



СЪЮЗ
НА ФИЗИЦИТЕ
В БЪЛГАРИЯ

3'17

СВЕТЪТ
СВЕТЪТ
СВЕТЪТ
СВЕТЪТ

НА

ФИЗИКАТА

С В Е Т Ъ Т Н А Ф И З И К А Т А

ТОМ XXXX, кн. 3, 2017 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,
Мариана Кънева, Радостина
Камбурова, Борислав Павлов,
Светлен Тончев, Лилия Атанасова

EDITORIAL STAFF

EDITOR-IN-CHIEF

Sashka Alexandrova

VICE EDITOR-IN-CHIEF

Ana Georgieva

EXECUTIVE SECRETARY

Penka Lazarova

MEMBERS

Nicola Balabanov, Ivan Lalov,
Mariana Kuneva, Radostina
Kamburova, Borislav Pavlov,
Svetlen Tonchev, Liliya Atanasova

РЕДАКЦИОНЕН СЪВЕТ

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

EDITORIAL COUNCIL

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

ВОДЕЩ БРОЯ: Сашка Александрова

VOLUME EDITOR: Sashka Alexandrova

АДРЕС НА РЕДАКЦИЯТА:

Бул. „Джеймс Баучер“ №5,
1164 София

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

ЗА МЛАДИТЕ ВЪВ ФИЗИКАТА

СФБ като авторитетна национална неправителствена организация съзнава значението на популяризирането на физическите знания за бъдещето на България и за развитието на образованието и изследванията в областта на физическите науки. Важна е оценката и отношението на обществото към природните науки, и в частност физиката, както и свързаните с нея технически и приложни науки. Бъдещето не само на нашата страна, а и на цивилизацията ни, се определя от технологичния напредък, който на свой ред зависи от развитието на физическите науки. Както казва във едно свое интервю проф. Алексей Сисакян: „Ако човечеството не възнамерява да спре своето развитие, то не може без физиката!“ Развитието не е възможно без приемственост. По тази причина приоритетна задача е да се възпитават новите поколения физици, да се привличат младите към физиката. Как да стане това? На първо място, трябва да е интересно за един млад човек да изучава физика. Необходимо е да се обърне внимание на реалните проблеми в дадена област, на непрекъснато отварящи се хоризонти, на неразрешените въпроси, които чакат своите откриватели.

Физичните знания са приложими не само в изследователските лаборатории. Те са полезни при работа в различни области – от компютърния анализ на финансите до инженерните дисциплини, от биологията до философията. Тази доста широка гама от възможности е полезен резултат от базовото физично образование, което, ако човек го получи, може да развие творческо и нестандартно мислене.

Ентузиазмът най-добре се събужда още в детската и училищната възраст. Трябва да направим така, че учениците, и по-късно студентите, да преживяват физиката не само като набор от формули и дефиниции, но и като вълнуваща и изключително интересна област. Да могат от рано да усетят красотата на тази наука. Да видят учените, които я „правят“, да надникнат в техния свят, в живота им, в приключенията им, в историческия контекст. Не само това. Да могат да я практикуват, да се изиявят по някакъв начин.

От края на 2015 г. списание „Светът на физиката“ дава форум на млади автори в рубриката *Млади изследователи*. Студенти, докторанти, ученици, млади учени имат възможност да публикуват в списанието при спазване на правилата за рецензиране. В ежегодните конференции по образованието по физика в средните училища и в университетите, организирани от СФБ, се включват и младежки научни сесии. Проектите се оценяват от жури и се обявява класация на най-добрите представени работи. Съорганизатор на младежките сесии, както и на конкурсите за представяне на есе по предварително определена тема, е фондация „Еврика“. Списанието публикува в по-

редни броеве наградени статии. Понастоящем изследванията често са интердисциплинарни, т.е. те се развиват в пресечната точка на различни науки. В рамките на тазгодишната конференция по образованието по физика беше включена и постерна сесия в памет на Мария Кюри, като участници бяха студенти от Медицинския университет в София. В настоящия брой публикуваме някои от наградените доклади.

През октомври Варненският клон на СФБ организира конференция „Физиката вечно млада наука“, където също очакваме представянето на интересни материали, подготвени от младите ни настоящи и бъдещи колеги.

