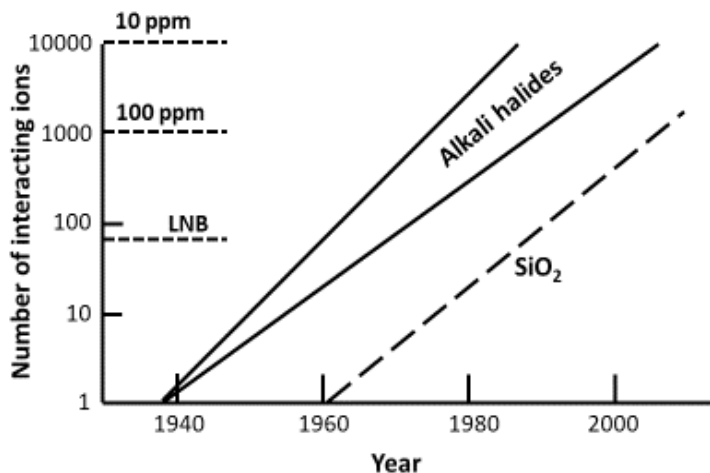
В научните студии и учебници, в които се споменават несъвършенства и дефекти, нормалният подход за илюстрация е да се скицира кристална решетка и да се покаже липсващ атом (ваканция) или такъв, който е добавен към структурата на решетката (междувъзлов дефект). Такава проста схема, показана на Фигура 1, е кубична кристална решетка на алкален халогенид (напр. NaCl, сол). Това е кристал с диелектрични свойства, така че липсващ хлорен йон (Cl^-) би довел до появата на положително заредена ваканция. За да се възстанови зарядовия баланс, един електрон се захваща от ваканцията. Този тривиален пример е от особена важност, тъй като през 1937 г. той е бил представен като модел, използващ уравнението на Шрьодингер в термините на електрон, захванат в куб, който предсказва наличието на стълбица от разрешени енергетични нива. Абсорбирането на светлина може да придвижи електрон от основното ниво до по-високи нива, както е показано на Фигура 1b, което прави кристала да изглежда оцветен. Разстоянието между състоянията за този идеализиран електронен модел се определя от енергията на най-ниския преход като $1/d^2$ (d – страната на куба на елементарната клетка). През 1937 г. това е фантастичен резултат, тъй като е първото успешно потвърждение на предсказанията на квантовата механика.



Фигура 1. (а) Скица на йонната структура на NaCl с хлорна ваканция, захванала електрон. Опростено това е в куб с размери на страната d . (б) Измерените оптични абсорбционни енергии за преходите на електрон за такава дефектна структура в KCl. Най-силно изразената абсорбция е за най-ниския преход.

За съжаление, много по-късно работили изследователи не успяват да оценят преднамерената простота на изчисленията и реалността, че съществуват локални изкривявания и много далечни взаимодействия между локален решетъчен възел и други дефекти (като например на мястото, в което се е

придвижил липсващият ваканционен йон). Експерименталните технологии напредват с времето и нараства възможността за определяне на размера на деформирания възел, както и за въздействието му върху съседните възли. На Фигура 2 е показано как се променя с течение на времето нашият възглед като резултат от данните на по-чувствителните измервания в случая на алкални халогениди. Идеалните кристали може да са удобен модел за преподаване, но в реалността всеки решетъчен възел в обикновените материали е компромис между идеалните структури и изкривяванията в резултат от несъвършенства, повърхностни примеси, легиращи атоми и вътрешни граници между зърна, както и от дълги редици от подредени дефекти (наречени дислокации). Дори за физиката на 19-ти век това не е учудващо, тъй като в термодинамиката се появява величина наречена ентропия, която е мярка за неопределеност. Като цяло, ентропията може само да нараства, така че локална област от съвършенство се постига за сметка на повече неопределеност в по-голям мащаб по време на процеса на израстване на кристалите. Може да се фокусираме и да бъдем впечатлени от високата чистота на силициевия чип, но действителните области на електронния прибор са силно легирани и неопределени, независимо от простотата на представянето им в гимназиалните учебници.



Фигура 2. Скицата илюстрира как подобрената експериментална техника разкрива, че единичен възлов дефект влияе на голям брой съседи в алкало-халогенидните кристали. В тези материали винаги съществуват несъвършенства от порядъка на десетки части на милион. Стойности на чистотата от 10 и 100 ppm определят кога свойствата на целия кристал всъщност се дължат на несъвършенствата. Стойността на чистотата при литиев ниобат (LNB) е много по-ниска, тъй като той не е стехиометричен, а е с дефицит на Li. По-късните данни за кварц показват подобна тенденция.

Би могло да се предположи, че детайлното познание, получено от изучаването на несъвършенствата в материалите за една от системите, като например алкалните халогениди, ще бъде използвано от интересующите се и от други материали. Обаче доказателството за наличие на взаимодействия от далечен порядък, получено за алкалните халогениди, не е възприето веднага като отнасящо се и до други материали. За SiO_2 (кварц или стъкло) същото поведение се наблюдава около 30 години след получаването на данните за алкалните халогениди, но тогава се игнорира поведението, наблюдавано при алкалните халогениди и така не се стига веднага до логическия скок към извода, че *всички* възли в кристалната решетка се влияят на големи разстояния от наличието на несъвършенства.

Грешката се повтаря и с литиевия ниобат (LNB), който е ключов материал в оптоелектрониката. Той е изначално несъвършен материал, тъй като кристалният му растеж е нестехиометричен (т.е. той е с литиев дефицит от няколко процента). По отношение на чистота, това е материал, получаван от 19-ти век, преди изобщо да бъде разглеждано наличието на легиращи примеси и несъвършенства! И в този случай, както и за SiO_2 , фокусът върху структурата на несъвършенствата се ограничава до влиянието на близките взаимодействия.

Друг пренебрегван фактор е, че прибавянето на отклонения в стехиометрията, легиращи примеси и други добавки, предполага тяхното равномерно разпределение. Случаят явно не е такъв при минералните руди или при социалните явления. В големите градове богатите, бедните, религиозните групи или тези с различен език не са равномерно разпределени, а се групират локално или в екстремни случаи се изолират в гета. Аналогични ситуации се наблюдават в материалознанието. Несъвършенствата предпочитат да не остават в изолация, а вместо това формират двойки или клъстери с други несъвършенства и дефекти. Това е разбираемо от физична гледна точка, тъй като помага да се поддържа равновесието на зарядите и също така редуцира пълната енергия на деформация на системата. В екстремни случаи примесите формират малки области от наночастици на съединение, различно от основното (гето ефект). Въпреки явната аналогия с познатото социално поведение, откриването на наночастиците изглежда изцяло неочаквани характеристики.

В по-широк план се вижда, че ролята на несъвършенствата в твърдите тела слабо се различава от ролята на несъвършенствата в науки като химията, биологията или аграрните науки. Например в средата на 20-ти век се извършва прекомерна употреба на хербициди, които се разпространяват локално при концентрации от под една милионна част, но те навлизат в хранителната верига и могат да достигнат концентрации в приемника до нива доста над един промил (често със смъртоносни последици). Чистотата на продуктите, които консумираме, не е икономически приемлива на нивата, които мо-

гат да се достигнат в електрониката или оптичните влакна. Причините са ясни. Предполагаемите обеми са много по-големи, а добавената стойност от процесите на пречистване не би била икономически изгодна. Поради това, храната ни съдържа значителни количества от нежелани примеси и подобрени добавки. Например, международните правила определят колко миши косъма, екскременти и други боклуци могат да се допускат в килограм ориз, пшеница, шоколад и т.н. Не е учудващо, че това никога не е указано на опаковката и в рекламата. В резултат ние се наслаждаваме на храната и пренебрегваме примесите. По отношение на „чистата“ доставяна вода могат да се цитират документиранни примери за Лондон, където водата обикновено вече е била употребявана от поне седем души нагоре по реката и на нива в части на милиард (или по-високи) е замърсена с широка гама от лекарствени и други химикали, въпреки сложните системи за пречистване. Действително Темза се счита, че е замърсена с по-високи концентрации на химикали от всяка друга голяма европейска река. Бъдещите последствия от прибавянето на нови химически и лекарствени замърсители в хранителната ни верига са неизвестни, а понеже те са обикновено в ниски концентрации, например от порядъка на части от милиард, те се възприемат като незначителни в търговски план. Детектирането на дългосрочни изменения и паралелни изследвания на замърсителите рядко са възможни, тъй като необходимите технологии често са относително нови. Обаче един отрезвяващ пример за детектирана промяна е, че данните за концентрацията на спермата за Европа е спаднала с около 40% през последните 50 години. Причината е неизвестна.

За придобиване на по-положителен възглед върху използването на малки количества примеси може да се цитира колко често те се употребяват при каталитичните реакции. Те са изключително важни в промишлеността, тъй като използват незначителни количества атоми (или молекули), за да осигурят по-ниско енергетични методи за осъществяването на химически промени и производството на нови съединения. Количества от катализатор на нива от няколко части на милион могат да подпомогнат много видове химически реакции, които в чистия вариант може изобщо да не са възможни. Процесите на катализа са били несъзнателно експлоатирани в течение на векове, от производството на бира до хлебопроизводството. Примерите от 19-ти век включват производството на маргарин и бои, а тези от 20-ти век – функционирането на нефтените рафинерии и пречиствателните системи за автомобили, които отстраняват замърсителите. Във всеки от тези примери, примесните „несъвършенства“, добавяни от каталитичните „замърсители“, са агентите, които задвижват технологиите.

В заключение става ясно, че несъвършенствата, дефектите и примесите са ключов фактор в живота. Лингвистично те имат несполучлива емоционална окраска, тъй като културата ни възпитава да предполагаме, че съвършен-

ството съществува и е достижимо. Темата се отбягва също и в много от научните лекции, тъй като е много по-просто да се използват идеализирани описания. Само при навлизането в реалния свят на технологичните материали става ясно, че несъвършенствата не само съществуват, но и ние сме абсолютно зависими от тях за всяка технология, която използваме в ежедневието си. Раздвоението отчасти се подхранва от трудността да си представим и визуализираме в количествен смисъл по какъв начин несъвършенствата и примесите влияят на науката. Един препоръчан подход тук е да се видят паралелите между ролята на несъвършенствата в науката и невероятното разнообразие от хора и тяхното взаимодействие в социален контекст. За нас те са близки, ние сме по-малко предубедени по отношение на социалните „несъвършенства“ и не се притесняваме от тях. Може би е необходимо да използваме този опит, за да подходим към това, което се случва в света на несъвършенствата, които се използват в материалите за целите на науката и технологията. Следващият път, когато ядете или използвате мобилен телефон, опитайте се да си представите несъвършенствата и примесите във всяко едно от тях и да се замислите защо за технологията те са съществени, а за храната не бихме искали да приемем, че съществуват.

IMPERFECTIONS – THE BASIS OF LIFE AND TECHNOLOGY

Peter Townsend and Tania Tsvetkova

Every aspect of technology relies on the presence of distortions and impurities in the materials that we use. Examples range from making stone axes to semiconductors and optical fibres, and chemical and pharmaceutical production techniques. In normal social terms we are well aware that the world is not perfect, but because the technological examples have used emotive words, such as imperfections and defects, we take a very dismissive attitude to their role, and may not even discuss them in teaching. Instead we need to draw analogies between life and technology, as in social terms the minority features of people and society seem acceptable. Further, in our daily eating, we happily accept high levels of contaminants of drugs, chemicals and detritus in our food. Rethink „imperfections“ as „the basis of all technology“.



THE LONDON SCHOOL
OF ECONOMICS AND
POLITICAL SCIENCE ■

SCHOLARSHIP Summer School



WIN A FULL SCHOLARSHIP FOR LONDON SCHOOL OF ECONOMICS SUMMER SCHOOL The Aleksander Foundation in collaboration with the Bulgarian City Club London

announces a competition for one full scholarship for the **Introduction to Data Science and Big Data Analytics** (30 July - 17 August 2018) programme.

The Application:

First Round – Documents

CV of maximum 2 pages

Essay (1000 words) on the topic of: **Discuss data science and big data analytics applications and possible outcomes giving examples from at least one Bulgarian company**

Send to: lse@aleksanderfoundation.org

Deadline: 18:00, June 10, 2018

Second round – Four short-listed candidates will be invited by e-mail for an interview. Results will be available on June 17.

Who can apply?

Students who possess excellent academic record and fluent English.

The scholarship will cover:

Cost of the course, accommodation at LSE Residence Hall, return plane ticket to London and daily expense allowance.

The Bulgarian City Club London has donated the scholarship for this year's LSE summer school. The winner of the scholarship will have the opportunity to meet some of the prominent club members.

For more information call **+359 882 28 28 28** or write to lse@aleksanderfoundation.org

ФУНДАМЕНТАЛНАТА НАУКА И ПОЛЗИТЕ ОТ НЕЯ

К. Люилин Смит*

Подбор и превод: Бойко Георгиев

Разликата между фундаменталната или чистата наука и приложната наука е много добре илюстрирана от Дж. Дж. Томсън (*J. J. Thomson*) – откривателят на електрона – в реч, изнесена през 1916 г.:

„Под научни изследвания в чистата наука имам предвид изследвания, направени без идея за приложение в индустрията, а единствено с цел – разширяване на познанията ни за законите на природата ...“.

Като резултат от развитието на фундаменталната наука могат да се очертаят четири вида приноси за обществото, които ще разгледаме последователно по-долу, а именно:

- Принос към културата
- Възможност за открития с огромно значение за икономиката и практиката
- Стимулиране на промишлеността
- Образование.

Принос към културата

Нашият живот се обогати и нашият мироглед се промени вследствие например на познанията за хелиоцентричната система, генетичния код, синевата на небето, разширяването на Вселената. Това бе обяснено елегантно, макар и малко високомерно от Боб Уилсън (първият директор на *Fermilab*), който, запитан в Комитет на американския Конгрес: *„Какво ще допринесе вашата лаборатория за защитата на САЩ?“*, отговорил: *„Нищо, но ще направи САЩ страна, която си струва да бъде защитавана“.*

Учените са удивително скромни в представянето на аргументи от културно естество и това явление е познато още от древността, както се вижда от следния диалог в съчинението на Платон „Републиката“:

Сократ: *Ще сложим ли астрономията сред учебните предмети?*

Глаукон: *Мисля, че да – да се знае нещо за годишните времена, месеците и годините е полезно за военни цели, както и за земеделието и корабостроенето.*

Сократ: *Учудващо е да видя колко се боите да не би хората да ви обвинят, че препоръчвате безполезни предмети.*

*бивш Генерален директор на ЦЕРН

Мисля, че учените трябва да по-смело прокарват аргументи, касаещи културата. В частност, обществените средства, изразходвани за физиката на елементарните частици, следва да бъдат защитавани именно с такива аргументи. Глобализацията на този дял от физиката е полезна и е сравнително лесно да бъдат убедени повечето хора, че човечеството трябва да продължава да изследва границите на познанието и може да си го позволи. За оправдание на разходите за физиката на елементарните частици би могло да се посочат такива приложни (*spin-off*) резултати, като Световната мрежа (*World Wide Web*), която беше създадена в ЦЕРН, но, според мен, това са вторични аргументи, а приносът към познанието трябва да стои на първо място. Моят опит показва, че обществеността намира културните аргументи по-убедителни от приложните (*spin-off*) резултати, а е и опасно да градиш позиция върху такива, които могат да не издържат една по-внимателна проверка.

Възможността за открития с огромно значение за икономиката и практиката

Не е трудно да се покаже, че разходите за фундаментална наука често водят до открития с огромно значение за икономиката и практиката, носят висока печалба и са с голяма възвращаемост. Казимир (*Casimir*), широко известният физик-теоретик и на времето директор на изследователския отдел на *Philips*, дава прекрасен списък с такива примери [1]:

„Чувал съм изявления, че ролята на академичните изследвания в иновациите е слаба. Това е най-голямата глупост, с която съм се сблъсквал.

Разбира се, може да се спекулира, дали транзисторът можеше да бъде открит от хора без подготовка и принос в квантовата теория на твърдото тяло. Обаче се случи така, че откривателите на транзистора бяха хора със сериозен принос в тази област.

Може да се запитаме дали основните интегрални схеми в компютрите не биха могли да бъдат изнамерени от хора, които са искали да построят компютър. Но се случи така, че те бяха изобретени през тридесетте години от физици, които се занимаваха с броене на ядрени частици, защото се интересуваха от ядрена физика.

Може да се запитаме дали щяхме да имаме ядрена енергия, защото хората искаха нов енергиен източник и дали стремежът към нова енергия щеше да доведе до откриването на ядрото. Може би, но не се случи така.

Може да се запитаме дали електрониката можеше да съществува без откриването на електрона от хора като Томсън и Лоренц. И отново, това не се случи така.

Може да се запитаме даже дали индукционната бобина в колите можеше да бъде направена от фирми, които са искали да създадат нови транспортни средства. Но законът за индукцията беше открит от Фарадей много десетилетия по-рано.

Или дали в стремежа си към по-добри комуникации, някой щеше да открие електромагнитните вълни. Но те бяха открити от Херц, който подчертаваше красотата на физиката и който базира своите разработки върху теорията на Максвел. Мисля, че едва ли има пример за иновации в двайсетия век, които да не са в дълг към фундаменталната наука.“

Горните примери на Казимир имат някои общи черти:

- приложенията на нови знания са високодоходни;
- те са били абсолютно непредвидими, когато са направени съответните научни открития;
- минава много време между фундаменталните открития и тяхното приложение;
- учените откриватели, като правило, не са забогатели от тях.

Ще се върнем към някои от следствията от горните примери по-късно.

Правени са опити да се даде количествена оценка на огромната възвращаемост от фундаменталните изследвания. Ще отбележа само някои:

Неотдавнашно проучване на Националната научна фондация в САЩ (*National Science Foundation*) показва, че 73% от цитираните трудове в промишлените патенти са резултат на фундаментални изследвания от водещи университети и държавни лаборатории.

В моята първа статия на тази тема [2], заедно с известния икономист Джон Кей (*John Kay*) направихме приблизителна оценка, че ползата от работите на Фарадей, Максвел и други днес струват 40 милиарда лири. Този пример накара Маргарет Татчър да каже навремето, че Фарадей струва повече от Британската фондова борса.

Едно много цитирано проучване на Мансфийлд (*Mansfield*) [3] от 1991 г. твърди, че инвестирането на публични средства във фундаментална наука генерира възвращаемост от 28%. Тази цифра е получена изследвайки извадка от 75 крупни американски фирми, работещи в ИТ сектора, електрооборудване, химия, машиностроене, фармацевтика и нефт. Информацията, получена от ръководителите на научноизследователските отдели, касае въпроса какъв процент от продуктите и процесите, комерсиализирани през периода 1975 – 1985 г. е нямало да бъдат разработени и внедрени в отсъствието на академични разработки, направени до 15 години назад. Работата на Мансфийлд показва ясно, че възвращаемостта е голяма, но неговият анализ включва много предположения и действителната цифра трябва да се третира много внимателно. Всъщност, предвид силно нелинейната зависимост между изследванията и крайните продукти, количественото измерване е по същество очевидно невъзможно.

Казват понякога, че горните примери са много хубави, но е невероятно трудно да очакваме сериозна полза от такава екзотична наука, като физиката на елементарните частици, например. Всъщност изследванията, цитирани от

Казимир, са били също толкова екзотични за времето си. Опасността от такива твърдения се илюстрира добре от използването на теорията на числата в криптологията. Тази теория преди 20 години е била считана за най-безполезния клон на математиката.

Вярно е, че досега няма преки приложения на физиката на елементарни частици, но има някои близки приближавания. Например, ако мюонът живееше малко по-дълго, можеше да се използват мюони като катализатор на термоядрена реакция, която да генерира огромно количество енергия.