За разпространението на научните знания списание „Светът на физиката“ съвместно с *Катедрата по физика на Минно-геоложкия университет* организират лектория „Светът на физиката на живо“. Ще се представят публични лекции по теми от различни области на физиката, които ще ни разкажат за предизвикателствата в науката на съвременния етап на развитие. Първата лекция ни отведе във вълшебния свят на кристалите и ни представи постиженията на едни от най-успешните български учени със световно признание. Следващата лекция ще се състои в началото на ноември. Надяваме се на интерес от страна на колеги и студенти, за които физиката е вълнуваща и красива наука, и защото, като пише Алберт Айнщайн: „Радостта да виждаш и да разбираш е най-красивият дар на природата“ („*Freude am Schauen und Begreifen ist die schönste Gabe der Natur*“).

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 Математически 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



**СПИСАНИЕ „СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА“
СЪЮЗ НА ФИЗИЦИТЕ В БЪЛГАРИЯ**



**КАТЕДРА „ФИЗИКА“ КЪМ
МИННО-ГЕОЛОЖКИЯ УНИВЕРСИТЕТ
„СВЕТИ ИВАН РИЛСКИ“**

ОРГАНИЗИРАТ ЛЕКТОРИЯ

СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА НА ЖИВО

**с публични лекции на настоящи и
бъдещи автори на
сп. „Светът на физиката“**

**Информация за следващите лекции можете да намерите на
сайта на списанието:**

http://wop.phys.uni-sofia.bg/wop_live.htm



ЮБИЛЕЙНА 10 КОНФЕРЕНЦИЯ НА БАЛКАНСКИЯ ФИЗИЧЕСКИ СЪЮЗ (BPU10)

От 26 до 30 август 2018 г. България ще бъде домакин на Юбилейната 10^{та} конференция на Балканския физически съюз. Тя ще се проведе в Интер Експо Център в София под патронажа на президента г-н Румен Радев. Организатор на конференцията е Съюзът на физиците в България.

През 1991 г. е поставено началото на традицията да се провежда Балканска конференция по физика на всеки 3 години, като страната-домакин се избира на ротационен принцип. BPU1 се провежда от 12 до 14 септември 1991 г. в Солун и тя става място, на което за първи път в историята на науката на Балканите се събират повече от 600 физици. Във Втората балканска конференция по физика (BPU2, 12-14.09.1994 г., Измир) броят на участниците е още по-голям и достига 800 учени. Днес тя е известна с името Международна конференция по обща физика, отворена за учени от целия свят.

Балканската конференция по физика е създадена с цел насърчаване и подобряване на науката и обмена на знания и информация чрез връзки между учените, които ще доведат до съвместни изследователски проекти и общи програми между Балканските страни. По тази причина нейната тематика е твърде широка и тази година тя включва 19 теми, отнасящи се не само до актуални физически проблеми, но и свързани с качеството на обучението по физика и историята на физическата наука.

Повече информация можете да намерите на сайта на конференцията:

<http://bpu10.balkanphysicalunion.com/>

<http://phys.uni-sofia.bg/upb/conference/BPU10/index.html>

УСКОРИТЕЛЯТ *NICA*

Динко Динев

NICA е колайдер на тежки йони, който се строи в момента в Обединения институт за ядрени изследвания (ОИЯИ) в град Дубна, Русия. В това сложно и мащабно съоръжение ще се сблъскват челно интензивни потоци (снопове) от ускорени до много високи енергии тежки йони. Колайдерът *NICA* е част от Лабораторията по физика на високите енергии (ЛФВЕ) на ОИЯИ.



Фигура 1. Лаборатория за физика на високите енергии на ОИЯИ

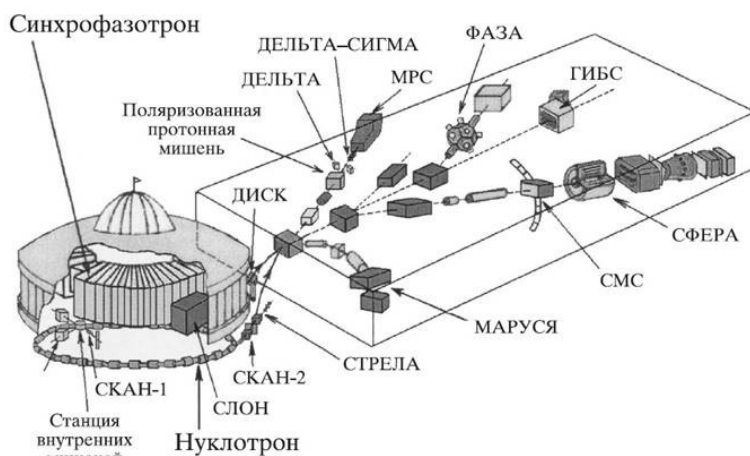


Фигура 2. Свръхпроводящия синхротрон за ускоряване на тежки йони Nuclotron

Той се изгражда на базата на съществуващият в ЛФВЕ свръхпроводящ ускорител на тежки йони от *Nuclotron*. *Nuclotron* е ускорител от синхротропен тип. В ускорителя *Nuclotron* се използва уникална технология, разработена в ОИЯИ – Дубна, използваща явленияето свръхпроводимост. Ускорителът работи от 1993 г. Ускорява тежки йони до максимална енергия 6 GeV/u, протони и поляризирани деутрони. С негова помощ се провеждат множество фундаментални и приложни изследвания.

Новият колайдер *NICA* е усъвършенстване на ускорителя *Nuclotron*. С негова помощ ще се моделират в лабораторни условия процесите, които са се развивали в първите мигове от раждането на Вселената. Носи името на богинята на победата НИКА, което е съкращение от *Nuclotron based Ion Collider Facility*. *NICA* е комплекс от 5 свързани един с друг ускорители:

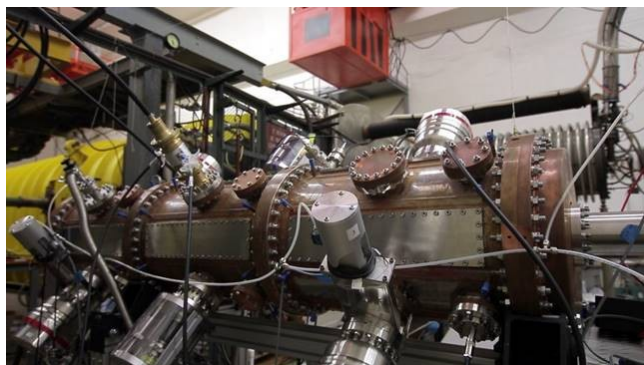
- Два линейни ускорителя: за тежки йони с енергия 3 MeV/u и за поляризирани деутрони с енергия 5 MeV/u
- Бустерен синхротрон с енергия 600 MeV/u
- Нуклотрон: ускорява тежки йони до енергия 0.6-4.5 GeV/u
- Колайдер *NICA*, сблъскващ тежки йони с енергия 1-4.5 GeV/u



Фигура 3. Експерименти, провеждани с помощта на ускорителя Nuclotron



Фигура 4. Колайдерът NICA



Фигура 5. Електронно-лъчевият източник на многозарядни йони KRION



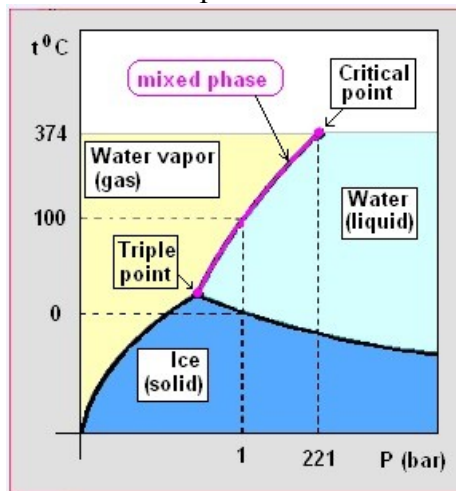
Фигура 6. Новият линеен ускорител – инжектор HL-LHC

Australia	Moldova
Azerbaijan	Mongolia
Armenia	Poland
Belarus	Romania
Bulgaria	Russia
Brazil	Serbia
Vietnam	Slovakia
Germany	USA
Greece	Czech Republic
Georgia	Ukraine
India	Uzbekistan
Italy	France
Kazakhstan	SAR
China	Japan
DPRK	CERN



Фигура 7. Страни, които участват в проекта NICA

В колайдерния комплекс NICA ще се прилагат най-новите материали и технологични решения. В неговото изграждане и при неговата експлоатация са обединени усилията на около 30 държави. Стойността на проекта се оценява на 545 млн. щатски долара. Основната част от тези средства са осигурени от Руската федерация.