Ето защо не е вярно, че не е възможно да си представим приложение на познанията, открити във физиката на елементарните частици, макар и да не е много вероятно. Но е сигурно, че не е възможно да се възползваме от закони на природата, които не са открити.

Приложения (*spin-off*) и стимулиране на индустрията

Под приложения (*spin-off*) аз разбирам прибори и технологии, разработени за провеждане на фундаментални изследвания, които се е оказало, че имат и други функции. Давам няколко примера от физиката на елементарните частици (някои се отнасят и към ядрената физика, от която тя е възникнала):

Ускорители¹

- производство на полупроводници
- стерилизация – храни, медицински изделия, отходни води
- радиоактивна обработка
- лъчева терапия
- изгаряне на ядрени отпадъци
- производство на енергия
- източник на синхротронно излъчване (биология, кондензирана материя)
- източник на неутрони (биология и др.).

Детектори на частици

- Детектори на база кристали²
- образна диагностика
- охрана

1 Днес в света съществуват около 10 000 ускорителя, от които само около 100 се използват с тяхната първоначална цел, за изследвания в областта на ядрената физика или физиката на елементарните частици.

2 Кристалите, разработени в ЦЕРН за *LEP* (*Large Electron-Positron*) колайдъра, сега се използват за медицински цели в стотици болници, като без съмнение с течение на времето те ще бъдат заменени с кристалите с превъзхождащи ги свойства, които се разработват за *LHC* (*Large Hadron Collider*) циклотрона в ЦЕРН.

- неразрушително тестване
- изследвания.
- Полупроводникови детектори
- много приложения в стадий на разработка.

Информатика

- Световната мрежа (WWW)³
- Програми симулатори
- Диагностика на грешки
- Управляващи устройства и системи
- Симулация на паралелни изчисления.

Свърхпроводимост

- физика на елементарните частици
- ядрено-магнитен резонанс
- много други (криогеника, вакуум, електроинженерство, геодезия).

Понякога хората мислят, че представянето на такъв дълъг списък от приложения (*spin-off*) на физиката на елементарните частици е достатъчен, за да се оправдаят вложените средства в тази област. Да се направи това не е лесно. Първо, трябва да се остойностят икономическите ползи. Второ, трябва да се анализира какви щяха да бъдат резултатите, ако средствата бяха вложени другаде. Не е чудно, че огромните разходи в ЦЕРН водят до приложения (*spin-off*); напротив, би било странно, ако не беше така, но разходи на подобни суми за други авангардни високотехнологични дейности също биха довели до интересни приложения (*spin-off*).

Все пак, би било справедливо да се твърди, че стойността на приложенията (*spin-off*) трябва да се взема предвид, когато се обсъжда цената на фундаменталната наука, и вероятно специалните изисквания на физиката на елементарните частици, която се нуждае от много сложно, целево направено оборудване, я правят особено добра в произвеждането на приложения (*spin-off*). Всъщност икономистите все повече признават важността на приложенията (*spin-off*), особено на прибори, които са следствие от разработването на апаратура за фундаментални изследвания. Голяма част от оборудването на съвременните производители на електроника идва от университетските лаборатории и има много примери на инструменти и апаратура, които минават през цялата верига – от физика до химия, биология, клинична медицина и здравеопазване.

³ Група от Обединеното Кралство наскоро оцени, че Световната мрежа (WWW), създадена в ЦЕРН, вече генерира 5% от продажбите на големите компании, и тя ще нарастне до 20% в края на десетилетието.

Като имаме предвид, че учените във фундаменталните науки са мотивирани от желание за приоритет, публикация и разпространение на тяхната работа, а тези, които работят в приложни науки, се стремят да запазят, скрият и патентоват, може би, парадоксално, има повече приложения (*spin-offs*) от фундаменталните, отколкото от приложните изследвания. Даже такава абстрактна и екзотична област като Общата теория на относителността е довела до приложение (*spin-off*). Това е навигационното „чудо“, наречено *GPS*. Над 160 фирми разработват *GPS* системи за новия многомилionen пазар. Тези системи работят сравнявайки времевите сигнали, получени от различни спътници, които използват специални атомни часовници, първоначално разработени, без каквато и да било друга мотивация, за да проверят истинността на предсказанията на Айнщайн, а именно, че часовниците вървят различно в различни гравитационни полета.

„Голямата наука“ играе също важна роля в стимулиране на промишлеността, като поставя нови изисквания към продукти, които надвишават текущите възможности. Две изследвания [4-6] се опитаха да измерят една величина, наречена от авторите „Икономическа полза“ = увеличен оборот + намалени разходи, която се получава от договорите, сключени от ЦЕРН с различни фирми. За целта бяха интервюирани много от тези, които работеха по договори в областта на високите технологии. Оценката беше направена от мениджъри в промишлеността, а не от ЦЕРН.

Заключението беше, че договорите за доставки в областта на високите технологии, сключени от ЦЕРН, имат икономическа полза 3.0, т.е. всяко евро, платено на индустриалните фирми, е донесло 3 евро полза за тях. Допълнителни проучвания, направени напоследък, потвърждават голямата икономическа полза за фирмите-контрактори, произтичаща от договорите с ЦЕРН.

Образование

Изследванията във фундаменталните науки дават прекрасна подготовка в решаването на задачи на тези изследователи, които продължават работа в приложни области или развойна дейност в промишлеността. Нещо повече, това създава много ценна мрежа от връзки между изследователи в различни индустрии и академични учени, които не биха съществували, ако цялата подготовка се извършва само в промишлени институти и центрове. Стойността на такава мрежа се признава от икономистите като полза от финансираната с публични средства фундаментална наука.

В конкретния случай на работа в експерименталната физика на елементарните частици, оценката е, че всяка година по цял свят около 300 докторски дисертации се защитават върху изследвания, проведени в ЦЕРН, и половината от тези докторанти продължават кариерата си в промишлеността или търговията, където техният опит при работа за високотехнологични проекти в големи многонационални колективи е високо ценен.

И накрая, има сериозни твърдения, че фундаменталната наука (в случая физика [7]) и особено астрономията и физиката на елементарните частици, с ключови думи като черни дупки и кварки, играе важна роля за повишаването на интереса на деца и младежи към науката и технологията. Това е изключително важно, макар че е трудно да се даде количествена оценка на този ефект.

Литература

- [1] H. G. B. Casimir, Contribution to Symposium on Technology and World Trade, US Department of Commerce, 16 November 1966.
- [2] Science Policy and Public Spending, J. A. Kay & C. H. Llewellyn Smith, Fiscal Studies, Vol. 6, No. 3, p. 14, 1985.
- [3] Academic Research and Industrial Innovation, E. Mansfield, Research Policy 20, 1, 1991.
- [4] Results of Attempts to Quantify the Secondary Economic Effects Generated by Big Research Centres, H. Schmied, IEEE Trans. Eng. Mngt., EP-29, 4, 1982.
- [5] CERN Yellow Report CERN/84-14, M. Bianchi-Streit et al (summarized in Czech J. Phys. B38, 23, 1988).
- [6] P. Brendle et al, Les Effets Economiques Induits de l'ESA, ESA Contract Report, 1980.
- [7] An Economic Case for Basic Research, E. Wong, Nature 381, 187, 1996.

Източник:

<https://public-archive.web.cern.ch/public-archive/en/About/BasicScience3-n.html>

THE USE OF BASIC SCIENCE: BENEFITS OF BASIC SCIENCE

C. H. Llewellyn Smith*

Подбор и превод: Boyko Georgiev

In the present paper, authored by the former director of CERN (from 1994 to 1998), four classes of benefits from fundamental science can be distinguished: Contributions to culture; The possibility of discoveries of enormous economic and practical importance; spin-offs and stimulation of industry and education. Based on their investigation, the necessity of conducting fundamental research is substantiated.

*former Director-General of CERN

НАЦИОНАЛЕН ФЕСТИВАЛ НАУКА НА СЦЕНАТА * 7

СЕВМЕВО



7

НАУКА * НА СЦЕНАТА

26 - 28 ОКТОМВРИ 2018

СУ "Васил Левски"



ДЖЕЙМС ДЖАУЛ

(по случай 200 години от рождението му)

Никола Балабанов

Не са малко единиците, въведени за измерване на физични величини, които носят имената на изтъкнати в миналото учени. Като илюстрация ще посоча някои примери за единици на физични величини в СИ-системата [1].

Сила	Нютон, N
Работа, енергия и топлина	Джаул, J
Мощност	Ват, W
Количество заряд	Кулон, C
Ел. напрежение	Волт, V
Сила на ел. ток	Ампер, A
Ел. съпротивление	Ом, Ω
Магнитен поток	Вебер, Wb
Индуктивност	Хенри, H
Ел. капацитет	Фарад, F

Особено място сред всички приети единици заема единицата Джаул, която се използва за измерване едновременно на три важни величини: енергия, работа и количество топлина. Това не са само физически понятия, те са термини, използвани ежедневно в говора на хората. Важността им се определя от обстоятелствата, че те характеризират дейностите и действията на хората, ефекта от тези действия, както и едно от важните условия за техния комфорт – отоплението.



Джеймс Джаул

Наименованието на единицата за измерване на тези три величини е въведено в чест на големия английски физик Джеймс Прескот Джаул, чиято 200-годишнина заслужава да бъде отбелязана. Неговите приноси във физиката са отразени във всички книги по история на науката (виж напр. [2-6]).

Джеймс Джаул е роден на 24 декември 1818 г. в Солфорд, едно от малките селища около Манчестър. Баща му е бил собственик на бирена фабрика (Фигура 1), която Джеймс наследил, и имал възможност да обезпечи домашно обучение на сина си. Знаменателен е фактът, че това обучение е било осъществено

от Джон Далтон, наричан заради заслугите си в науката „баща на новата химия“.



Фигура 1. Бирената фабрика на семейство Джаул

Въпреки че статията е посветена на ученика, важно е да отдадем внимание и на неговия учител, с което до известна степен ще характеризираме интелектуалната атмосфера на Англия по онова време.

Джон Далтон (1766 – 1844) е бил син на обикновен тъкач – квакер (член на религиозна християнска община), в Манчестър. Самият той е придобил своите знания предимно чрез самообразование, освободен от догмите на задължителния училищен образец. Работил е като преподавател по математика и химия в Манчестър, като преподавал и на частни ученици.

Като учен Далтон е известен с откриването на закони, на които се подчиняват свойствата на газовите смеси. За широката общественост е известен с откриването на един от дефектите на зрението – частична цветова слепота, наречена с неговото име „далтонизъм“ (самият учен е страдал от този дефект). Големите му заслуги в науката са свързани с развитието на атомните представи за строежа на веществото и въвеждането им в химията. Далтон е въвел величината „атомно тегло“ за характеризиране на химичните елементи (1803) и е съставил първата таблица за атомните тегла на известните по онова време елементи.

Не по-малко интересно от научната биография на Далтон е признанието, което бил получил от литературните и философски среди на Англия. Много преди да бъде избран за член на Лондонското кралско дружество (1822), той бил приет в Манчестърското литературно-философско дружество (1794). Нещо повече, освен че членувал в него половин век, продължително време бил негов секретар (1800 – 1817), а от 1817 г. – негов председател. Заслуга на Далтон е и създаването на печатен орган на същото дружество, на което бил и редактор.

Не мога да отмина още един интересен щрих в биографията на Далтон – той е бил въведен в Манчестърското литературно-философско дружество от знаменития социалист утопист Робърт Оуен. Ще обърна внимание на обстоятелството, че по времето, когато Далтон е бил председател на литературното

дружество в Манчестър, в Англия са живеели и творили знаменити поети и писатели, като Джордж Байрон, Томас Мур, Пърси Шели, Уолтър Скот, Уилям Блейк, Уилям Бекфорд, Уилям Текери, Чарлз Дикенс и др. Няма съмнение, че Далтон е общувал с тези личности, в резултат на което те са изпитвали взаимно уважение и влияние. Навярно това е една от характеристиките на онази епоха, когато бариерите между хуманитарните и природните науки не са били толкова високи, каквито стават през следващите десетилетия (Ще припомним, че в своята встъпителна лекция в Кеймбридж през 1871 г. Максвелл призовава за възстановяване на връзките между физиците и колегите им литератори, философи, историци).

Действително, Дружеството, ръководено от Далтон, не е имало затворен характер. На неговите събрания са присъствали и изнасяли доклади учени-естествоизпитатели, публикували са свои статии в неговото списание. Тази традиция изглежда се е запазила и през следващите десетилетия. Известно е, че в началото на XX в. пред членовете на Манчестърското литературно-философско дружество е изнасял доклад самият Ръдърфорд. Достойни за възхищение са такива традиции на известната като „консервативна“ страна Англия!

Можем да не се съмняваме, че част от интелекта си Далтон е предал на своя ученик Джаул. Той го е привлякъл за член на Литературното дружество, а по-късно нееднократно му е давал възможност да изнася доклади пред членовете му и да публикува статии в неговия орган.

Завършвайки встъпителната част на статията, ще обърна още веднъж внимание на една забележителна черта на английската наука – приемствеността на поколенията. Споменатите учени

Р. Оуен – Дж. Далтон – Дж. Джаул – У. Томсън

(за който по-късно ще стане дума), образуват една интелектуална щафета, която може да бъде пример за цялата световна наука.

Преди да разгледаме основния принос на Джаул в науката, ще посочим някои от неговите „редови“ постижения във физиката, отбелязани в „Биографията“ на нашата наука [6].

1840 г. – Джаул открива явлението магнитно насищане;

1841 г. – открива Закон за топлинното действие на тока и установява зависимостта на отделеното количество топлина (Q) от силата на тока (I) във веригата и нейното съпротивление (R):

$$Q = aI^2Rt$$

(потвърдено по-късно от руския физик Е. Х. Ленц и известна като Закон на Джаул-Ленц);

1842 г. – открива явлението магнитострикция;

1843 г. – измерва механичния еквивалент на топлината (коментарите по-нататък);

1845 г. – открива независимостта на вътрешната енергия на идеален газ от обема;

1848 г. – изчислява скоростта на движение на газовите молекули;

1853 – 1854 г. – заедно с У. Томсън открива явлението охлаждане на газ при неговото бавно стационарно адиабатично протичане през пореста преграда (Ефект на Джаул – Томсън).

Като обобщение на приносите, направени от младия Джаул, може да се каже, че със своите първи изследвания той е участвал активно както в първоначалното изучаване на някои електрически и магнитни явления, така и в разработването на кинетичната теория на газовете. А големият принос на учения е в утвърждаването на Закона за запазване и превръщане на енергията – най-важният закон във физиката.

Идеята за запазването

на числените стойности на някои физични величини е възникнала още в древността като философска догадка за стабилност във вечно движещата се Природа. Античните мислители, опирайки се на тази догадка, са стигнали до идеята за неунищожимостта и несътворимостта на всичко съществуващо. Но за формулирането на закони за запазването са били необходими столетия за натрупване на знания за природните явления, изчистени от митологичните и религиозните тълкувания. Решаващо значение за „узряването“ на идеята за запазването е имало развитието и внедряването на математиката в природните науки. Още през 1686 г. немският физик и математик Вилхелм Лайбниц (1646 – 1716), известен с независимото разработване на диференциалното и интегрално смятане (наред с Нютон), е въвел понятието „жива сила“, с което обозначил кинетичната енергия и установил в общ вид закон за запазването на „живата сила“.

Почти сто години по-късно, през 1774 г., френският химик Антуан Лавуазие (1743 – 1794) открил Закона за запазване на масата на веществото при химичните реакции.

До откриването и утвърждаването на Закона за запазване на енергията трябвало да минат още няколко десетилетия. Европейската научна общественост не била готова да разбере огромното значение на такъв закон и, както ще видим, оказвала „съпротива“ срещу неговото признаване. Процесът на узряването на научния елит през XIX в. бил свързан с упорити дейности на отделни дейци по преодоляването на идейния застой във физиката, настъпил след триумфа на Нютоновата епоха. Сред най-изтъкнатите от тези дейци били немските учени Робърт Майер (1814 – 1878), Херман Хелмхолц (1821 – 1894), както и Джеймс Джаул. Те образуват своеобразна „триада“, на която се опира Закона за запазване на енергията [2–5].

Завършил медицински университет в 1838 г., през следващите две години Р. Майер участвал като корабен лекар в експедиция до остров Ява. По

време на пътуването той проявил едно от най-важните качества на изследователя – любознателност. Като лекар той не се ограничавал само с грижите за здравето на моряците, а извършвал системни наблюдения както върху тяхното хранене, така и върху физиологията им.

По време на плаванията Майер забелязал, че цветът на венозната кръв на моряците в тропиците е значително по-светла, отколкото в северните ширини. Това го довело до мисълта, че в горещите страни за поддържане на нормална телесна температура трябва да се окисляват („да изгарят“) по-малко хранителни продукти, отколкото в студените, т.е. че съществува връзка между изразходването (консумирането) на веществата и образуването на топлина. Той установил също, че количеството окисляеми продукти в организма на човека нараства с увеличаване на изпълняваната от него работа. Тези наблюдения дали основание на Майер да направи извода, че топлината и механичната работа са способни на взаимно превръщане. В обобщените изводи, до които ученият достигнал, се съдържали шест различни форми на енергията: кинетична, потенциална, топлинна, магнитна, електрична и химична. Според него всички тези форми могат да се превръщат една в друга. Забележително е, че Майер разпространил идеята за запазване и превръщане на енергията и в сферата на органичната природа.

Резултатите от своите изследвания Р. Майер изложил в две статии (1840): „Бележки относно силите в неживата природа“ и „За количествено и качествено определение на силите“. (Ще припомня, че терминът „енергия“ още не е въведен; вместо него се използва думата „сила“). В тези статии Майер за пръв път формулирал Закона за запазване на енергията. Но съдбата (по-точно научната общественост) не се отнесла благосклонно към неговите идеи. Ученият изпратил статиите си до немското списание „Анали на физиката“, главен редактор на което бил И. Погендорф. Той не само не публикувал статиите, но дори не удостоил автора им с отговор. (И. Погендорф е немски физик с някои приноси в науката, но същевременно известен със задържащото влияние върху нейното развитие, като издател на посоченото списание).

Съдбата на учения Р. Майер е трагична. По-късно, когато научната общественост вече възприела съществуването на Закона за запазване на енергията, той се борел за признаване на своя приоритет, но вместо това получил подигравки от колегите си. Това му коствало здравето. Той получил нервно разстройство, дори направил опит за самоубийство. А статията, в която бил формулиран Законът за запазване на енергията, написана през 1841 г., излязла 40 години по-късно, през 1881 г.

Определена роля в откриването на Закона за запазване на енергията има и немският естествоизпитател Херман Хелмхолц. Той не само формулирал този закон, но и го обосновал математически (1847), подчертавайки неговия всеобщ характер. Статията на Хелмхолц „За запазване на силите“ също била

отхвърлена от Погендорф и ученият бил принуден да я издаде като отделна брошурка.

Отново ще повторя, че научната общественост по онова време не била готова да възприеме идеята за запазване на енергията като общ природен закон. Утвърждаването на този закон трябвало да стане чрез изучаването на конкретни форми на превръщане на енергията. Именно по този път тръгнал Джеймс Джаул.

Неговият път също не бил лек. Първите му изследвания били посрещнати с недоверие. Споменатата статия, в която се съдържала класическата формула, известна по-късно като Закон на Джаул-Ленц (1841), не била приета за печат от Лондонското кралско дружество. Тя била публикувана в списанието, издавано от Манчестърското литературно-философско дружество, благодарение на Далтон.