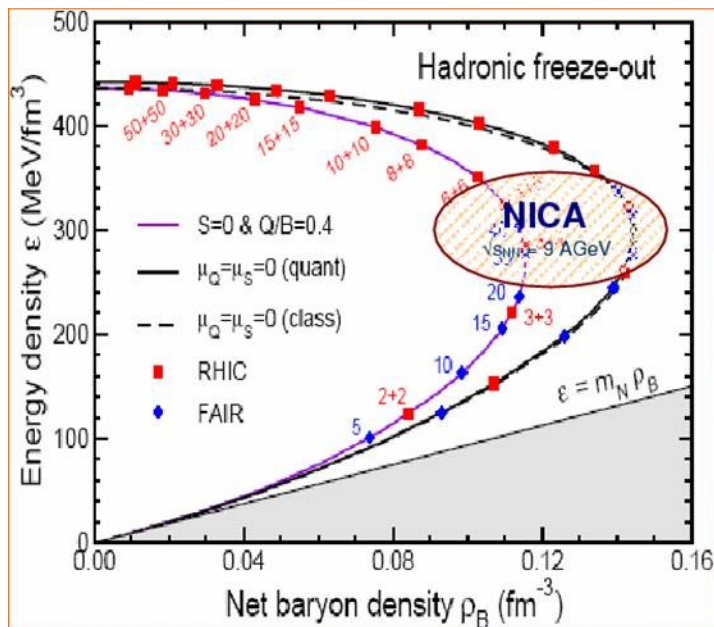
Фигура 8. Фазова диаграма на водата

Физическата програма на колайдера NICA включва изследване на поведението на ядрената материя при екстремно високи температури и налягания. В подобни екстремни условия кварките и глюоните, които изграждат основните градивни елементи на атомното ядро – протоните и неутроните, се освобождават от тяхната „опека“ и заживяват „самостоятелен живот“. Формира се кварк-глюонна плазма, която се състои от свободни кварки и глю-

они. Между обичайната ядрена материя, състояща се от протони и неутрони и кварк-глюонната плазма съществува междинно състояние, т.нар. „смесена фаза“. Смесената фаза представлява смес от кварк-глюонна плазма и барионна материя. Може да се направи аналогия с фазовата диаграма на водата.

Както се вижда от Фигура 8, освен трите фази: лед, вода и водна пара, съществува и смесена фаза, която се състои от вода и водна пара.

Диаграма на фазовите преходи в ядрената материя е представена на Фигура 9.



Фигура 9. Диаграма на фазовите преходи в ядрената материя

На фигурата е показана областта от барионни плътности и плътности на енергията, която ще се изучава с помощта на йонния колайдер *NICA*, а също така и областите, които се изучават от ускорителите *RHIC* (*Relativistic Heavy Ion Collider*) в Брукхайвън, САЩ и *FAIR* (*Facility for Antiproton and Ion Research*) в Дармщадт, Германия.

Важна част от програмата на колайдера *NICA* са приложните изследвания. Предвижда се създаването на медицински канал за терапия на онкологични заболявания с помощта на облъчване с тежки йони, разработването на технология за обработване на радиоактивните отпадъци от ядрените електроцентрали с цел значителното намаляване на тяхната активност, т.нар. трансмутация и др.

Първият етап на йонния колайдер се предвижда да влезе в експлоатация през 2019 г. Окончателното завършване на ускорителния комплекс е предвидено за 2023 г.