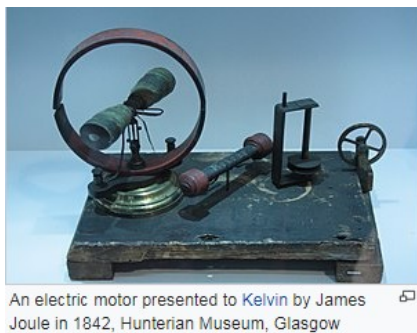
През следващите години Джаул си поставил за цел да намери количествените съотношения между „силите“ (да се разбира „енергията“) с различна природа, обуславящи отделяне на топлина. Интересно е да проследим последователността на неговите опити [7].

1843 г. – измерване нагряването на течност, поставена в постоянно магнитно поле; в течността, под действието на спускаща се тежест, се привеждал във въртене неголям електромагнит (с тези опити Джаул за пръв път определил механичния еквивалент на топлината);

1844 г. – измерване на количеството топлина, отделяна при прекарването на определено количество течност през тесни тръби;

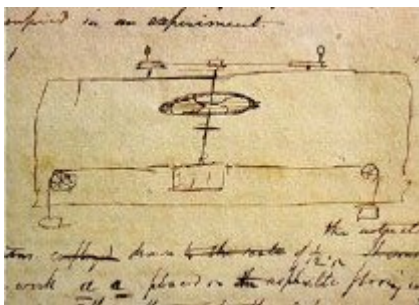
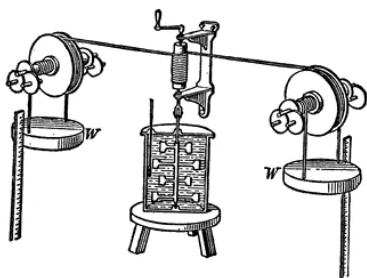
1845 г. – определяне на количеството топлина, отделяна при свиване на газ;

1847 г. – сравняване на механичната работа, изразходвана за въртене на бъркалка в съд, напълнен с течност, с топлината, образувана при триенето и обусловена от нагряването на тази течност.



Фигура 2. Прибори, с които е работил Джаул

На Фигура 2 са показани някои от приборите, с които е работил Джаул, а на Фигура 3 – записки от неговите тетрадки. За неговата експериментална техника с пълна сила важат думите, изказани от Ледерман (в „Частичата Бог“) по адрес на Далтон: „Неговата апаратура не била нито мощен микроскоп, нито ускорител на елементарни частици, а няколко епруветки, едни химически везни, литературата по химия от онези дни и творческото вдъхновение“ [8].



Фигура 3. От тетрадките на Джаул

(Напоследък срещам млади колеги, които са работили с ускорители и ядрени реактори, но не притежават никакво вдъхновение. Едва ли науката може да разчита на тях, техният хоризонт достига до защитата на дисертация).

В резултат на своите изследвания Джаул прави следния извод: „Могъщите сили на природата ... са неразрушими и при всички случаи, когато се изразходва механична сила, се получава точно еквивалентно количество топлина“. Тази убеденост го води до ясна формулировка на Закона за запазване на енергията: „При всички механични и топлинни процеси общата енергия се запазва, като преминава в еквивалентно количество от механична енергия на движение на телата във вътрешна енергия на техните частици и обратно“.

Както вече споменахме, опитите на Джаул да запознае колегите си от Кралската академия със своите резултати били неуспешни. През 1845 г. ученият изнесъл доклад на конгрес на Британската асоциация за прогрес на науката (в Кеймбридж). Докладът не предизвикал никакъв интерес и отзвук. Две години по-късно, на следващия конгрес на Асоциацията (в Оксфорд, 1847 г.) Джаул представил нов доклад. За пренебрежението към неговите изследвания свидетелства фактът, че на доклада му присъствал само един слушател – някакъв млад 23-годишен учен. За щастие, този младок се оказал Уилям Томсън, който по-късно за големите си заслуги в науката получил титлата лорд Келвин.

Запознаването на Джаул с У. Томсън на злополучния конгрес в Оксфорд изиграло донякъде решаваща роля за тяхната бъдеща изследователска дейност, както и за утвърждаването на Закона за запазване на енергията. Вече стана дума, че в съвместни изследвания през 50-те години на XIX в. двамата

учени са открили явлението охлаждане на газ, наречено „ефект на Джаул-Томсън“. Именно затова, напълно оправдано поставих У. Томсън като пост в интелектуалната щафета, в която той поема щафетната „пръчка“ от Джаул.

Не по-малко важно е, че през 1851 г. У. Томсън изнесъл серия доклади (на 11 март, 21 април и на 15 декември) и публикувал статия „За динамичната теория на топлината“, в които обосновал приоритета на Р. Майер и Дж. Джаул за откриването на Закона за запазване на енергията.

Във връзка с историята на това откритие желая да отправя някои съвети към младите учени, на които предстои да преодоляват препятствия, подобни на споменатите, при утвърждаването на научните им идеи и резултати.

Първо: Ако на доклад, който изнасяте на семинар или на конференция, няма много слушатели, не се стъписвайте, изложете си резултатите от изследванията, споделете си идеите. Дори един слушател да има, може да се окаже, че това е бъдещ талантлив учен, който ще продължи вашите изследвания и ще затвърди вашия авторитет.

Второ: Ако някое физическо списание откаже да приеме изпратена от вас статия, не се отчайвайте, изпратете я в друго списание – може във философско, дори в литературно. Това ще остави някакви следи за вашия труд, а може и да намери благоприятна почва в литературните ниви (лично аз имам 3-4 публикации в литературни списания и си спечелих приятели в литературните среди).

Между впрочем, издаваното от нашия Съюз списание „Светът на физиката“ има широк профил – в него се публикуват не само чисто физически статии, но също философски и литературно-исторически есета.

В заключение ще се опитам да изчистя събитията около откриването на Закона за запазване на енергията от някои „биографични“ недоразумения. Авторитетният руски педагог П. С. Кудрявцев в своя учебник по история на физиката е написал следното [4]:

„Може с пълно основание да се твърди, че идеята за запазване и превръщане на енергията е съзряла не сред специалисти физици. И не специалисти са изиграли решаваща роля при утвърждаването на великия закон. Лекарят Майер, пивоварът Джаул, лекарят Хелмхолц – ето онези трима човека, на които историята на науката завинаги е дала славата на откриватели на Закона за запазване и превръщане на енергията“.

Определено не съм съгласен с тази оценка на уважаемия професор Кудрявцев, макар че той навярно се е опитал да направи историята по-сочна и интересна. Смятам, че професията на човек се определя не само от дипломата, а и от конкретните дейности, на които той е посветил живота си. Тримата учени, споменати от П. С. Кудрявцев, са изследвали процеси, важни за физиката и независимо са стигнали до откриването на един от най-важните (дори най-важния) физически закони.

Ще обърне внимание на някои допълнителни биографични данни за споменатите учени. Независимо от получената диплома за завършено медицинско образование, Хелмхолц е работил 18 години като професор по физика в Берлинския университет (1871 – 1888), а от 1888 г. до края на живота си е бил директор на Физико-техническия институт [2]. А да се твърди, че Джаул бил „пивовар“, поради това, че е бил собственик (по наследство) на бирена фабрика, е смешно (ако не кощунство!). Все едно да казваме за Нютон, че е бил банкер (или дори счетоводител), защото в продължение на повече от 30 години е изпълнявал длъжностите надзорник и директор на Монетния двор в Англия.

Ще добавя още, че историята на физиката през първата половина на XIX в. донякъде е сравнима с епохата на Галилей, когато е започнало изграждането на механичната картина на света. През XIX-то столетие се откриват нови физически явления и закономерности, които подготвят изграждането на нова естественонаучна картина на света. В тази „картина“ се обобщават открития, направени освен във физиката, още в химията, биологията и медицината, в математиката и зараждащите се технически науки. Напълно естествено е в тези процеси да участват учени от посочените области. Всички те могат да бъдат наречени естествоизпитатели. Именно такива естествоизпитатели са Р. Майер, Х. Хелмхолц и Дж. Джаул. Техните открития се включват както в основата, така и в ядрото на физическата картина на света от XIX в.

Идеята на настоящата статия е да се изтъкнат огромните заслуги на учения Джеймс Джаул за създаването на новата физическа картина на света. 200-годишнината от неговото рождение е повод да си припомним приносите на нашите велики предшественици, които са ни завещали примери за творческо вдъхновение и самоотдаване в науката.

Литература

1. Бурдуй, Г. Д. и др., Международна система измерителни единици (превод на руски). София, Техника, 1965.
2. Храмов, Ю. А., Физики. Киев, Наукова думка, 1977.
3. Лалов, И., История на физиката от Възраждането до наши дни. София, Унив. изд. „Св. Климент Охридски“, 2011.
4. Кудрявцев, П. С., Курс истории физики. Москва, „Просвещение“, 1974.
5. Дорфман, Я. Г., История на физиката (превод на руски ез.). София, „Наука и изкуство“, 1982.
6. Храмов, Ю. А., Биография физики. Киев, ТЕХНІКА, 1983.
7. Голин, Г.М., С.Р. Филонович, Класики физической науки, Москва, „Высшая школа“, 1989.
8. Ледерман, Л., Д. Теръси, Частицата Бог (превод от английски), София, „Просвета“, 1997

ТЕМПЕРАТУРАТА – ПОЗНАТАТА И НЕПОЗНАТА

(Из опыта ми в работата със студенти от МГУ)

Пламен Савов

*Чух и забравих.
Видях и запомних.
Направих и разбрах.
Конфуций*

Температурата на телата – нещо толкова интуитивно познато и същевременно, като че ли не напълно понятно!?

Това е може би първата физична величина, с която човек се сблъсква в своя живот. Почти всеки си спомня моментите от ранното детство, когато грижовната майчина ръка нежно поставя термометъра под мишницата на своята болна рожба. И от показанията на термометъра се определя неговата сетнешна съдба. Някъде по същото време от детството малкият човек разбира, че горещата печка не бива да се докосва, а снежната топка и ледената висулка предизвикват приятно чувство на охлаждане и дори освежаване, ако човек скришом се престаши да я опита. Това са и първите, макар и примитивни, но жизненоважни експерименти, които човек започва да провежда, изучавайки околния свят. Много често, загрижената за отрочето си майка, за да го предпази от погрешни действия използва стряскащия израз „*Париши...*“, т. е. детето не трябва да пипа дадения предмет.

По-късно човек разбира, че за да се чувства добре, температурата на тялото му трябва да се поддържа в доста тесни граници (от 36 до 37 °C). Този едноградусов интервал му създава физиологичен и душевен комфорт и влиза в т. нар. жизненоважни параметри на хомеостазата.

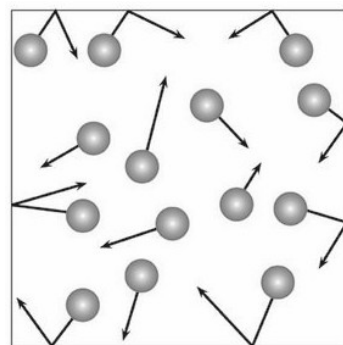
Физиката, както повечето хора знаят, е точна наука и при нея са необходими строги дефиниции и доказателства за да се приеме нещо за истина. По строга дефиниция **температурата** (на латински: *temperatura* – правилно смесване, нормално състояние) е *физична величина, характеризираща средната кинетична енергия на частиците от дадена макроскопична система, намираща се в състояние на термодина-*



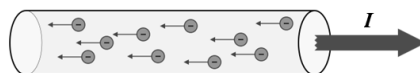
Любящата майка...

мично равновесие. Щом става дума за кинетична енергия, това означава, че частиците се движат. И тук е важно да се акцентира, че тяхното движение е хаотично и се нарича Брауново, наречено на името на учения, който за пръв път наблюдавал такова движение на тичинки в разтвор.

Хаотичното движение съществено се различава от насоченото – движението на частиците, създаващи електричния ток, или на фотоните на лазерния лъч. Ето защо топлината е енергия с най-ниско качество, понеже по-хаотично от Брауновото движение няма. Всяка енергия с по-високо качество, чрез триене или съпротивление в крайна сметка преминава в топлина. Поради това е необходимо хората да разберат, че е варварско престъпление спрямо околната среда веднъж произведената от изкопаемите горива висококачествена електроенергия отново да се превръща в нискокачествена топлина за отопление на жилищните сгради и офиси.

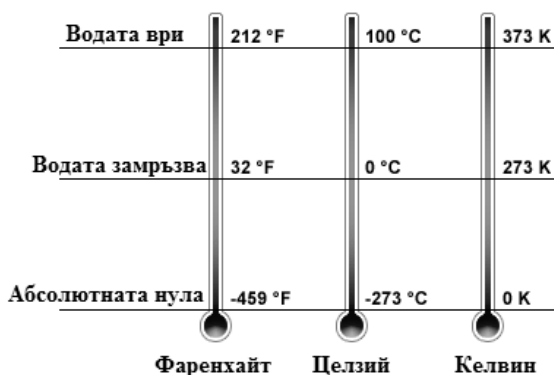


Брауново движение



Електричен ток

Малка част от хората знаят, че температурата не може да бъде измерена непосредствено. Измерването ѝ практически е възможно по метода на сравнение на нагряването на две тела, при което за сравнение се използва определено физическо свойство, зависещо от температурата. Веществото, което се избира за измерване на температура, се нарича термометрично вещество, а неговите параметри, по промените на които се съди за изменението на температурата – термометрична величина. Като термометрична величина могат да се използват различни физически величини като: обем, налягане, електрическо съпротивление, линейен размер, термоелектрическо напрежение и др., които се изменят непрекъснато по даден закон.



Трите температурни скали

Има една важна подробност при процеса на измерване на температурата: количеството термометрично вещество е необходимо да бъде много по-малко в сравнение с веществото на тялото, чиято температура трябва да мерим.

За да го разберат по-добре студентите, им се задава следния въпрос: Как може с обикновен термометър да се измери температурата на муха? Отговорът е: За да стане това коректно е необходим голям брой мухи да се съберат в някакъв съд и да се измери равновесната температура на системата.

Друг важен момент е студентите да свикнат да различават и правилно да дефинират конкретната физична величина и свързаната с нея мерна единица.

Ние дефинирахме величината, остава да се установи единицата за температура – градус. Стойността на градуса се избира произволно. Размерът на градуса се установява по следния начин: за построяване на термометрична скала се избира произволен, лесно възпроизводим температурен интервал между две топлинни състояния (*реперни точки*), на които може да се присвоят определени числени стойности. Например в температурната скала на Целзий такива реперни точки са температурите на топене на леда и на кипене на водата при атмосферно налягане. Полученият температурен интервал се дели на произволен брой равни части – градуси. В скалата на Целзий този интервал е разделен на 100 части, а реперните точки са обозначени с цифрите 0 и 100. По този начин се получава температурната скала.



Неправилно...



Правилно...

Измерване на температурата на насекоми с обикновен термометър

Термодинамичната (или абсолютната) скала е построена от английския физик Келвин въз основа на втория принцип на термодинамиката, за който ще стане дума по-късно. Тя не зависи от термометричното вещество и има универсален характер. За долната граница на скалата на Келвин считаме точката на абсолютната нула, а единствената експериментално определена точка е *тройната точка на водата*, на която е приписана числена стойност 273,16 K или 0,0100 °C. В тройната точка едновременно съществуват и се намират в температурно равновесие три фази – твърда (лед), течна (вода) и газообразна (водна пара).

Голяма част от студентите трудно правят разлика между температура и количество топлина. Затова често им се дава следното обяснение.

От физиката е известно, че между тела с различна температура се извършва пренасяне на топлина. Този процес на самопроизволен пренос на енергия под формата на топлина от тяло с по-висока температура към тяло с по-ниска температура се нарича *топлообмен*. Топлината се предава без разход на работа само от тела с по-висока температура към тела с по-ниска температура, като теплообменът продължава до изравняване на температурите. Така че *температурната разлика е движещата сила на теплообмена*. От нейната големина зависи интензивността на преноса на топлина. По такъв начин *температурата е количествен показател, определящ посоката на преноса на топлина*.

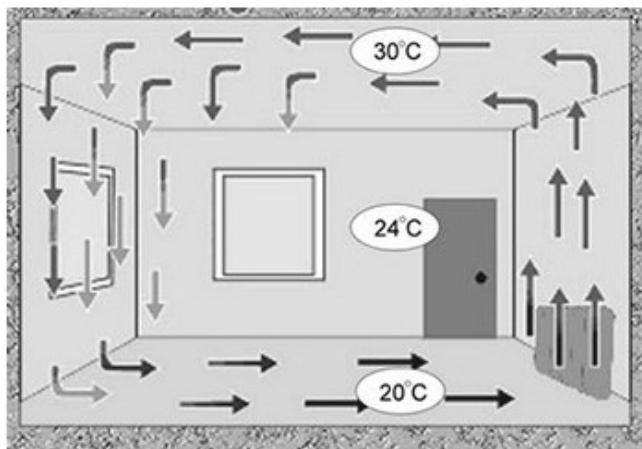
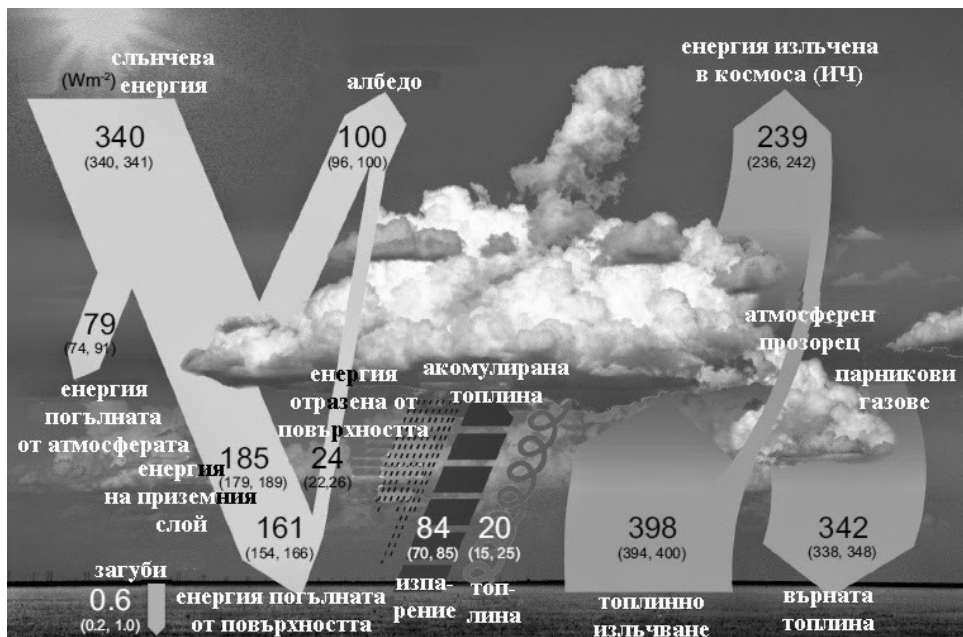


Схема на конвективен теплообмен в стая

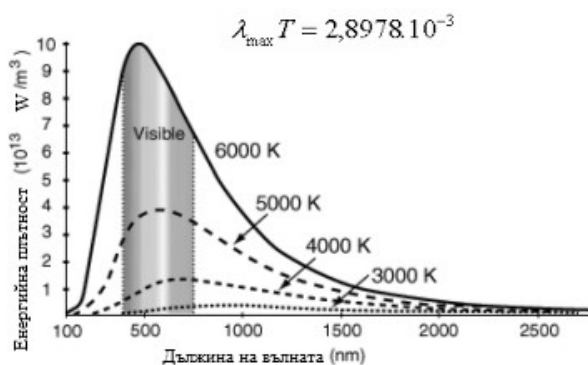


Енергиен баланс на Земята.

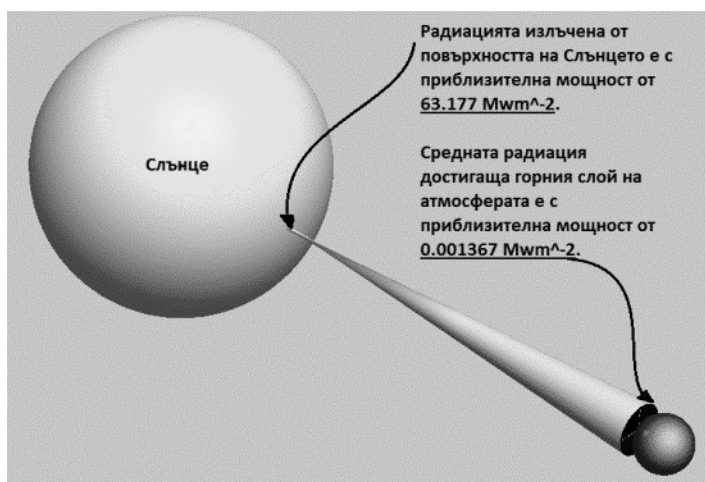
Когато топлообменът между два топлоносителя е съпътстван и с фазов преход, трябва да се отчита топлината на фазовото превръщане. Именно на фазовите преходи в атмосферата или на т.нар. латентна топлина на изпарение се дължи преносът на енергия от една точка на планетата до друга. На тази топлина се дължи огромната енергия на циклона, който в някои случаи носи животелна влага, а в други се разразява като унищожителен ураган и потоп.

Студентите от опит знаят, че тяло, нагрят до определена температура, има характерен цвят на светене. Например при нагриване на парче желязо до температура $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ то започва да излъчва червена светлина. С повишаване на температурата цветът на излъчването се променя. При $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ цветът става жълт, а при $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ – виолетово-бял. Това е т.нар. закон на Вин, благодарение на който дистанционно може да се определи температурата на телата. Така е била определена първоначално и температурата на Слънцето. Знаейки температурата на повърхността на нашето светило, по закона на Стефан–Болцман бихме могли да пресметнем неговата мощност, която се получава колосална – 4.10^{26} W ! Понеже на повечето студенти със слаба математическа подготовка им е все едно дали имат 10^3 или 10^{30} обекта, им се дава един подходящ пример, че ако трябва да броят до един милиард (10^9) и изказват всяко число за една секунда, което на практика е невъзможно, ще им трябват повече от 30 години. И тогава те се фрапират и като че ли по-реално започват да схващат мащабите на големите числа.

За да обясни формулата си, Планк през 1900 г. изказва хипотезата, че излъчването на електромагнитно лъчение от атоми-



Закон на Вин



Как се пресмята слънчевата константа

те и молекулите на абсолютно черното тяло става не непрекъснато, а на определени порции, наречени кванти.

От формулата на Планк като частни случаи се получават законите на Стефан–Болцман и Вин. По-нататъшното развитие на хипотезата на Планк довежда до създаването на квантовата теория за светлината.



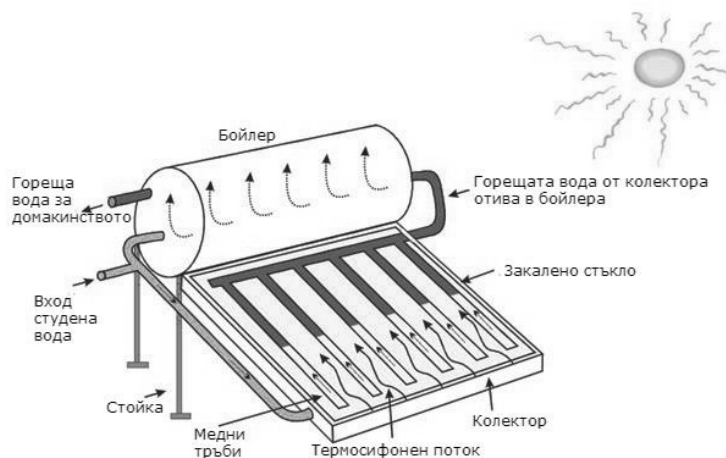
Фотоволтаична система за производство на електрическа енергия

Знаейки мощността на Слънцето и разстоянието до Земята, може да се пресметне каква част от колосалната енергия достига до горната граница на земната атмосфера. След кратки пресмятания се получава, че

$$E_0 = 1370 \text{ W/m}^2.$$

Тази стойност се нарича слънчева константа, т.е. в най-добрия случай, през лятото по обяд и при идеално чиста атмосфера ние бихме получили максимум тази енергия от единица площ. Средно обаче за най-слънчевите места тя е около 20 до 30% по-ниска. Въпреки това, дори ако се използват фотоволтаични елементи със сегашното КПД, то от площ 100 км², покрита с фотоволтаици, разположени например в Сахара, биха могли да се задоволят енергийните потребности на цялото човечество. Елементарно, но на теория. Реалното инженерно изпълнение засега е почти невъзможно.

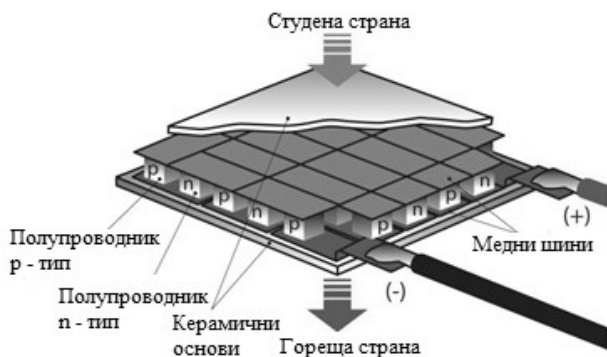
Във връзка със силното залитане по „фотоволтаичната мода“ напоследък на студентите отново е добре да се разясни смисълът на качеството на енергията. Ако крайната цел е да се получи топла вода, най-добре е слънчевата енергия да се трансформира директно в топлина чрез серпентинна система тръби и помпи, а не чрез фотоволтаици, понеже трансформирането на слънчевата енергия веднъж в електричество и после в топлина силно снижава КПД на системата. Докато, ако крайната цел е получаване на електричество – фотоволтаиците са незаменими.



Слънчеви колектори за топла вода

За студентите от един технически ВУЗ е добре да познават не само начините на измерване на някаква величина, но да имат представа и от самите датчици.

Температурата може да се измерва както контактно, така и дистанционно. При контактните измервания са използвани термометрични вещества, изменящи своя обем, цвят или дължина. Използват се и терморезистори, термодвойки и термобатерии. В Минно-геоложкия университет „Св. Иван Рилски“ студентите провеждат подходящи лабораторни упражнения по калибриране на термоелемент, запознаване с ефекта на Зеeman и ефекта на Пелтие.



Охлаждане с ефект на Пелтие

При дистанционното измерване на температурата студентите се запознават с принципа на работа на пирометъра, дистанционните инфрачервени термометри и модерните термокамери.

В някои области се изискват датчици, които мерят температурата в широк диапазон, при други случаи – да са нискоинертни и високоточни, и в

крайна сметка всички да са възможно по-издръжливи и евтини. Ето това са задачите, които стоят пред бъдещите инженери, конструктори и изобретатели.

Литература:

- Кирий, А. Измерване на топлинни, хидравлични и механични величини. „Техника“, 1989 г.
- Кухлинг Х., Справочник по физике. Москва „Мир“ 1982 г.
- Лилков, В., Н. Джерахов, М. Вацкичева, К. Величкова. Физика I част. София, 2010 г.
- Милкоева, Б., Д. Беев. Справочник по Физика и Астрономия. „Вега 74“, 2004 г.
- Олейник, Б., С. Лаздина, В., Лаздин, О. Жагуло. Приборы и методы температурных измерениях, Москва, 1987.
- Савов, Пл., К. Величкова, М. Вацкичева, Ю. Илчева, Д. Димитров, Н. Колев. Лабораторен практикум по физика. София, 2017 г.
- Шалников, А., И. Шчеголев. Температура и вещество, „Техника“, София, 1965 г.
- Яворский, Б., А. Детлаф. Справочник по физике. Москва, 1963 г.
- Anderson, G., Thermodynamic of natural systems. Toronto, 2005.

THE TEMPERATURE – KNOWN AND UNKNOWN

(From my experience in lectures with students from UMG)

Plamen Savov

The main topic of the present paper is temperature – one of the first physical quantities that a person faces in life. The three main temperature scales are defined – Kelvin, Celsius and Fahrenheit scales. The processes of heat transfer are discussed and the term „quantity of heat“ is determined. Wien’s law and Planck’s hypothesis about the quantization of radiant energy are also considered. Finally, some of the basic physical concepts and the experiments that the students in the University of Mining and Geology „St. Ivan Rilski“ carry out in the General Physics classes are presented.

ИНЖЕНЕРНА ФИЗИКА – МОДЕРНАТА СПЕЦИАЛНОСТ

В рамките на кандидатстудентската кампания 2018, Технически университет – София представя специалността „Инженерна физика“.

Създадена през 2012 г. към Катедра „Приложна физика“ на Факултет „Приложна математика и информатика“, специалността осигурява интердисциплинарно техническо образование, изградено от фундаментални физични знания – основа за развитие и реализиране на съвременните фотонни и електронни технологии от една страна, както и практически умения от друга, свързани с приложения в микро/наноелектрониката, оптиката, компютърното моделиране и др.



Специалността създава високо ниво на ползване на компютърна техника и софтуерни продукти, необходими за построяване на модели и решения на задачи в инженерните приложения.

Комплексният подход при обучението осигурява на завършилите бакалаври по-голяма мобилност и адаптивност в пазарната среда.

Дипломираните се инженер-физици могат да се реализират успешно както в сферата на индустрията и услугите, така и да развият научна кариера.



Повече информация: <http://phys.tu-sofia.bg>

ПРАЗНИКЪТ НА ЧИСЛОТО ПИ

Подбор и превод: Сашка Александрова

Международният ден на числото Пи се отбелязва на 14 март, което идва от първите значещи цифри 3, 1 и 4 на числото Пи.

Ако използваме често употребявания и у нас запис „месец/дата“, датата е 3/14, което изглежда по-скоро като дроб, а не като числото Пи. Независимо от това наричаме 14 март „Денят на Пи“.

В миналото много книги по математика дават Пи като $22/7$, приближение още от времето на Архимед – и това дава повод за отбелязване и на Ден на приблизителното Пи на 22 юли, този път в запис „дата/месец“.

От средата на 18-ти век Пи се записва с гръцката буква π . Всъщност, самата дума Пи се получава от първата буква на гръцката дума *perimetros*, което означава обиколка.

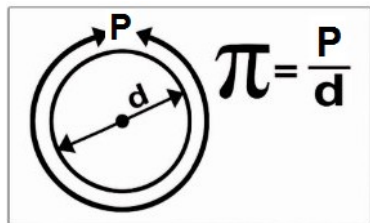


За пръв път Денят на Пи се празнува през 1988 г. в *San Francisco Exploratorium*, популярен музей на науката в Сан Франциско по идея на Лари Шоу (Larry Shaw) (на снимката вляво), който тогава работи като физик в музея.

Основното събитие от Деня на числото Пи се отбелязва в 1:59 часа (по 12-часова система). Привържениците на 24-часовата система смятат, че в този момент времето е 13:59 и предпочитат да посрещнат Пи през нощта.

На 12 март 2009 г. Камарата на представителите на САЩ прие незадължителна резолюция, която признава 14 март 2009 г. за „Национален ден на Пи“. През 2015 г. 14-ти март се празнува като „Супер Пи-ден“, тъй като датата 3/14/15, написана във формат месец/ден/година, представя първите 5 цифри на π . В 9:26:53 часа датата и часът заедно представят първите 10 цифри на π .

Както знаем, числото Пи е съотношението на обиколката на окръжността към диаметъра ѝ. Като ирационално число, π не може да се изрази точно като обикновена дроб и хиляди години се смята за мистично. Древните гърци дори са построили религия на неговата основа.



Тъй като определението на π е свързано с окръжността, π се намира в много формули, в които участват кръгове, елипси или сфери. Числото

π се среща често в тригонометрията, геометрията, теорията на числата, статистиката, фракталите и може би във всички клонове на математиката, като вероятно е най-често срещаната математическа константа.

Тъй като математиката е езикът на физиката, не е изненадващо, че срещахме често π в механиката, електромагнетизма, термодинамиката, космологията и изобщо във всички области на физиката, ако участват окръжности или изобщо кривини. Ето два примера.

1) Симетрия. В много случаи във физиката, за да се опрости значително математичното описание, се приема някаква симетрия. Най-често предполагаемата симетрия е радиална симетрия. Всеки път, когато има радиална симетрия, числото π трябва да се появи.

2) Периодичност. Тъй като всяка периодична структура или функция може да бъде представена като сума от синуси и косинуси, всеки път, когато се разглежда проблем, свързан с периодичност, се появява π при преобразуването на вълново число в дължина на вълната и на ъглова честота в честота.

Математиците разкриха тайната на числото Пи

Математиците направиха важна стъпка към отговора на въпроса, доколко е случайно числото Пи, както и други математически константи. За първи път те успяха да свържат **теорията на числата с теорията на хаоса**. Стойността на числото Пи е известна с точност от 500 милиарда знака, като първите му цифри са 3,1415926535. В него няма нито една циклична последователност и ако математиците не грешат, никога няма да има такава, колкото и знаци да се изчисляват.

$\pi =$

3.1415926
5358979323846
26433832795028
841971693993751
0582097494459230
78164062862089986
2803482534211706798
21480865132823066470
93844609550582231752359
4081284811174502841027019
3852110555964622948954930831
9642885190756653461284756482337
2764231657294695900864233
432064821233536072002491412734358700606031558517488
© 2012-2019 All Rights Reserved. All rights reserved.

Всяка поредица от цифри с еднаква дължина се среща в числото Π със същата честота. Например, вероятността за намиране на последователността 234 е равна на вероятността за намиране на 876, а 23 568 се среща толкова често, колкото и 98 427. Математиците наричат такива числа „нормални“. Други примери за „нормални“ числа са квадратният корен от 2 и основата на естествения логаритъм e . Но досега няма стриктно доказателство за нормалността на числото Π . Явно математиците са уморени от безплодните опити да намерят та-

КОВА ДОКАЗАТЕЛСТВО.

Според Дейвид Бейли (*David Bailey*) от Националната лаборатория Лорънс Бъркли (*Lawrence Berkeley National Laboratory*) в САЩ, нормалността на някои математически константи е свързана с хипотези от областта на хаотичната динамика. Според една от тях, така наречената „хипотеза А“, поредица от числа от определен вид „танцува“ между две други числа. Бейли и неговите канадски колеги, математиците Питър Боруин (*Peter Borewin*) и Саймън Плуф (*Simon Plouffe*), написаха компютърна програма, която изчис-

лява произволна цифра на числото Пи, без да изчислява предишните. По-рано това се считаше за невъзможно.

Отличителна черта на алгоритъма е, че той не работи изцяло с число, а с негови фрагменти. Това означава, че учените са взели числата 0,314; 0,141; 0,415; 0,159 и т.н. Всички те се състоят от три последователни цифри от числото π . Ако цифрите на π са случайни, то тогава всички тези числа трябва да бъдат разпределени по случаен начин между 0 и 1. Вярно е, че учените не са работили с десетичен, а с двоичен код на числото π , т.е. с последователности от нули и единици.

Така се появява новината, която премина през всички популярни сайтове за това, че цифрите на числото Пи олицетворяват хаоса.

Изчисленията въз основа на програмата, създадена от Бейли и колегите му, показаха, че **цифрите на числото Пи** се държат в съответствие с **теорията на хаоса**, т.е. тяхната последователност очевидно наистина е случайна. Доказателството не трябва да се разглежда просто като забавно математическо любопитство. Това е важно научно постижение, на което могат да се основават такива чисто практични неща като създаването на неразбиваеми шифри. Възможни приложения на тези резултати са в криптографията и за нов алгоритъм за генератор на случайни числа.



Да се върнем на самия Ден на Пи. Празникът се отбелязва на много места и по различни начини, които включват и обсъждане на значението на числото π , и ядене на пай, и хвърляне на пайове. Причината е в думите Пи и „пай“ (*Pi* и *pie*), които са омофони на английски език (думи, които се произнасят еднакво, но имат различен правопис или значение). Има и намек за кръговата форма на пая. На снимката на първа страница Лари Шоу стои до празничната маса с пайовете, а вляво е паят от празник в Университета в Делфт, Холандия.



Технологичният институт в Масачузетс (*Massachusetts Institute of Technology*) често е изпращал писмата с резултати за прием на кандидат-студенти на Деня на Пи. Започвайки през 2012 г., MIT обяви, че ще изпраща тези писма на всеки кандидат онлайн на Деня на Пи точно в 6:28 часа, което те нарекоха „тау час“, от числото 2π , записвано и с гръцката буква τ (*tau*), също често срещано в множество математически формули. Някои твърдят, че τ е по-фундаментална константа и вместо „Пи-ден“ трябва да се празнува „Тау-ден“. Честването на тази дата предполага и ядене на два пая.



Университетът в Принстън, Ню Джърси, е домакин на многобройни събития, като заедно се честват Денят на Пи и рождения ден на Алберт Айнщайн, който също е на 14 март. Айнщайн е живял в Принстън повече от двадесет години, докато е работил в Института за авангардни изследвания.

В допълнение към конкурсите за ядене и хвърляне на пай, има ежегоден конкурс за двойници на Айнщайн с участници от всички възрасти, както и за и Пи-рецитация (изброяване наизуст на последователни цифри на π), а наградата е 314,15\$. Наградата за двойник на Айнщайн за 2018 г. спечели 3-годишният Истън Корбет (*Easton Corbett*), а победител в рецитацията е 11-годишният Езра Корийн (*Ezra Koreen*), който знае наизуст 664 цифри от числото Пи.

Колко знака ни трябват?

Колко знака за π всъщност трябва да използваме? В НАСА, при изчисления за междупланетна навигация, използват 3,141592653589793. Тогава, ако искаме да определим размера на видимата Вселена, според учени от НАСА, грешката от използване на ограничен брой цифри – 39 или 40 десетични знака, е по-малка от размера на водородния атом. Ако си помислим колко фантастично огромна е Вселената – радиусът ѝ е около 46 милиарда светлинни години – наистина далеч отвъд онова, което можем да си представим и със сигурност далеч отвъд онова, което виждаме с очите си, дори и в най-тъмната, най-красивата нощ, изпълнена със звезди, и колко невероятно малък е един атом, е ясно, че няма да се наложи да използваме много цифри от Пи. За задачи от всекидневието ни на Земята обаче е достатъчно да се ограничим с 3,14 – както означаваме Денят Пи.

Литература

<https://www.quora.com/Why-is-Pi-so-common-in-Physics>

<https://www.wired.com/2016/03/six-things-probably-didnt-know-pi/>

<https://princetontourcompany.com/2018/03/11/2018-pi-day-princeton-starts-as-another-irrationally-fun-event/>

<https://www.jpl.nasa.gov/edu/news/2016/3/16/how-many-decimals-of-pi-do-we-really-need/>

CELEBRATION OF PI DAY

Selection and translation: **Sashka Alexandrova**

Pi Day is an annual celebration of the mathematical constant π (pi). Pi Day is observed on March 14 (3/14 in the month/day format) since 3, 1, and 4 are the first three significant digits of π . The first official large-scale celebration of Pi Day was organized in 1988 at the San Francisco Exploratorium, by Larry Shaw, where he worked as a physicist. Because its definition relates to the circle, π is found in many formulas where circles, ellipses or spheres are involved. It appears practically in all branches of physics. Pi is an irrational number and no recognizable pattern emerges in the succession of its digits. It has been shown that the digits of Pi appear to be random, because they are described by the chaos theory.