България е една от страните, които активно участват в създаването на колайдера *NICA*. Доц. Д. Динев (ИЯИЯЕ) беше член на Международния експертен комитет за оценка на проекта. Той участва в проектирането на магнитните пръстени на колайдера. Доц. Вл. Ангелов (ИЯИЯЕ) сътрудничи по създаването на бустерния синхротрон. В Базата за развитие и внедряване на ИЯИЯЕ е създадена и внедрена в ОИЯИ уникална апаратура както за ускорителя *Nuclotron*, така и за новите ускорители от комплекса *NICA*. Голяма група физици и инженери от ИЯИЯЕ – БАН участва и в експериментите, провеждани на ускорителя *Nuclotron* (проф. Ч. Стоянов, д-р П. Живков, проф. В. Пенев, инж. И. Атанасов, д-р Л. Пенчев и др.). Учени от ИЯИЯЕ се подготвят и за експериментите на бъдещия колайдер *NICA*. Дълги години заместник-директор на Лабораторията за физика на високите енергии на ОИЯИ по въпросите на научните изследвания беше проф. Владимир Пенев (ИЯИЯЕ), а в момента зам.-директор е проф. Румен Ценов (СУ „Св. Климент Охридски“).

Литература

- A. Sissakian, A. Sorin, I. Meshkov, D. Dinev, V. Angelov et al., Conceptional Design Report of Nuclotron-based Ion Collider fAcility (NICA), Dubna, 2009
 Ч. Стоянов, Д. Тонев, Д. Динев. ИЯИЯЕ при БАН в новите проекти на Обединения институт за ядрени изследвания, Дубна. Списание на БАН, №1, 2017, стр. 78-83

THE ACCELERATOR NICA

Dinko Dinev

A new superconducting accelerator complex that will produce and collide beams of relativistic heavy ions with center of mass energy in the range 2-9 AGeV is under construction now at the Joint Institute for Nuclear Research (JINR) in Dubna. The modernized synchrotron Nuclotron will serve as an injector into the new accelerator complex. The collider was named NICA, which is an abbreviation from Nuclotron-based Ion Collider fAcility. The main goal of NICA is the experimental study of hot and dense strongly interacting QCD (Quantum chromodynamics) matter and search for possible manifestation of signs of the mixed phase and critical endpoint in heavy ion collisions. The MPD (Multi-Purpose Detector) and SPD (Spin Physics Detector) detectors are built for these purposes. The designed average luminosity of the collider is $1.10^{27} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$. NICA will be able to collide all heavy ions up to uranium. The reference ion is $^{197}\text{Au}^{97+}$.

ЛУМИНЕСЦЕНТНО ДАТИРАНЕ В АРХЕОЛОГИЯТА ЧАСТ I

Любомир Цонев

ФИЗИЧЕСКИ МЕТОДИКИ ЗА ДАТИРАНЕ В АРХЕОЛОГИЯТА

В последните няколко години Българската академия на науките формулира **9 основни тематик**, чието развитие ще насърчава. Една от тях е „Културно-историческо наследство и национална идентичност“.

За успешното им изпълнение се налага да се прилагат и нови организационни принципи в изследователската работа. Според мен най-същественият експлицитно формулиран нов принцип е „интердисциплинарност“.

В настоящата статия имам за цел да придам конкретно съдържание на тези насоки, като запозная любознателната публика с един сравнително нов физически метод за датиране на археологически обекти. Ще дам и няколко примера от културните паметници по нашите земи, където той би могъл да бъде полезен. Надявам се по този начин да убедя възможно най-широк кръг читатели в полезността на метода и апелирам за неговото усвояване и практикуване при археологическите проучвания по българските земи. От тази симбиоза българската историческа наука може само да спечели. Но създаването на подходящо научно звено е по силите на значителна научна институция или на Министерството на културата.

Методите от природните науки, които могат да бъдат полезни за археологията, се означават с общото име археометрия [1]. Към тях принадлежат и методиките за датиране. Вече съществуват доста разнообразни начини за датиране в археологията, например: съотношения между различни изотопи в находката, радиовъглероден метод ^{14}C , археомагнетизъм, дендрохронология, рацемизация на аминокиселини, археоастрономия и др. Те позволяват датиране в интервала до 0,5-1 милион години назад във времето. Различават се не само по своята същина, но и по своята точност и по материала, който подлагат на анализ (съотношения на продуктите от радиоактивно делене, костен материал, овъглена органика, дървесни пръстени във вкаменени или „мумифицирани“ дървесни стъбла, магнитно поле в скални отломки, кварцови пясъчинки, останки от аминокиселини, конструктивни характеристики, свързани с маркиране и наблюдение на астрономични явления, които са регистрирани в летописи или са периодични).