ПОСЕТЕТЕ НАШИЯ САЙТ

wop.phys.uni-sofia.bg

**СНИМКИТЕ И ФИГУРИТЕ СА ЦВЕТНИ В ОНЛАЙН
ВЕРСИЯТА НА СПИСАНИЕТО**

ЮБИЛЯРТ ПРОФ. ДФН АНА ГЕОРГИЕВА – ПОСЛЕДОВАТЕЛЕН ИЗСЛЕДОВАТЕЛ В ТЕОРИЯТА НА ЯДРЕНАТА СТРУКТУРА И РАДЕТЕЛ НА ФИЗИЧЕСКАТА ОБЩНОСТ В БЪЛГАРИЯ

Митко Гайдаров

Професор дфн Ана Георгиева е родена на 20 юни 1948 г. в гр. Пазарджик. Завършва висшето си образование през 1971 г. във Физическия факултет на СУ „Св. Кл. Охридски“. През същата година защитава под ръководството на проф. Е. Наджаков успешно дипломна работа. През 1984 г. следва защита на дисертационен труд по теоретична ядрена физика за придобиване на научната степен „доктор“ в Института за ядрени изследвания и ядрена енергетика (ИЯИЯЕ) на БАН, Лаборатория „Теория на атомното ядро“, където преминава основната научна кариера на Ана Георгиева. През 1996 г. Ана Георгиева става ст.н.с. II ст. Заедно с проф. Петър Райчев и доц. Руси Русев активно развиват една от основните тематики на лабораторията. Като резултат от дългогодишните усилия на Ана Георгиева в разработването на модели в рамките на групово-теоретичния подход в ядрената физика, тя защитава през 2006 г. много успешно своята дисертация на тема „Приложения на бозонни и фермионни реализации на симплектични алгебри в теорията на ядрената структура“ за получаване на научната степен „доктор на физическите науки“. Ана Георгиева е избрана за ст.н.с. I ст. през 2008 г. В периода 1994 – 2000 г. осъществява редовно дългосрочни командировки в Университета в Луизиана (САЩ), където сътрудничи с проф. Джери Драйер. Има ползотворни посещения и в Университета Стеленбош (ЮАР), Изследователския институт Бартол (САЩ), които впоследствие водят до укрепването на полезните контакти с учени от тези институти и плодотворното научно сътрудничество.

В периода 2009 – 2014 г. проф. Георгиева беше ръководител на Лаборатория „Теория на атомното ядро“ в ИЯИЯЕ – БАН. През тези години тя беше председател на Организационния комитет на Международния семинар по теория на атомното ядро.

С назначаването на проф. Петър Райчев в ИЯИЯЕ през 1972 г. се поставя началото на ново направление в лабораторията, свързано с прилагането на групово-теоретични методи в теорията на ядрото. В работата по новите проблеми се включват младите сътрудници Руси Русев и Ана Георгиева. Успешно са развити нови математически техники, адаптирани за изследване на ядрото и скоро се натрупват впечатляващи резултати. Предложени са и са развити няколко нетривиални модели на ядрената структура. Съществена част от тях се базира на концепцията за два вида векторни бозони, въведени като Елиотовски кварки, с помощта на които се строят ядрените колективни

възбуждания и моделния Хамилтониан. Първоначално този модел е въведен от проф. Петър Райчев на базата на $SU(3)$ симетрия като феноменологичен и се използва за описанието на основната и γ ивици в деформираните ядра. Същественият принос на проф. Георгиева е в развитието на този модел, точно в показването, че алгебрата на $U(6)$ възниква като алгебра на динамична симетрия с три динамични граници, приложени успешно за описание на различни типове нисколежащи колективни спектри на четно-четни средно-тежки и тежки ядра. Анализирани са също и ролята на $Sp(12, R)$ като обобщена група на динамична симетрия на пълния проблем на два взаимодействия векторни бозона. Впоследствие е направено симплектичното разширение на модела. Симплектичните структури осигуряват по-широко пространство на представянията, което позволява класификацията и описанието на различни колективни ивици с положителна и отрицателна четност до много високи спинове, както и енергетичното разпределение на състояния с фиксиран ъглов момент. Полученото коректно описание на експерименталните данни се дължи на факта, че в модела са отчетени наблюдаваните взаимодействия както между различните колективни моди, така и между протонната и неутронната подсистеми. Един от съществените приноси на този модел е свързан с експерименталното откриване на високо лежащи 0^+ състояния, предсказани в модела в ОИЯИ, Дубна.

Комбинирането на свойствата на унитарните алгебри и q -деформираните групи, чиито първи приложения бяха осъществени от П. Райчев и Р. Русев в сътрудничество с проф. Ю. Ф. Смирнов и проф. Д. Бонацос, предизвикаха особен интерес сред международната общност по ядрена физика. Проф. Георгиева успешно приложи тази методика към фермионните и бозонните представяния на деформираните симплектични алгебри. В сътрудничество с проф. Дж. П. Драйер от Университета в Луизиана (САЩ) и К. Свирачева беше предложен микроскопичен модел и неговата нелинейна q -деформирана версия, който се базира на фермионната реализация на $Sp(4)$ група на динамична симетрия. Съществен принос на модела е направената физическа интерпретация на параметъра на деформация q , която е свързана с промените, причинени от многочастичните взаимодействия от по-висок порядък в ядреното взаимодействие в конкретните ядра.

В тази специфична област на изследване проф. Ана Георгиева развиваше и поддържаше многобройни международни сътрудничества с водещи ядрени физици като В. Ванагас, Й. Чех, С. Брант, А. Вентура и др. Заедно с Х. Ганев от Лабораторията в София, бяха разработени редица приложения на модела на взаимодействащите векторни бозони. С колеги от Лабораторията в София (В. Гаристов и К. Друмев) Ана Георгиева продължава и днес да работи активно и в сътрудничество с учени от ОИЯИ.

Проф. Ана Георгиева е заместник-председател на Съюза на физиците в България. Административно-организационната дейност на Съюза е част от нейната активна обществена изява като учен и организатор на събития в сферата на българската физика. С голяма енергия и себеотдаване тя координира участието на България в европейската платформа за учители по природните науки „Наука на сцената“. Фестивалът „Наука на сцената“ като форма на приобщаване на младите хора към сериозната наука е много полезен за откриване на млади таланти в областта на природните науки и за активизиране работата на учителите в извънкласните форми на обучение. Неотменна е ролята на Ана Георгиева за безпрепятственото протичане на Националните конференции по въпросите на обучението по физика и съпътстващите ги младежки сесии. Тя участва активно в организацията на редица форуми като II и III Национални конгреси по физически науки, проведени съответно през 2013 и 2016 г., и 10-ата юбилейна конференция на Балканския физически съюз през август 2018 г. От 2017 г. Проф. Ана Георгиева е заместник-главен редактор на списанието на СФБ „Светът на физиката“.

Нека пожелаем на Ани здраве и творческо дълголетие, още много юбилеи и поводи за радост и удовлетворение – в науката, както и в обществената ѝ дейност! И нека младите хора черпят от нейния многостранен опит, енергия и чувство за отговорност!

Редакционната колегия на „Светът на физиката“ поздравява своя заместник-главен редактор и дългогодишен зам.-председател на Съюза на физиците в България проф. Ана Гергиева със 70-годишния ѝ юбилей с пожелания за здраве, успешни нови творчески хоризонти, сили и ентусиазъм за успеха на най-чудесната наука – физиката!

ЛЕВ ДАВИДОВИЧ ЛАНДАУ: „ДА ОТКРИВАШ ТАЙНИТЕ НА ПРИРОДАТА – НАЙ-ГОЛЯМОТО ЧОВЕШКО ЩАСТИЕ“

Невена Кожухарова



Лев Давидович Ландау около 1950 г.

Настоящата статия е едно общо представяне на живота и работата на един от най-известните руски физици-теоретици, създател на една от водещите и днес теоретични школи в света, лауреат на Нобелова награда по физика – Лев Леонидович Ландау. Конкретен повод е годишнина – 110 години от рождението му – една добра причина да се разкаже за работата на този известен учен, чиито приноси обхващат значителна част от теоретичната физика – от хидродинамиката до квантовата теория на полето.

Лев Давидович Ландау е роден на 22 януари 1908 г. в Баку в семейството на инженер от местната петролна компания и лекарка. Той е по-малкото от двете деца в семейството, има сестра София. Още от малък се проявява като добър математик (но има предпочитания към алгебрата, а геометрията намира за скучна), но със странен и затворен характер. Не обича игрите с деца на неговата възраст. Трудно е било да го видят да се разхожда – тогава време той считал за пропияно. Въпреки усилията на родителите си, не се



Семейството на Ландау, когато той е на около 2-годишна възраст

занимава с уроци по пиано. Още от детските си години проявява завидна упоритост, граничеща на моменти – по думите на майка му – с инат. Завършва училище много преди връстниците си – само на 13 години. След това се записва да учи в Икономическия техникум в Баку. Това е по преценка на родителите му, тъй като смятали, че е рано за записването му в университет, както и че това е било време на сериозни реформи в образователната система, свързани с присъединяването към СССР. Още на 12 години Ландау се е научил да диференцира, а на 13 е можел и да интегрира. След едногодишно обучение в техникума, той напуска и се записва през 1922 г. в Бакинския университет, където през първата година се обучава паралелно в две специалности – едната „физика и математика“ и другата – „химия“, но счел

химията за по-малко интересна и продължил през втората година само физика и математика. По това време се записва в научно студентско математическо дружество, където са и първите му изяви като лектор, съвсем не блестящ, какъвто го характеризират в края на кариерата му. На 16 години Лев Давидович се премества в Ленинградския държавен университет, където вече учи сестра му София. По думите на някои негови колеги от Бакинския университет, това преместване е било необходимо, защото Ландау е получил всичко от преподавателите си и вече нямало какво да научи. По време на този престой те със сестра си са живели в семейството на чичото – брат на баща им. Майка им доста често ги е посещавала и сериозно се е притеснявала за него, тъй като Ландау по думите ѝ „не можел да се справя сам с живота“. Той често не е обръщал внимание на външния си вид, дали е облечен подходящо за времето от годината, а и на съвсем обикновени неща като например кога се е хранил за последен път. Такива реплики са казвани по-късно и от съпругата му. Това е времето, по което от свой състудент получава прякора си Дау, който му остава до края на живота.

Трябва да отбележим отношението, което Лев Давидович има към своите преподаватели – той се държи към тях сериозно и в същото време независимо. В дадения период си създава навици да преглежда огромно количество научни статии в периодични издания, при което обръща внимание предимно на първата и последната част на работите – постановката на задачата и достигнатите резултати и обяснява: „Трябва да знам над какво е работил авторът, а как е постигнал резултата аз знам по-добре.“ Този негов навик се запазва до края на кариерата му.

Първата научна работа на Ландау е публикувана през 1926 г. в „*Zeitschrift für Physik*“ – „За теорията на спектрите на двуатомните молекули“, посветена на принципни въпроси на квантовата механика.

Трябва да отбележим, че това е времето на създаване на теорията и много физици са проявявали научен интерес към темата – времето, по което са организирани т. нар. „Солвеевски конгреси“. На тези конгреси е имало множество дискусии между учени като А. Айнщайн и Н. Бор, като в тези спорове и представяни мислени експерименти са изяснени голяма част от особеностите на квантовия свят, както и интерпретацията на квантовата механика като цяло. През 1927 г. той въвежда понятието „матрица на плътността“ за пълно квантово-механично описание на системи, които са част от по-голяма система. Това понятие става основно в квантовата статистика. Статията представлява развитие на идеите на Шрьодингер, Хайзенберг и други основатели на квантовата механика. Пред свои студенти Ландау е казвал многократно: „*Когато се запознах с Общата теория на относителността, бях потресен от красотата ѝ. Статиите на Хайзенберг и Шрьодингер предизвикваха*

моето възхищение, никога по-рано с такава яснота не съм усещал силата на човешкия гений“.



Лев Ландау на международна конференция с участието на много от най-известните физици по това време.

През 1926 година Лев Давидович Ландау участва на 5-ия конгрес на руските физици, където представя два свои доклада още преди защитата на дипломната си работа, което прави през 1927 г. След това постъпва като аспирант в Ленинградския физико-технически институт. През следващата 1928 г. отново участва в конгрес, 6-ти по ред, на руските физици, в който участват много чуждестранни гости – учени като Н. Бор, П. Дирак, П. Дебай, М. Брилюен. Като един от най-добрите аспиранти, след този конгрес Ландау е изпратен на специализация в чужбина, като в

следващите години (до 1931 г.) последователно е в Берлин, Гьотинген (където работи Макс Борн), а после и в Лайпциг при един от създателите на квантовата механика – Хайзенберг. В началото на 1930 г. отива в Цюрих, а по-късно същата година – и в Копенхаген, в института на Нилс Бор. По време на тази специализация Лев Давидович има щастието да работи с най-известните физици по това време.

При заминаването от Русия Ландау говори свободно немски и френски, но не и английски език, но тъй-като трябва да отиде в Англия – Кеймбридж, за две-три седмици с упорит труд се научава да чете и разговаря на английски. В Кеймбридж той се запознава с още един от известните физици на това време – Пьотр Капица (също съветски физик), работел по това време в Кавендишката лаборатория. По време на този престой Ландау работи върху темите за магнитните свойства на свободните електрони и релативистката квантова механика, като през 1930 г. създава и теорията на електронния диамагнетизъм (известен още като „диамагнетизъм на Ландау“). През 1932 г. Ландау отива в Харков и става ръководител на теоретичния отдел на Украинския физико-технически институт. През 1934 г. получава степента „доктор на физико-математическите науки“ без защита на дисертация и през следващата година е избран за професор. По време на престоя и работата си в Харков, Ландау чете курсове по теоретична физика за експериментатори, както и води лекционните курсове на студентите от няколко факултета – първоначално е в Катедрата по теоретична физика, а по-късно в тази по обща физика. Със студентите през семестъра води много разговори по време на почивките,

обяснява допълнителни въпроси, като при това се обсъждат не само физични проблеми; но още през първата сесия се променя ситуацията – почти половината студенти не са могли да преминат в по-горния четвърти курс, тъй като не са си взели успешно изпита по физика. Това става причина за разговори с ръководството на университета, а по-късно Ландау е принуден да напусне. В голяма част от тези разговори Лев Леонидович е убеждавал ръководството в необходимостта физикът да владее много добре математиката. *„Програмата по физика в този университет е препълнена с ненужни теми като например историческото въведение, а между тях има немного полезни сведения, които е абсолютно необходимо да се знаят като например ред и интеграл на Фурие“*. Изучаването на всяко ново нещо Ландау е свързвал още от студентските си години с направата на класификация. Любопитна в това отношение е такава класификация на физиците теоретици, направена от него в периода, когато работи в Харков. Те са разделени в няколко класа, към нулевият клас са причислени създателите на фундаментални теории като Нютон, Максвел, Лоренц, Айнщайн, Планк, Хайзенберг, Шрьодингер. В следващия първи клас са учените, създали някакъв раздел на физична теория като Лагранж, Хамилтън и Якоби в механиката, към втория клас принадлежат физиците, разработващи определени проблеми, към третия – открили или обяснили физично явление и към четвъртия клас – онези, работещи над частни въпроси от физиката.

През 1937 г. Ландау се премества в Москва по покана на Капица като ръководител на Секцията по теоретична физика на Института за физични проблеми. По това време разработва общата теория на фазовите преходи от II род, теорията на междинните състояния на свръхпроводниците и статистическата теория на атомните ядра.

През 1938 г. Ландау е арестуван като германски шпионин след клеветническа публикация във всекидневник и в продължение на почти два месеца е в ареста. Освободен е само благодарение на намесата на Пьотр Капица, който пише писмо до самия Сталин, в което се застъпва за Лев Давидович Ландау (след като вече е писал такива писма до ръководителя на НКВД – Берия, но без положителен отговор). Писмо в негова защита изпраща и Нилс Бор.

По времето когато Ландау отива в института в Москва, П. Капица вече е открил свръхфлуидността на хелия при температура 2,17 К. По същото време от правителството на СССР искат Капица да се върне в страната си (той работи в Англия, има на свое разположение лаборатория и много сътрудници), и той решава да помогне на страната си и да се върне в СССР – Москва, за да основе там добре работеща физична лаборатория, една от най-модерните за времето си. При това положение е било необходимо, за да продължи изследванията си, да се премести цялата апаратура от лабораторията му и това става със знанието и съгласието на Ръдърфорд. Апаратурата е купена от съ-

ветското правителство за огромна сума за времето си – 30 хиляди англ. паунда. В същото време сътрудниците на Ръдърфорд са били извънредно изненадани и учудени от факта, че е разрешил закупуването на апаратурата, за която той самият е твърдял, че няма да напусне лабораториите в Англия на никаква цена.

През 1945 г. Ландау разработва теория на ударните вълни на голямо разстояние, а през следващата – 1946 г. определя затихването на трептенията в електронна плазма. През 1950 г. заедно с В. Гинзбург създава теория на свръхпроводимостта. През 1956 г. въвежда понятието „комбинирана четност“ и разработва теория на двукомпонентното неутрино (това е друга област на физиката, в която работи – физиката на елементарните частици).

През ноември 1946 г. е избран направо академик в Отделението по физико-математически науки (физика) на *АН СССР (Академия Наук СССР)*. От 1955 г. до края на живота си той преподава квантова теория и електродинамика във Физическия факултет на *МГУ (Московский Государственный Университет)*. В никакъв случай не трябва да се пропуска и фактът, че е създател на фундаментален курс по теоретична физика в периода от 1940 до 1965 г. Този курс е в съавторство с Лифшиц и е издаден в 10 тома. След пребиваването си в много от научните центрове на Европа Ландау се замисля да създаде своя школа по теоретична физика, която да събере всичко хубаво и полезно, което е придобил като опит в това отношение и реализацията на проекта му започва около средата на 30-те години на XX век. Важна стъпка за това е било и създаването на много обширен и подробен курс по теоретична физика. Лев Ландау предлага на М. Бронщайн да е негов съавтор, но обективни причини не позволяват това да се случи. С голяма прецизност избира най-добрите студенти и аспиранти и след многогодишни усилия създава една от най-добрите теоретични школи в света.



Посланикът на Швеция връчва Нобеловата награда на Л. Ландау

През 1962 г. недалеч от Москва претърпява автомобилна катастрофа. Много сериозно ранен, той прекарва почти два месеца в кома. Ландау не се възстановява напълно след катастрофата и прекратява своята работа. Умира на 7 януари 1968 година. Няколко часа преди смъртта си той казва: „*Все пак преживях хубав живот. Винаги успявах във всичко*“.

Нобелова награда получава през 1962 година и поради здравословното си състояние не може да я получи в Швеция. Наградата му е връчена от посланика на Швеция в Москва в болницата, където се възстано-

вява след катастрофата. В аргументацията на Нобеловия комитет се казва: „за неговите новаторски теории на кондензираната материя, по-специално на течния хелий...“. На церемонията в Хелзинки при обявяване на наградите е присъствала съпругата му.

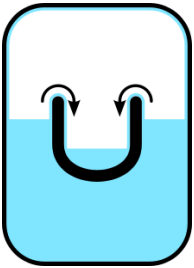
Лев Ландау е лауреат и на много други награди. През 1965 г. бивши студенти и колеги на Ландау основават институт по теоретична физика на негово име в гр. Черногловка, близо до Москва. На негово име са наречени малка планета (2142 *Landau*) и лунен кратер. От 1945 до 1953 г. Ландау участва в Съветския атомен проект и е удостоен за това с три Сталински премии, орден „Ленин“, както и звание „Герой на социалистическия труд“. По случай 100 години от рождението му Централната банка на Русия издава паметна сребърна монета от 2 рубли. Ландау получава и премия „Ф. Лондон“ (1960, САЩ) и медал „Макс Планк“ (1960, ФРГ).



Паметната монета от 2008 г.

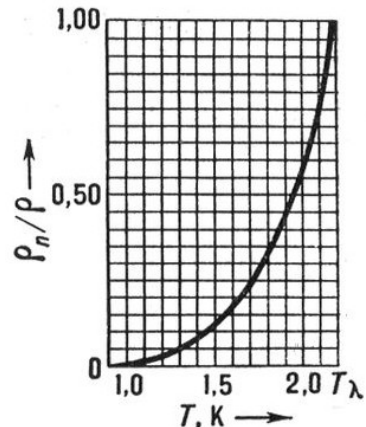
Искам да се спра накратко само на някои от темите, по които работи Ландау. Разглеждането на всички тематики, по които е работил, не може да е в такова представяне, тъй като по обем представлява един немалък учебник.

Свръхфлуидност и свръхпроводимост



Свръхфлуидна течност

Свръхфлуидността е способността на веществата да протичат през тесни процепи и капилари без триене, което възниква при понижаване на температурата близо до абсолютната нула, и при което веществата преминават в особено състояние на квантова течност (ТД фаза). Явлението е открито експериментално от Капица през 1938 г. при течен хелий II, намиращ се под т.нар. λ -точка ($T=2.17$ K). За това откритие той получава през 1978 г. Нобелова награда. При достигане на λ -точката хелият преминава от състояние He I в състояние He II, т.е. претърпява фазов преход. Явлението свръхфлуидност е наблюдавано по-късно и при други системи като разреждени атомни бозе-кондензати. Според теорията, развита от Ландау, течният хелий се състои от две взаимопроникващи течности: свръхтечна и нормална компонента. Първата компонента се намира в квантово състояние на бозе-кондензат. Тя се



Отношение на плътността на нормалната и свръхфлуидната компонента за Хелий II

движи без триене и не участва в преноса на енергия (има нулева ентропия и нулев вискозитет). Нормалната компонента се движи с триене и участва в преноса на енергия. В теорията си Ландау предполага, че при нулева температура плътността на нормалната компонента е нула и се увеличава, като при достигане на λ -точката тя става равна на общата плътност и хелият престава да е в състояние на свръхфлуид.

Теория на Ландау за фазовите преходи от втори род (1937 г.)

Това е основна теория за този вид преходи. За преходите от втори род е характерно, че при преминаването от първоначалната в крайната фаза има промяна на симетрията, т.е. имаме две фази с различни симетрии. Такъв преход обикновено не става скокообразно, както при преход от течно в твърдо състояние (например при високи температури кристалът на BaTiO_3 има кубична симетрия, а при понижаване на температурата се достига една гранична стойност, при която симетрията става от кубична тетрагонална), при това не се наблюдава никакво изменение в състоянието на тялото. Възможен е фазов преход от втори род без да се променя симетрията на кристалната решетка, такъв пример е преход на метал от нормално в свръхпроводящо състояние или изменение на симетрията на разположението на елементарните магнитни моменти в тялото за феромагнитни или антиферомагнитни вещества при точката на Кюри T_c .

Теорията се основава на предположението, че свободната енергия на всяка система трябва да се подчинява на две условия: 1) свободната енергия на системата е аналитична функция; 2) хамилтонианът има симетрична форма (второто условие произтича от първото).

Свободната енергия на системата в модела на Изинг се записва като:

$$F = r \psi^2 + s \psi^4 + H \psi, \quad (1)$$

където $r = r_0(T - T_c)$ е параметър, зависещ от температурата T , а ψ е пълната намагнитеност или още параметър на подредеността:

$$\psi = \pm \sqrt{\frac{-r_0(T - T_c)}{2s}} \quad (2)$$

В теорията се доказва, че при състояния с различна симетрия при разлагането на функцията F по степени на ψ , първата степен е тъждествено равна на 0. За да е точката на прехода в устойчиво състояние, четвъртата степен трябва да има положителен коефициент. Вследствие на такива предположения могат да се определят функции като ентропията на системата например, както и изменението на изохорния и изобарния топлинни капацитети C_V и C_P . В теорията се изследва и влиянието на външни полета (без да се указва конкретния им вид) върху фазовите преходи от II род, флуктуациите на параметър-

ра на подредеността, както и фазовите преходи в двумерна решетка. Параметърът на подредеността s е въведен за пръв път в теорията на Ландау. По това време е експериментално известно, че кривата на прехода „течност-газ“ и кривата на намагнитване имат един и същи вид, което е свързано с универсалността на законите във физиката и води до предположението, че двете системи притежават еднакви симетрии.

Физика на елементарните частици

Темата, на която ще обърнем внимание, е разработена през 50-те години на XX век и е свързана с нарушаването на четността при слабите взаимодействия. Четността (P) е една от квантовомеханичните величини, характеризиращи микрочастиците. Състоянието на частицата се описва от вълновата функция $\Psi(x,y,z)$. При инверсия на пространството (т.е. при преход на координатната система (КС) от вида $x' = -x$, $y' = -y$, $z' = -z$ или преход от дясноориентирана КС към лявоориентирана КС) и последваща още една инверсия, вълновата функция трябва да съвпада с първоначалната. Операцията инверсия трябва да оставя функцията неизменна (положителна четност за частиците, при които е изпълнено това, $P = +1$) или да променя знака ѝ (отрицателна четност, $P = -1$). Четността на система от частици се пресмята като сумата от четностите на отделните частици. Запазването ѝ означава инвариантност на природните закони по отношение преминаването от лява в дясна КС и обратно.

До 1956 г. не е имало никакви съмнения, че законът за запазване на четността може да се нарушава при какъвто и да е вид взаимодействие. През същата 1956 г. Цунг Дао Ли и Чен Нин Янг предполагат, че може да има нарушаване на четността при слабите взаимодействия. По това време са известни два мезона – τ и θ , еднакви във всички свои характеристики, но различаващи се по начина си на разпадане – τ -мезонът се разпада на три π -мезона, а θ – на два. Можело да се предположи, че това е една и съща частица, разпадаща се по два различни начина, но едно такова предположение е в противоречие със закона за съхранение на четността, защото π -мезонът има четност $P = -1$ и системата от два такива ще е с четност $P = (-1)^2 = 1$, а такава с три ще е с четност $P = (-1)^3 = -1$. С времето е установено, че τ и θ -мезоните са всъщност една и съща частица, наричана днес K^0 мезон.

Ли и Янг предлагат опит за проверка на четността, реализиран от Циен Син Ву (известна като „мадам Ву“) и сътрудници в Колумбийския университет. Същността на опита се състои в това, че ако „ляво“ и „дясно“ са неразличими в природата, то при един вид слабо взаимодействие, каквото е β -разпадането, излитащите електрони при реакцията, имащи посока, съвпадаща с посоката на спина на ядрата, и тези в обратна посока ще имат равен брой, в противен случай – „ляво“ и „дясно“ не са равностойни и има нарушение на закона за запазване на четността. В опитите на мадам Ву с помощта на маг-

нитно поле спиновите на ядрата на ^{60}Co са ориентирани в едно направление, като при това са и охладени до температура почти 0 К, за да не пречи топлинното движение. Измерена е значителна разлика в броя на β -електроните, излъчени в различните посоки – по-голям е този в посока, обратна на направлението на ядрените спинове. За обяснение на получените резултати, независимо едни от други Ландау и Ли и Янг представят хипотезата, че слабите взаимодействия са инвариантни при по-сложни замени, изразяващи се в едновременната инверсия на пространството и замяната на частицата с античастица. Така при огледално отражение образът няма да се различава от самата система-първообраз. За означаване на операцията инверсия обикновено се използва символът Р, а за замяната на частицата с античастица – С, по този начин инвариантност по отношение на комбинираната инверсия се означава като СР-инвариантност. За изследванията си в тази област Ли и Янг (без Ландау) получават Нобелова награда.

В настоящото представяне се спрях само на малка част от работите на Ландау, тъй като е трудно да се обхванат всичките, като в същото време се надявам, че е получена обща представа за неговата огромна научна дейност. В края искам отново да подчертая, че тя не е единственото дело, с което трябва да се свързва името му – не трябва да се забравя преподавателската му работа и сериозните усилия за изграждане на добра теоретична съветска школа по физика, която е световно призната и до днес.

И накрая да завършим с думите на Лев Ландау, които имат валидност навсякъде и във всички времена: *„Всеки има достатъчно сила, за да живее достойно. И всички разговори за това, колко трудни са сега времената, са само един хитроумен начин за оправдание на бездействието, леността и други причини за отчаяние. Необходима е работа, и тогава, току виж, и времената ще се променят“*.

Литература

- [1] М. Бесараб, „Ландау – страници жизни“, Москва 1983 г.
- [2] Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, „Теоретическая физика“ т. 5 Статистическая физика, изд. „Наука“, Москва, 1976 г.
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Lev_Landau

LEV DAVIDOVICH LANDAU: „DISCOVERING THE SECRETS OF NATURE – THE GREATEST HUMAN HAPPINESS“

Nevena Kojuharova

An overview of the life and work of Lev Davidovich Landau – one of the most prominent Russian theoretical physicist, the founder of one of the still leading theoretical schools is presented. The 110th anniversary of his birth is a particular occasion to tell about the work of this famous scientist of the XX century.

Харесайте страницата на списанието във facebook

<https://www.facebook.com/world.of.physics.bg/>

РЕВОЛЮЦИЯТА НА КОПЕРНИК

Христо Астарджиев

Предисловие: Европа през XVI век

През XVI век в Европа живеят 111 милиона души, а в света – 580 милиона. Средната продължителност на живота е около 40 години. Най-голямата държава е Иберийската уния с население 29 милиона души. Хората пътуват основно на кон или с карета и изминават около 65 km на ден. Най-далечният космически обект от Слънчевата система, наблюдаван от Земята, е планетата Юпитер, която се вижда с просто око и се намира на разстояние 35 светлинни минути.

Революцията на Коперник**1. Определение. Начало и край**

Това е светът, в който живее Николай Коперник, роден през 1473 г. в Торун – тогава свободен град от Ханзейската лига, днес град в Република Полша, който идеите на Коперник радикално ще променят. Двигателят на промяната има богато образование и интереси – той е лекар, католически свещеник, юрист, икономист, администратор, дипломат, математик и астроном.

Революцията в науката, която Коперник започва, дава вярно описание на устройството на Слънчевата система, оборва популярната геоцентрична система на Клавдий Птолемей, наследена от Античността, и предизвиква големи промени в науката и в обществото. (За сравнение на геоцентричната и хелиоцентричната система виж Приложение №1).

Начало на революцията на Коперник е 1543 г., когато е публикуван неговият труд „За въртенето на небесните сфери“ – на латински: „*De Revolutionibus Orbium Coelestium*“, където е изложена идеята, че Земята обикаля около Слънцето, а то се намира в центъра на Слънчевата система. Краят на революцията на Коперник настъпва през 1687 г., когато Исак Нютон публикува „Математически начала на натуралната философията“ – на латински: „*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*“ – където са обяснени трите принципа на механиката, която днес наричаме класическа, за да не се бърка с релативистката и квантовата механика.

2. Участници. Принос

Николай Коперник излага правилна теория за устройството на Слънчевата система – често наричана в по-стари текстове „теория за строежа на Вселената“ или за „структурата на Света“ – и изчислява разстоянията от звездата до известните през XVI век пет планети. Освен това той въвежда

нови понятия, които описват околослънчевите орбити и разстоянията в астрономията. Такива са:

- Перихелий – най-близката до Слънцето точка от орбитата на тяло, което обикаля в орбита около Слънцето.
- Афелий – най-отдалечената от Слънцето точка от орбитата на тяло, което обикаля в орбита около Слънцето, и
- Астрономическа единица (АЕ, международен символ: AU) – основна единица за дължина в Слънчевата система. Една астрономическа единица е равна на средното разстояние от Земята до Слънцето или на дължината на голямата полуос на земната орбита (приблизително 150 милиона километра).

Джордано Бруно прегръща предложения от Коперник хелиоцентричен модел. В негов прочит идеите, изложени в „За въртенето“, не са просто практическа хипотеза за изчисляване на положенията на познатите планети, а описание на реалните им движения. Бруно е войнствен атеист. Той пътува из Европа и изнася лекции, в които критикува Църквата и популяризира хелиоцентричната система. На този етап доказателства за правотата на Коперниковия модел липсват, затова Бруно с основание влиза в историята на науката като „апостол на хелиоцентризма“.

3. Ранни доказателства

Най-ранните косвени доказателства дава друг италианец, който подобно на Бруно, е обвинен в разпространение на еретични идеи от Църквата. **Галилео Галилей** усъвършенства изобретения наскоро в Холандия телескоп или „зрителна тръба“ и публикува видяното в едни от първите текстове по наблюдателна астрономия. Първото доказателство идва от вътрешните планети. Галилей наблюдава и описва фазите на Венера. Наблюденията му показват, че Венера обикаля около Слънцето и по косвен път потвърждават хелиоцентричната теория. (За сравнение на фазите на Венера в геоцентричната и в хелиоцентричната система, виж Приложение № 2). Второто доказателство идва от външните планети: „Нашите сетива показват четири светила, въртящи се около Юпитер, както Луната около Земята, като в същото време всичките заедно с Юпитер в течение на 12 години описват голям кръг около Слънцето“. Неточностите и пропуските в ранната версия на хелиоцентричния модел са отстранени от немския математик **Йохан Кеплер** (1571 – 1630), който отговаря на въпроса как се движат планетите. Кеплер решава основната задача на позиционната астрономия – вероятно затова Карл Сейгън на шега го нарича „последният астролог“ – като дава пълно и вярно описание на формата на орбитите и движението на планетите около Слънцето. Той използва данните от прецизните наблюдения на датчанина **Тихо Брахе**, събирани в продължение на 20 години, за да коригира и усъвършенства хелиоцентричната система: орбитите на планетите са елипси с много малък ексцентритет, а не ок-

ръжности, като Слънцето е в единия от фокусите на елипсата; орбиталните скорости са неравномерни, като за равни интервали от време радиус-векторите на планетите описват равни по големина площи от орбитите им.

Последната голяма загадка е защо планетите се движат по вече установения начин. Тя е решена от **Исак Нютон** (1642 – 1727), който обяснява математически движението на планетите и причините за него. Според принципите на механиката, която сега наричаме Нютонова, всички движения – с изключение на праволинейното равномерно – се извършват в резултат от взаимодействие между тела, а количествена мярка на това взаимодействие са силите. Дефинирани са физическите величини маса, импулс, сила и ускорение. Изведен е законът за всеобщото привличане. Поставено е началото на съвременната физика.

Научната революция, започната от Коперник 200 години по-рано, приключва. Натуралната философия се превръща в наука. Учените имат валиден модел за устройството на Слънчевата система. През следващите 300 години този модел е основата на засилващото се разбиране на хората за познаваемостта на Вселена.

4. По-късни доказателства: аберация и паралакс

През XVIII век идва първото пряко доказателство. Годишната аберация е изменение на видимото положение на наблюдавана звезда за една земна година или за един орбитален период (времето необходимо на планетата, за да извърши пълно завъртане по своята орбита), поради крайната скорост на разпространение на светлината и движението на наземен наблюдател, заедно със Земята, по нейната орбита около Слънцето. Същото явление създава илюзията, че звездите се движат в нощното небе. То е открито и обяснено от англичанина **Джеймс Бродли**, който измерва аберационния ъгъл (20,49") и пресмята орбиталната скорост на Земята (29,80 km/s).

Хелиоцентризмът предполага наличието на видимо изместване на близки звезди спрямо далечните звезди при наблюдения, направени в две противоположни точки от земната орбита. Изместването се нарича годишен звезден паралакс и представлява много малък ъгъл, с размер части от дъговата секунда. Всички паралакси са по-малки от 1,0". Първите успешни измервания са направени през 19 век от немца **Фридрих Бесел** и руснака **Фридрих Струве**. Инструменти с необходимата точност преди това няма.

Послеслов: Европа през XXI век

През XXI век в Европа живеят 740 милиона души, а в света – 7 милиарда. Средната продължителност на живота е около 80 години. Най-голямата „държава“ е Европейският съюз с население 510 милиона души. Хората пътуват основно с автомобил и изминават около 800 km на ден. Най-далечният космически обект наблюдаван от Земята с космическия телескоп „Хъбъл“, е галактиката GN-z11, която се намира на разстояние 10 гигапарсека или 32

милиарда светлинни години (светлината от нея е излъчена преди 13,4 милиарда години).

Приложение 1.

Сравнение на геоцентричната и хелиоцентричната система

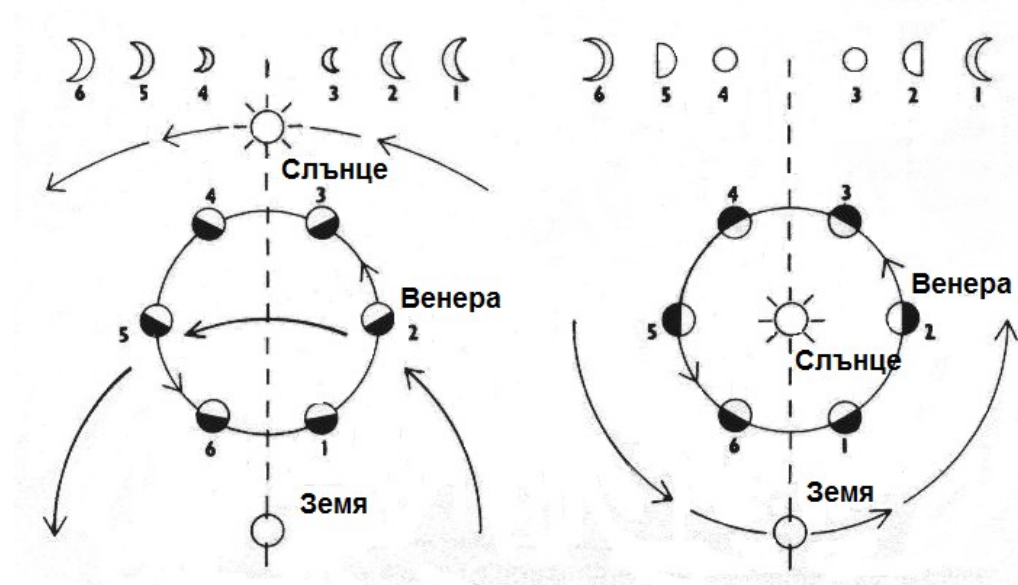


Източник: *ThingLink*,

<https://www.thinglink.com/scene/971752793196986371>

Приложение 2.

Фази на Венера според геоцентричната и хелиоцентричната система



Източник: *Telescope 1609*, <http://www.telescope1609.com/galileo.htm>

Литература

- Максим Максимов, Основи на физиката, Булвест 2000, 2000
Георги Иванов, Кратка история на астрономията, УИ „Св. Климент Охридски“, 1998
Michael Zeilik, Elske v. P. Smith, Introductory Astronomy and Astrophysics, second ed., Saunders College Publishing, 1987
Copernican Revolution, Wikipedia, 2018
https://en.wikipedia.org/wiki/Copernican_Revolution
The Science Book, DK Publishing, 2015
Holli Riebeek, Planetary Motion: The History of an Idea That Launched the Scientific Revolution, NASA, 2009,
<https://earthobservatory.nasa.gov/Features/OrbitsHistory>
World population, Wikipedia, 2018
https://en.wikipedia.org/wiki/World_population#Past_population

THE COPERNICAN REVOLUTION

Christo Astardzhiev

The revolution in science, which Copernicus begins, gives a true description of the structure of the solar system, refutes Claudius Ptolemy's popular geocentric system, inherited from the Antiquity, and causes great changes in science and society. The evidences – direct and indirect – that prove the heliocentric model of planetary motion are considered.