Тук ще стане дума за оптична техника, наричана в научната литература „датиране чрез термично/оптично стимулирана луминесценция“ (*Thermally/Optically Stimulated Luminescence Dating*). Неин създател е британският учен

проф. Мартин Ейткин (*Martin Aitken*), а значителен принос има проф. Гюнтер Вагнер (*Günther Wagner*) от Германия. Самата идея не е нова, появява се през 60-те години на XX век във връзка със заявка от Британския музей как да се различат фалшификатите от оригиналите измежду множеството артефакти от изпечена глина. В началото на XXI век методиката разширява своя обхват – успешно се изследват пясъците от речни наноси и повърхността на каменни блокове от кварцсъдържащи скални породи (гранит, гнайс, пясъчник и т.н.). В тази насока значителен принос има проф. Янис Лиритис (*Ioannis Liritzis*) от Гърция. Съвременното състояние на метода е отражено в редица публикации [2-8].

Луминесцентното датиране е интересно преди всичко с факта, че е приложимо към най-масово намирения материал при разкопките: фрагменти печена глина, пясъчни отлагания, късове от кварцсъдържащи скали. За съпоставка ще отбележа, че органичните останки, които са нужни за прилагането на метода ^{14}C , се срещат несравнимо по-рядко.

Грешката при датирането по съвременни данни вече е под 7%. За някои археолози това може да звучи като твърде неточно, но съм сигурен, че съществуват хиляди археологични ситуации, където подобна точност може да помогне за решаването на важни проблеми. Струва си да се познава тази методика и нейните изисквания към манипулирането с находките и обектите, за да не се ликвидира възможността за прилагането ѝ в процеса на самите разкопки и при съхраняването на откритите артефакти. Ако разкопките и реставрациите се приспособят към изискванията на този метод, той би могъл да се приложи не непременно веднага, по времето на самите разкопки (ако времето и финансите в момента не достигат), а дори по-късно, след години и десетилетия, стига дотогава самият обект да съхрани своята **луминесцентна автентичност**.

ЛУМИНЕСЦЕНЦИЯ И ЗОННА ДИАГРАМА НА КРИСТАЛИ

Точното определение за явлението луминесценция е доста сложно, затова тук ще отбележа само най-необходимото за обяснението на оптичното датиране, балансирайки между достъпността и строгостта на изложението. По принцип виждаме телата само в присъствието на светлина – чрез светлината, която излъчват, отразяват или поглъщат. Отражението е пасивна реакция на тялото спрямо осветлението: докато има осветление, тялото отразява или разсейва част от него, когато угасим осветлението, тялото преставаш да отразява или разсейва и преставаш да го виждаме. Възможна е, обаче, и активна реакция на тялото. Ето някои примери.

(1) Докато осветяваме тялото, то не само отразява/разсейва част от падащата светлина, но излъчва и специална светлина, която се отличава от падащата. Мислими са поне две ситуации:

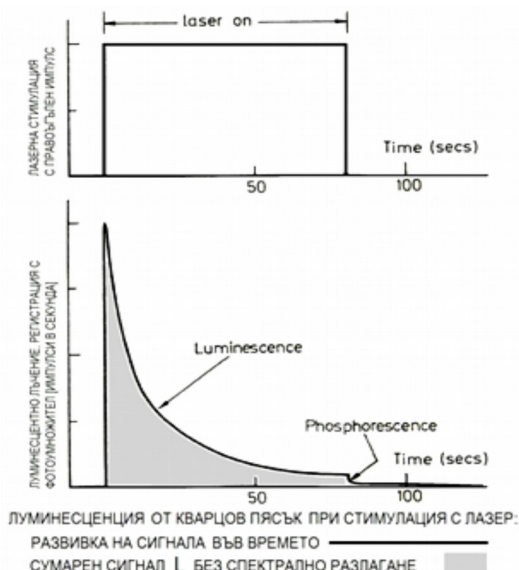
(1а) Част от енергията на осветлението се преобразува, преработва в тялото и го напуска като негово собствено лъчение, но с известно закъснение и с променена дължина на вълната;

(1б) Осветлението само предизвиква, стимулира тялото да върне в околната среда **под формата на светлина** известно количество енергия, която при **друг** предишен процес е влязла в тялото и е останала акумулирана в него **под друга форма**.