РИЧАРД ФАЙНМАН (II ЧАСТ)

Подбор и превод: Светослав Рашев

Годините в Калтек

Личен и политически живот

Файнман прекарал няколко седмици в Рио де Жанейро през юли 1949 г. и довел оттам една жена на име Клотилда от Копакабана, която живяла с него в Итака известно време. Освен студеното време имало и друг проблем – Сту-



дената война. Съветският съюз детонира своята първа атомна бомба през 1949 г., което предизвикало антикомунистическа истерия в САЩ. Фукс бил арестуван като съветски шпионин през 1950 г., а ФБР разпитвало Бете относно лоялността на Файнман. Физикът Дейвид Бом бил арестуван на 4 декември 1950 г. и емигрирал в Бразилия през октомври 1951 г. Една приятелка казала на Файнман, че и той трябвало да помисли да се премести в Южна Америка. Тъй като му предстояла сабатична година през 1951 – 1952 г., той решил да я прекара в Бразилия, където преподавал в *Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas*. В Бразилия Файнман бил особено впечатлен от музиката сам-

ба и се научил да свири на метален ударен инструмент, *frigideira*. Той бил ентусиазиран аматьорски изпълнител на барабани бонго и често свирел на тях в оркестрите при изпълнение на мюзикъли. Прекарвал много време заедно със своя добър приятел Бом, но Бом не успял да го убеди да се заеме с разработването на своите идеи за физиката.

Файнман повече не се завърнал в Корнел. Бачър, който бил съдействал за привличането на Файнман в Корнел, сега го примамил в Калифорнийския технологичен институт (Калтек). Част от уговорката била, че Файнман можел да прекара първата си година като сабатична (1951 – 1952) в Бразилия. По това време той бил силно влюбен в Мери Луиз Бел от Неодеша, Канзас. Те се били срещнали в една кафетерия в Корнел, където тя изучавала историята на мексиканското изкуство и текстил. По-късно тя го последвала в Калтек, където той изнесъл лекция. Докато бил в Бразилия, тя преподавала по история на вътрешната архитектура и обзавеждане в Мичиганския държавен университет. Той ѝ направил предложение по пощата от Рио де Жанейро и те се оженили в Бойси, Айдахо, на 28 юни 1952 г., скоро след неговото завръщане. Те често се карали и тя се страхувала от неговия буен нрав. Политически-

те им убеждения силно се различавали; докато той се регистрирал и гласувал като републиканец, тя била по-консервативна и нейното становище по отношение на секретното изслушване на Опенхайнер през 1954 г.: „Където има пушек, там трябва да има и огън“, го обидило. Те се разделили на 20 май 1956 г. Неокончателното съдебно решение за развода, което било произнесено на 19 юни 1956 г., се основавало на „крайна жестокост“. Разводът бил финализиран на 5 май 1958 г.

„Той започва да се занимава с изчисления на ум в момента, когато се събуди. Той прави изчисления, докато кара колата си, докато седи в дневната и докато лежи в леглото си през нощта“ (Мери Луиз Бел, оплаквания по развода).

По време на кризата „Спутник“ от 1957 г. интересът на американското правителство към науката се засилил за известно време. Файнман бил обсъждан като възможна кандидатура за Научния консултативен комитет към Президента, но не бил назначен. По това време ФБР разпитвало някаква жена, близка до Файнман, вероятно Мери Лу, която изпратила писмено становище до Дж. Едгар Хувър на 8 август 1958 г.:

„Аз не зная точно, но вярвам, че Ричард Файнман е или комунист, или силно прокомунистически настроен – и като такъв представлява определено риск за сигурността. Този човек по мое мнение е една изключително сложна и опасна личност, прекалено опасна личност, за да ѝ се поверят обществено значими дела... По въпросите, които го интересуват, Ричард Файнман е, вярвам, изключително умен – всъщност гений – и освен това, смятам аз, напълно безскрупулен, необременен от морал, етика или религия – и няма да се спре пред абсолютно нищо, за да осъществи целите си“.

Въпреки това, правителството изпратило Файнман в Женева за Конференцията „Атомът за мир“ през септември 1958 г. На брега на Женевското езеро той срещнал Гуинит Хауърт, която била от Рипонден, Йоркшър, и работела в Швейцария по поръчки (*au pair*). Любовният живот на Файнман бил много бурен след развода; неговата дотогавашна приятелка била изчезнала, отнасяйки със себе си медала му на името на Алберт Айнщайн и по съвета на предишната му приятелка се престорила на бременна и го изнудила да заплати аборт, а парите използвала за да си купи мебели. Когато Файнман разбрал, че на Хауърт ѝ плащат само \$25 на месец, той ѝ предложил \$20 на седмица, за да бъде негова прислужница, която да живее при него. Вземайки предвид, че такова споразумение е формално незаконно, приятелят на Файнман, Матю Сандс, всъщност служел като формален спонсор. Хауърт му съобщила, че вече има други двама приятели, но все пак решила да се отзове на предложението на Файнман и пристигнала в Алтадена, Калифорния, през юни 1959 г. Въпреки че тя се срещала и с други мъже, Файнман ѝ направил брачно предложение през пролетта на 1960 г. в хотел „Хътингтън“ в Пасаде-

на. През 1962 г. им се родил син, Карл, а през 1968 г. си осиновили и дъщеря, Мишел. Освен къщата си в Алтадена, те имали и вила на брега в Баха, Калифорния (Мексико), купена с парите от Нобеловата награда на Файнман.

Файнман пробвал марихуана и кетамини в прочутите контейнери за сензорна изолация на Джон Лили като средство за изучаване на своето съзнание. Отказал се от алкохола, когато почувствал ранни признаци на алкохолизъм, понеже не искал да прави нещо, което можело да увреди мозъка му. Въпреки любопитството си към халюцинациите, той не проявил желание да експериментира с *LSD*.

Физика

В Калтек Файнман изследвал физиката на свръхфлуидността на свръхчист студен хелий, когато хелият изглежда, че демонстрира пълна липса на вискозност при своето протичане. Файнман измислил квантовомеханично обяснение за теорията на свръхфлуидността на съветския физик Лев Ландау. Прилагайки уравнението на Шрьодингер към този въпрос, той показал, че свръхфлуидите притежават квантовомеханично поведение, което се наблюдава на макроскопско ниво. Това му помогнало да анализира и проблема за свръхпроводимостта, но решението не му се удало. Този проблем бил решен в БКШ теорията на свръхпроводимостта, предложена от Джон Бардийн, Леон Найл Купър и Джон Роберт Шрифър.



Ричард Файнман в имението Роберт Трийт Пейн, в Уолтъм, Масачузетс през 1984 г.

Заедно с Мъри Гел-Ман Файнман разработил модел на слабия разпад, който показал, че действащото взаимодействие при този процес е комбинация от векторни и аксиални токове (пример за слаб разпад е разпадът на един неутрон на електрон, протон и антинейтрино). Въпреки че Е. Ц. Джордж Съдършан и Роберт Маршак развили подобна теория почти едновременно, сътрудничеството на Файнман с Мъри Гел-Ман се приемало за изключително плодотворно, защото в тяхната теория слабото взаимодействие се описвало много сполучливо с помощта на векторните и аксиалните токове. Поради това то свързвало теорията на бета-разпада на Енрико Ферми от 1933 г. с обяснението на нарушената четност.

С помощта на своите диаграми за няколко частици, взаимодействащи си в пространство-времето, Файнман можел да моделира цялата физика в термини на спиновете на тези частици и обхвата на действие на фундаменталните сили. Файнман се опитал да обясни и силните взаимодействия, определящи разсейването на нуклоните, в рамките на партонния модел. Партонният модел се появил като допълнение на кварковия модел, разработен от Гел-Ман. Връзката между двата модела не била много ясна. Гел-Ман се отнасял подигравателно към Файнмановите партони като към ненужна превземка. В средата на 1960-те години физиците вярвали, че кварките са само един изкуствен способ за класифициране на симетричните обозначения, а не реални частици; статистиката на частицата Омега-минус, когато тя се интерпретира като три идентични страни кوارка, свързани заедно, изглеждала невъзможна, ако кварките са реалност.

Експериментите по дълбоко нееластично разсейване в Националната ускорителна лаборатория *SLAC* от края на 1960-те показали, че нуклоните (протони и неутрони) съдържат точковидни частици, които разсейват електроните. Било естествено те да бъдат идентифицирани като кварки, но Файнмановия партонен модел се опитвал да интерпретира експерименталните данни без да се въвеждат допълнителни хипотези. Например данните показвали, че около 45% от импулса се пада на електрически неутрални частици в нуклона. Тези електрически неутрални частици сега се смята, че са глюоните, които създават силите между кварките, и тяхното цветно квантово число с три стойности решава проблема за Омега-минус. Файнман не оспорвал кварковия модел; например, когато петият кварк бил открит през 1977 г., Файнман веднага отбелязал пред своите студенти, че неговото съществуване предполага и шести кварк, който бил открит едно десетилетие след неговата смърт.

След успеха на квантовата електродинамика, Файнман насочил своето внимание към квантовата гравитация. По аналогия с фотона, който има спин 1, той изследвал последствията от съществуването на свободно безмасово поле със спин 2 и извел полеовото уравнение на Айнщайн от Общата теория

на относителността, но и нещо повече. Изчислителната техника, която Файнманн открил и приложил към гравитацията – „призраци“, които са „частици“ във вътрешността на неговите диаграми и които имат „неправилно“ съотношение между спина и статистиката, се оказали безценни при обяснение на поведението на квантовата частица в теориите на Янг-Милс: например квантовата хромодинамика и електрослабата теория. Той работил върху всяка от четирите природни сили: електромагнетизъм, слабо взаимодействие, силно взаимодействие и гравитация. Джон и Мери Григън пишат в тяхната книга за Файнман: „Никой друг не е направил такива значими приноси към изучаването на всичките четири вида взаимодействие“.

Отчасти за да предизвика публичен интерес към постиженията на физиката, Файнман предложил две награди по \$1000 за две от най-големите предизвикателства в нанотехнологиите; едната била получена от Уилям МакЛилан, а другата от Том Нюман. Той също така бил един от първите учени, които съзрели възможността за създаване на квантови компютри. През годините 1984–86 г., той развил вариационен метод за приближено изчисляване на интеграли по траектории, което довело до създаването на мощен метод за превръщането на разходящите пертурбационни редове в сходящи редове със силно взаимодействие (вариационна пертурбационна теория) и, вследствие на това, към най-точното определяне на критичните експоненти, измерени при придружаващите експерименти.

Педагогическа дейност

В началото на 1960-те години Файнман приел едно предложение да „осъвремени“ преподаването на студентите в Калтек. След като посветил три години на тази задача, той написал серия от лекции, които впоследствие станали известни като Файнманови лекции по физика. На корицата на книгата той искал да се сложи снимка на барабан, поръсен с прах, който да онагледява формата на трептенията, но издателите оставили на корицата само червен фон, въпреки че все пак включили в предговора негова снимка как свири на барабан.

Файнмановите лекции по физика ангажирали и двама други физици – Роберт Б. Лейтън и Матю Сандс – като частични съавтори в продължение на няколко години. Макар тези книги и да не били възприети от университетите като официални учебници, те продължават да се продават добре и широко да се използват, защото предоставят възможност за едно по-добро разбиране на физиката. Много от тези лекции, както и отделни части от тях, били издадени като отделни книги, като например *Характерът на физичните закони*, *КЕД: Странната теория на светлината и материята*, *Статистическа механика*, *Лекции върху гравитацията* и *Файнманови лекции върху компютърните изчисления*.



Файнмановото отделение в книжарницата на Калтек

Файнман писал за своя опит, придобит при преподаването на студенти в Бразилия. Учебните привички на студентите, както и учебниците на португалски език, били толкова лоши, че по негово мнение въобще не се стигало до изучаване на физиката. В края на годината той бил поканен да изнесе лекция върху натрупания опит от преподаването и той се съгласил при положение, че му се позволи да говори напълно откровенно.

Файнман се противопоставял на методите на механично запаметяване и повторение, които давали предпочитание на формата пред съдържанието. *Ясната мисъл* и *ясното представяне* били основни предпоставки за доброто обучение, според него. Било опасно дори да го попиташ нещо, ако не си подходящо подготвен, и той никога не забравял проявите на глупаците или симулантите. През 1964 г. той бил член на Калифорнийската държавна комисия по учебните програми, която също така отговаряла за одобряването на учебниците, които да се използват в училищата на Калифорния. Не бил впечатлен от това, което видял. Много от математичните текстове съдържали теми и понятия, които били от интерес само за чистите математици като част от „Новата математика“. Начинаещите ученици били запознавани с множества, но:

„Може би ще се изненадат много хора, които са изучавали тези учебници, когато открият, че символите $\cup$ или $\cap$, представляващи обединение или пресичане на две множества, или специалното използване на скобите $\{ \}$ и така нататък, както и всичките обозначения във връзка с множествата, които са представени в тези книги, почти никога не присъстват в текстовете по теоретична физика, инженерни науки, бизнес аритметика, компютърен дизайн или на други места, където се използва математика. Аз не виждам нужда и основание всичко това да се обяснява и да се преподава в училище. То не носи никаква полза при изразяването и не дава никакви предимства на изложението. Твърди се че внася яснота, но с каква цел?“.

През април 1966 г. Файнман направил обръщение пред Националната научна учителска асоциация, в което изказал съображения как учениците могат да бъдат накарани да мислят като учени, да бъдат непредубедени и, преди всичко, да се съмняват. В хода на лекцията той дал определение за наука, която, казал той: „се осъществява в няколко етапа. Възникване и еволюция на интелигентен живот на планетата Земя – същества, като например котките, които играят и се учат от опита си. Възникването на човека, който се научил да използва езика, за да предава знания от един индивид на друг, така че знанието да не се загуби, когато един човек умре. За нещастие, неверни знания можели да се предават също така, както и верните, поради което била нужна още една крачка. Галилей и други започнали да се съмняват в истинността на знанията, които се предавали и започнали да изследват *ab initio*, от опита, каква е истинската ситуация – и това било вече наука“.

През 1974 г. Файнман изнесъл встъпителното обръщение в Калтек по темата на *cargo cult science*, което приличало на наука, но всъщност било само псевдонаука, поради липсата на: „един вид научен интегритет, един принцип на научно мислене, което съответства на един вид крайна честност от страна на учения“. Той обяснил на завършващите студенти: „Ти не трябва да лъжеш себе си – а ти си най-лесният, когото можеш да излъжеш. Така че трябва да бъдеш много внимателен по този въпрос. Щом се научиш да не лъжеш себе си, вече става по-лесно да не лъжеш другите учени. Тогава вече е достатъчно да бъдеш честен по общоприетия начин“.

Файнман е бил ръководител на 31 докторанти.

Вие сигурно се шегувате, Господин Файнман

(*Surely You're Joking Mr. Feynman*)

През 1960-те години, Файнман започнал да се замисля за написването на една автобиография и в тази връзка започнал да дава интервюта на историци. През 1980-те години, работейки с Ралф Лейтън (сина на Роберт Лейтън), той записал някои пасажии на магнетофонни аудио ленти, които Роберт после превърнал в текстове. Книгата била публикувана през 1985 г. под заглавието *Вие сигурно се шегувате, господин Файнман* и станала бестселър. Тази публикация обаче предизвикала нова вълна от протести във връзка с отношението на Файнман към жените. По-рано имало протести по повод на неговия предположаем сексизъм още през 1968 г. и отново през 1972 г. Отрицателна роля изиграло и това, че на Джениджой Ла Бел (хубавата), която била назначена като първа жена професор в Калтек, ѝ било отказано назначение през 1974 г. Тя подала оплакване пред Комисията за равни възможности при наемане на работа, което било отсъдено във вреда на Калтек през 1977 г. с допълнение, че на нея ѝ се заплащало по-малко, отколкото на колегите мъже. Ла Бел накрая получила назначение през 1979 г. Много от колегите на Файн-

ман били учудени, че той взел нейната страна. Той се бил запознал с Ла Бел по-рано и не само я харесвал, но и ѝ се възхищавал.

Гел-Ман бил разстроен от описанието на Файнман в книгата му на съвместната им работа по слабото взаимодействие и заплашил да го съди, което довело до внасянето на корекции в по-късните издания на книгата. Този инцидент бил просто последната проява в продължаващите десетилетия лоши чувства между двамата учени. Гел-Ман често изразявал недоволство от вниманието, което получавал Файнман; той отбелязал: „Файнман беше голям учен, но той изразходваше голяма част от усилията си, за да генерира анекдоти за самия себе си“. Той отбелязал, че ексцентричностите на Файнман включвали отказ да си мие зъбите, като съветвал по националната телевизия и другите да постъпват така, въпреки че зъболекарите му били представили научни доказателства за ползата от миенето на зъбите.

Катастрофата с „Чалънджър“

Файнман изиграл важна роля в Президентската комисия Роджърс, която разследвала причините за катастрофата на космическата совалка „Чалънджър“. По време на предавано по телевизията изслушване, Файнман демонстрирал нагледно, че материалът, използван за О-пръстените на совалката, губел еластичността си при ниски температури, като притиснал проба от материала в скоба и го потопил в леденостудена вода. Комисията излязла с окончателно решение, че катастрофата е била предизвикана от първичния О-пръстен, който не е осигурил добро уплътняване при необичайно студеното време в Кейп Канаверал.



Катастрофата с космическата совалка „Чалънджър“ от 1986 г.

Файнман посветил втората половина от книгата си *Засяга ли те това, какво си мислят другите хора?* (*What Do You Care What Other People Think?*) на едно подробно и аналитично описание на своята работа в Комисията Роджърс, отклонявайки се от своя обичаен стил да използва кратки, леконравни

анекдоти в изложението. Разказът на Файнман разкрива липсата на взаимодействие между инженерите на НАСА и конкретните изпълнители, което било много по-сериозно, отколкото той очаквал. Неговите разговори с високопоставени администратори в НАСА разкрили съществуването на поразителни недоразумения по най-елементарни въпроси. Например мениджърите на НАСА твърдели, че съществува вероятност 1 на 100 000 за катастрофично произшествие на борда на совалката, докато Файнман разкрил, че собствениците инженери на НАСА оценявали вероятността за катастрофа на около 1 на 200. Той направил заключението, че оценката на мениджърите на НАСА била нереалистична и бил особено разгневен от факта, че НАСА използвала тази оценка, за да привлече Криста МакОулиф към програмата „Учители в Космоса“. В своя Апендикс към доклада на комисията (който бил включен едва след неговата заплаха, че иначе няма да подпише доклада), той предупреждавал: „За успеха на технологиите, реалността трябва да има приоритет пред пиара, защото човек не може да излъже природата“.

Признание и награди

Първото публично признание за работата на Файнман дошло през 1954 г., когато Люис Страус, председател на Комисията по атомна енергия – *Atomic Energy Commission (AEC)* го уведомила, че е спечелил Наградата „Алберт Айнщайн“, на стойност \$15 000, придружена със златен медал. Поради ролята на Страус в отнемането на разрешителното за достъп до секретна информация на Роберт Опенхаймер, Файнман отначало не бил склонен да приеме наградата. Но Изидор Исак Раби го предупредил: „Никога не бива да обръщаш нечия щедрост като меч срещу самия него. Всяка добродетел, която човек притежава, макар и да има много други пороци, не бива да бъде използвана като инструмент срещу него“. Тази първа награда била последвана от Наградата „Ърнест Орландо Лоурънс“ на АЕС за 1962 г. Швингер, Томонага и Файнман споделили Нобеловата награда по физика за 1965 г. „за тяхната фундаментална работа върху квантовата електродинамика, с решаващо значение за физиката на елементарните частици“. Той бил избран за чуждестранен член на Кралското Общество през 1965 г., получил медала Оерщед през 1972 г. и Националния медал за наука през 1979 г. Бил избран за член на Националната академия на науките, но впоследствие се отказал и понастоящем не фигурира в техните списъци.

Смърт

През 1978 г. Файнман потърсил медицинска помощ поради болки в корема и бил диагностициран с липосаркома, рядък вид рак. Хирурзите отстранили един тумор с големината на футболна топка, който бил разрушил единия бъбрек и далака му. Последващи операции били проведени през октомври 1986 г. и октомври 1987 г. Той бил отново хоспитализиран в Медицинс-

кия център *UCLA* на 3 февруари 1988 г. Пробита язва на дванадесетопръстника предизвикала бъбречна недостатъчност и той отказал да се подложи на диализа, която би продължила неговия живот с няколко месеца. Под грижите на съпругата Гуинит, сестра му Джоун и братовчедката Франсиз Лиуайн той починал на 15 февруари 1988 г.

Докато Файнман се приближавал към смъртта, веднъж той попитал Дани Хилис защо е толкова тъжен. Хилис отговорил, че смята, че Файнман скоро ще умре. Файнман казал, че това понякога го притеснявало и него самия, но добавил, че когато човек е остарял толкова много, колкото него и е разказал толкова много истории на толкова много хора, дори когато умре, той нямало напълно да изчезне.

Към края на своя живот, Файнман се опитал да посети руската провинция Тува, една мечта, осуетена от бюрократичните пречки по времето на студената война – писмото от Съветското правителство, което разрешавало пътуването, било получено едва един ден след като той починал. Дъщеря му Мишел по-късно осъществила това пътуване. Погребан бил в Гробището Маунтън Вю (*Mountain View Cemetery*) и Мавзолея в Алтадена. Последните му думи били: „Не бих искал да умирам още веднъж. Толкова е досадно“.

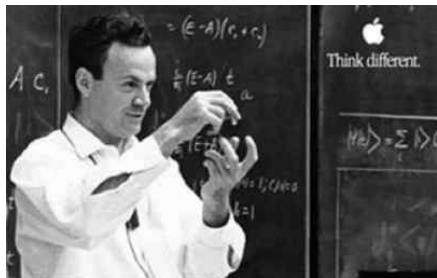
Публично завещание

Различни аспекти от живота на Файнман са били представяни в много медии. Фигурата на Файнман била в центъра на биографичния филм *Безкрайност* на Матю Бродерик от 1996 г. Актьорът Алън Алда поръчал на драматурга Питър Парнел да напише пиеса с две действащи лица за един хипотетичен ден от живота на Файнман, две години преди неговата смърт. Тази пиеса, *QED*, била играна премиерно в Марк Тейпър Форум в Лос Анджелис през 2001 г. и по-късно била представена във Вивиан Бомон Тиътър в Броудуей, като и в двете представления главната роля – на Файнман – се играела от Алда. Риъл Тайм Опера представила премиерно своя спектакъл *Файнман* на Камерния музикален фестивал в Норфолк през юни 2005 г. През 2011 г., Файнман бил обект на биографичен „графичен роман“, озаглавен просто *Файнман*, написан от Джим Оттавиани и илюстриран от Лиланд Мирик. През 2013 г. ролята на Файнман в Комисията Роджърс била драматизирана от БиБиСи в пиесата *Чалънджър*, с Уилям Хърт в ролята на Файнман.

Файнман е почитан по много различни начини. На 4 май 2005 г. Американската пощенска служба пуснала възпоменателна серия „Американски учени“ от четири пощенски марки на стойност 37 цента, в няколко конфигурации. Почетените учени били Ричард Файнман, Джон фон Нойман, Барбара МакКлинтък и Джошуа Уилърд Гибс. Марката на Файнман, с цвят



сепия, представлява фотография на около 30-годишния Файнман и осем малки Файнманови диаграми. Марките били оформени от Виктор Стабин под ръководството на Карл Т. Херман. Основното здание на компютърния отдел на Фермилаб е наречено „Файнманов компютърен център“ в негова чест. Фотография на Ричард Файнман, изнасящ лекция, беше част от постерната се-



рия на рекламната кампания „Мисли различно“ на *Apple Inc.* през 1988 г. Героят Шелдън Купър в пиесата *Теория на големия взрив* е почитател на Файнман, като го имитира, свирейки на барабани. На 27 януари 2016 г. Бил Гейтс написа статия „Най-добрия учител, който аз не съм имал“, описвайки таланта на Файнман като учител, който е вдъхновил

Гейтс да създаде Проекта Тува, в който се предоставят на специален уебсайт видеозаписите на филмираните серии от лекции на Файнман *Messenger Lectures* и *The Character of Physical Law* на публичен достъп. През 2015 г. Гейтс направил свой видеозапис върху това, защо той смята, че Файнман е специален. Този видеозапис бил направен по случай 50-годишнината от получаването на Нобеловата награда на Файнман през 1965 г., в отговор на призива на Калтек за публикуване на спомени и мисли за Файнман.

Награди

- Наградата Алберт Айнщайн (1954)
- Наградата Е. О. Лоурънс (1962)
- Нобелова награда по физика (1965)
- Член на Кралското общество (1965)
- Медалът Оерщед (1972)
- Национален медал за наука (1979)

Докторанти

- Джеймс М. Бардийн
- Лори Марк Браун
- Томас Къртрайт
- Албърт Хибс
- Джовани Роси Ломаниц
- Джордж Цвайг

Други известни студенти

- Робърт Баро
- У. Даниъл Хилис
- Дъглас Д. Ошероф
- Пол Стайнхарт
- Стивън Волфрам

Библиография. Избрани научни трудове. Учебници и записи на лекции



Файнмановите лекции по физика, включително Файнмановите полезни съвети за физиката: Окончателно и пълно издание (второ издание, 2005 г.)



Български издания на Файнмановите лекции

Файнмановите лекции по физика е може би най-достъпната книга за всеки, който има интерес към физиката, съставена по лекциите, изнесени пред студенти от Калтек през 1961–64 г. Когато се разчуло за яснотата и разбираемостта на лекциите, там започнали да се отбиват и професионални физици да ги слушат. Съавторите Роберт Б. Лейтън и Матю Сандс, колеги на Файнман, ги редактирали и ги илюстрирали, за да им придадат формата на книга. Тези лекции са устояли на времето и са ценни и до днес. Те били прередактирани и допълнени през 2005 г. с „Файнмановите полезни съвети по физи-

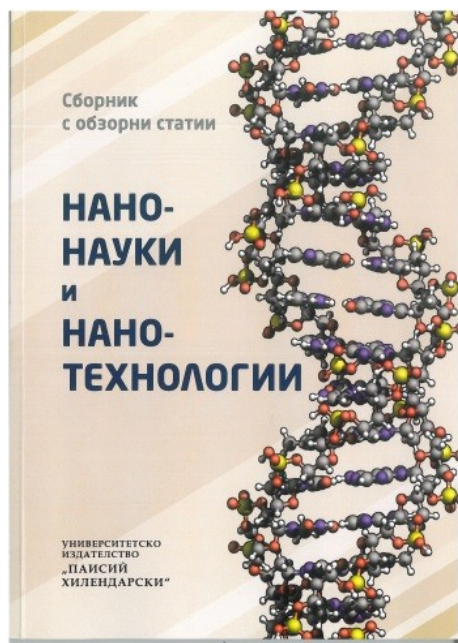
ка“ от Майкъл Готлийб и Ралф Лейтън (сина на Роберт Лейтън), с подкрепата на Кип Торн и други физици.

- Feynman, Richard P.; Leighton, Robert B.; Sands, Matthew (2005) [1970]. *The Feynman Lectures on Physics: The Definitive and Extended Edition (2nd ed.)*. Addison Wesley. ISBN 0-8053-9045-6. Includes *Feynman's Tips on Physics* (with Michael Gottlieb and Ralph Leighton), which includes four previously unreleased lectures on problem solving, exercises by Robert Leighton and Rochus Vogt, and a historical essay by Matthew Sands. Three volumes; originally published as separate volumes in 1964 and 1966.
- Feynman, Richard P. (1961). *Theory of Fundamental Processes*. Addison Wesley. ISBN 0-8053-2507-7.
- Feynman, Richard P. (1962). *Quantum Electrodynamics*. Addison Wesley. ISBN 978-0-8053-2501-0.
- Feynman, Richard P.; Hibbs, Albert (1965). *Quantum Mechanics and Path Integrals*. McGraw Hill. ISBN 0-07-020650-3.
- Feynman, Richard P. (1967). *The Character of Physical Law: The 1964 Messenger Lectures*. MIT Press. ISBN 0-262-56003-8.
- Feynman, Richard P. (1972). *Statistical Mechanics: A Set of Lectures*. Reading, Mass: W. A. Benjamin. ISBN 0-8053-2509-3.
- Feynman, Richard P. (1985b). *QED: The Strange Theory of Light and Matter*. Princeton University Press. ISBN 0-691-02417-0.
- Feynman, Richard P. (1987). *Elementary Particles and the Laws of Physics: The 1986 Dirac Memorial Lectures*. Cambridge University Press. ISBN 0-521-34000-4.
- Feynman, Richard P. (1995). Brian Hatfield, ed. *Lectures on Gravitation*. Addison Wesley Longman. ISBN 0-201-62734-5.
- Feynman, Richard P. (1997). *Feynman's Lost Lecture: The Motion of Planets Around the Sun* (Vintage Press ed.). London: Vintage. ISBN 0-09-973621-7.
- Feynman, Richard P. (2000). Tony Hey and Robin W. Allen, ed. *Feynman Lectures on Computation*. Perseus Books Group. ISBN 0-7382-0296-7.

По материали в интернет.

ОЩЕ ВЕДНЪЖ ЗА НАНОНАУКИТЕ И НАНОТЕХНОЛОГИИТЕ

Николай Велчев



Наскоро в „Светът на физиката“ [1] беше проведено представяне на Нобеловата награда по физика за 2016 г. Докладваните тогава експерименти при изследване на топологичните фази на материята (проведени през 2013 и 2014 г.) се основават на нанотехнологични ефекти, а по този повод известяваме, че няколко седмици преди края на 2017 г. беше отпечатана нашата най-нова книга под заглавие „Нанонауки и нанотехнологии“, издание на Пловдивския университет „Паисий Хилендарски“ [2].

Авторският колектив на книгата включва 17 на брой научни специалисти на всички възможни нива – от академик (Ангел Попов) до докторант (Златка Гарова). В тази моя бележка представям книгата като неин съавтор в едно много кратко

изложение. За удобство и онагледяване на Фигура 1 най-напред са представени схематично в хронологичен план насоките на научните познания от общото към частното, позволили в днешно време появата на нанонауки и нанотехнологии. Голямото значение на получените резултати се потвърждава от необичайния факт: да се дадат три на брой Нобелови награди (почти на всеки 10 ± 5 години по една) за тематично близки научни постижения.

Книгата има най-широко предназначение. Нейни читатели могат да бъдат не само специалисти с висше образование, но и техници, студенти, учители, ученици, военни специалисти, както и всички, проявяващи интерес към решение на проблеми от предния фронт на науката. Става дума за книга – сборник с обзорни статии – по 14 на брой теми, имащи забележимо съвременно значение и приложение в практиката. С нотки на научно възхищение е упоменат и „бащата“ на нанонауките – американският физик Ричард Файнман, чието име е добре познато у нас от неговите книги в превод от руски език.

ПОЛУПРОВОДНИКОВИ (S) МАТЕРИАЛИ
МЕТАЛ (M) – ИЗОЛАТОР (I) – ПОЛУПРОВОДНИК (S) СТРУКТУРИ

Микроелектроника и наноелектроника, основани на MIS структури
Диамантена, фулеренова, графенова, полимерна био-, криогенна и магнитна
електроника

*Двумерни (2D) електронни системи, формирани в MIS структури чрез
нанотехнологии*

*Квантов Хол ефект 1985**

*Графен 2010***

*Топология 2016****

*Фигура 1. Направления на развитие на физико-техническите познания (в сечение и
хронологичен ред) за областта на кондензираната материя;*

, **, * Нобелови награди по физика.*

Най-напред са обсъдени долната и горната размерна граница на съществуващите и достъпни до хората нанообекти, вкл. техният интерфейс, заедно с други основни понятия по темата. По-нататък е представено цяло множество нанообекти и методи за получаване и приложение в практиката, включително и използването им в медицината, хранителната промишленост, козметиката и на други места, имащи връзка с най-широк кръг потребители. В книгата са посочени и кои от известните експериментални методи и средства се използват за изследване на наноструктурите, както и какви са очакваните перспективи пред нанонауките.

В „Нанонауки и нанотехнологии“ са намерили място и две сателитни теми към основната, каквито са „Микроскопски методи, приложими към нанотехнологиите“ и „ДНК технологии“.

Книгата е богато илюстрирана и подпомага читателя да се ориентира правилно в съвсем нова материя, каквато са нанонауките и нанотехнологиите. Всяка представена тема се позовава на съответни „общи“ и „специализирани“ литературни източници, голяма част от които се цитират за първи път въобще в съвременната научна литература.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Б. Найнхаус и К. Щаутенс, Светът на физиката **29**(3-4), стр. 62, 2016.
- [2] А. Попов, Н. Велчев, М. Николова, В. Делчев, С. Стефанов, С. Наимов, В. Дончев, Г. Патронов, К. Гавазов, Н. Димчева, С. Статкова-Абегхе, М. Марудова-Живанович, Й. Димова, Е. Апостолова, Й. Стефанова, С. Сотиров, З. Гарова, *Нанонауки и нанотехнологии*, Университетско издателство „Паисий Хилендарски“, Пловдив, 2017.

ONCE AGAIN ON NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGIES

Nickolay Velchev

In recent years nanoscience has been very successful in increasing the knowledge of the nature of condensed matter; nanotechnologies have been widely used to improve people's lives. Here we present the content of a book entitled *Nanoscience and Nanotechnologies* published at the end of 2017. The book deals with a wide range of topics on the subject: from introducing and defining basic concept to the methodology and description of 14 subtopics.

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

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

ИЗИСКВАНИЯ КЪМ ПОСТЪПВАЩИТЕ МАТЕРИАЛИ

Статии до редакцията се изпращат на адрес: worldofphysics@abv.bg. Като прикачени файлове изпратете текста, фигурите и pdf версия на цялата статия. Получаването им се потвърждава с обратен е-мейл. Ако 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 корекции статиите, които, по преценка на представящия редактор или на 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 (включително със снимки, таблици, фигури). За текста на статиите може да се използва *Word* или *Writer*.

1. Текстът да няма специално оформление (освен болд, курсив и главни букви):

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

- за **отстъп** при нов ред да се използва First line Indent, а не табулация;

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

- да не се използват интервали като средство за някакво оформление.

2. Задължително целият текст да е **редактиран и коригиран** (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 и снимките** да са на отделен файл с отбелязано място в самия файл за местоположението им. Ако са от интернет, да бъдат с резолюция поне 250 пиксела. Ще са цветни в онлайн версията на списанието.

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

6. Допълнителна информация – **информация за автора** на статията: име, длъжност, месторабота, академично звание, научна степен, контакти; **резюме, заглавие и име** на автора на английски;

**Издаването на настоящия брой на списанието е с
финансовата подкрепа на Фонд „Научни изследвания“ по
проект „Българска научна периодика – 2017 г.“**



**ФОНД
НАУЧНИ
ИЗСЛЕДВАНИЯ**

МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА

НАШИТЕ АВТОРИ:

Сашка Александрова – проф. дтн, Технически университет, София;

Борис Арnaudов – доц. д-р, Физически факултет, Софийски университет;

Савчо С. Тинчев – проф. дфн, Институт по електроника, БАН;

Пенка Лазарова – Съюз на учените в България;

Питър Таунсенд – проф. дфн, доктор хонорис кауза, член на Института по физика на Обединеното кралство, Университет на Съсекс, Брайтън, Великобритания, почетен член на БАН;

Таня Цветкова – доц. д-р, Институт по физика на твърдото тяло, БАН;

К. Люилин Смит – Oxford University;

Бойко Георгиев – д-р, Съюз на физиците в България;

Никола Балабанов – проф. дфн, Пловдивски Университет „П. Хилендарски“;

Пламен Савов – доц. д-р, Минно-геоложки университет;

Митко Гайдаров – доц. д-р, Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика, БАН;

Невена Кожухарова – гл. ас. д-р, Технически университет, София;

Христо Астарджиев – студент, Физически факултет, Софийски университет;

Светослав Рашев – проф. дфн, Институт по физика на твърдото тяло, БАН

Николай Велчев – проф. дфн, Пловдивски Университет „П. Хилендарски“;

РЕДАКЦИОННО

НАУКА

- Б. Арnaudов – Квантовите точки и българският принос
– [С. С. Тинчев] – Въглеродна електроника (II част)

НАГРАДИ

- П. Лазарова – Отличени български физици с наградата за наука „Питагор“ 2018

НАУКА И ОБЩЕСТВО

- П. Таунсенд, Т. Цветкова – Несъвършенствата – основа на живота и технологиите
– К. Люилин Смит, Б. Георгиев – Фундаменталната наука и ползите от нея

ИСТОРИЯ

- Н. Балабанов – Джеймс Джаул

ФИЗИКА И ОБУЧЕНИЕ

- П. Савов – Температурата – познатата и непозната

ФИЗИКА И МАТЕМАТИКА

- С. Александрова – Празникът на числото Π

ГОДИШНИНА

- М. Гайдаров – Юбиларът проф. дфн Ана Георгиева – последователен изследовател в теорията на ядрената структура и радетел на физическата общност в България
– Н. Кожухарова – Лев Давидович Ландау: „Да откриваш тайните на природата – най-голямото човешко щастие“

- Н. Кожухарова – Лев Давидович Ландау: „Да откриваш тайните на природата – най-голямото човешко щастие“

МЛАДИ ИЗСЛЕДОВАТЕЛИ

- Х. Астарджиев – Революцията на Коперник

PERSONALIA

- С. Рашев – Ричард Файнман (II част)

КНИГОПИС

- Н. Велчев – Още веднъж за нанонауките и нанотехнологиите

EDITORIAL.....211

SCIENCE

- B. Arnaudov – Quantum dots and the Bulgarian contribution213
– [S. S. Tinchev] – Carbon-based electronics (II part)225

AWARDS

- P. Lazarova – Bulgarian physicists awarded the Pithagoras 2018.....241

SCIENCE AND SOCIETY

- P. Townsend, T. Tsvetkova – Imperfections – the basis of life and technology.....245
– Ch. Llewellyn Smith, B. Georgiev – The use of basic science: benefits of basic science.....255

HISTORY

- N. Balabanov – James Joule263

PHYSICS AND TEACHING

- P. Savov – The temperature – known and unknown.....272

PHYSICS AND MATHEMATICS

- S. Alexandrova – Celebration of Pi-day281

ANNIVERSARY

- M. Gaidarov – The jubilee Prof. DSc. Ana Georgieva – a consistent researcher in the theory of nuclear structure and a supporter of the physics community in Bulgaria.....286
– N. Kojuharova – Lev Davidovich Landau: „Discovering the secrets of nature – the greatest human happiness“.....289

- N. Kojuharova – Lev Davidovich Landau: „Discovering the secrets of nature – the greatest human happiness“.....289

YOUNG RESEARCHERS

- Ch. Astardzhiev – The Copernican revolution299

PERSONALIA

- S. Rashev – Richard Feynman (Part II)304

BIBLIOGRAPHY

- N. Velchev – Once again on nanoscience and nanotechnologies317