(2) Нещо повече. Възможно е активната реакция на тялото да продължи като излъчване дори след като осветлението е било изключено.

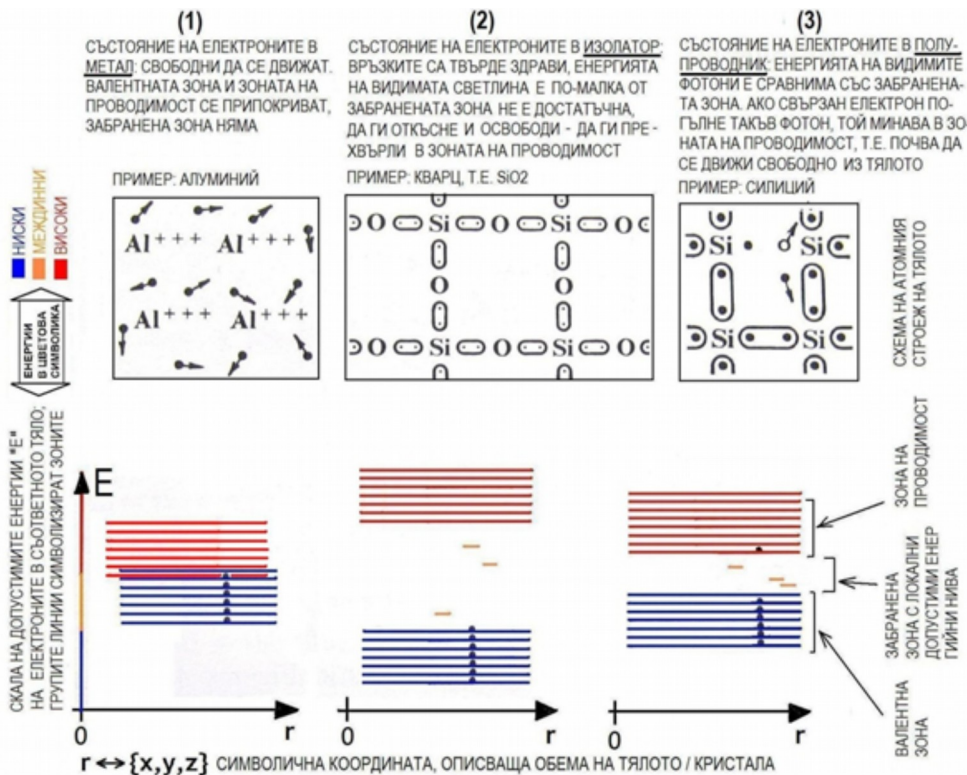
Луминесценцията е активна реакция на веществото към осветлението. Когато говорим за луминесценция, става дума за светлина, която напуска тялото, след като е била подложена на (или е предизвикала) определени процеси и преобразувания вътре в него, и поради това тя не съвпада със светлината, която тялото просто отразява или разсейва. Според времетраенето и затихването на луминесценцията се говори за флуоресценция (общо взето бързозатихваща) и фосфоресценция (общо взето бавнозатихваща), като скоростта на затихване се сравнява с типичното време за поглъщане и излъчване на фотон в атом или молекула. От спектроскопско гледище различават резонансна, спонтанна, метастабилна или стимулирана, рекомбинационна луминесценция, стоксова и антистоксова луминесценция. Според причината за луминесценцията различават термо-, фото-, радио-, електро-, хемилуминесценция.

На Фигура 1 е показана луминесценцията от кварцов пясък, който е бил осветяван от слънцето преди 12 000 години, когато е запасил в себе си част от слънчевото осветление, после е бил затрупан и стоял в тъмнина, докато в днешно време чрез лазерна стимулация учените го принудят да освободи тази акумулирана енергия под формата на луминесценция. Вижда се, че докато лазерът е включен, луминесценцията (флуоресценция, оптично стимулирана луминесценция, *OSL*) намалява, понеже запасената в пясъка енергия се изчерпва постепенно. След изключването на стимулиращия лазер още известно време се наблюдава луминесценция (оптично стимулирана фосфоресценция, *OSP*).



Фигура 1. Луминесцентен сигнал

Луминесценцията най-често се интерпретира в термините на зонната теория за енергията на електроните в твърдите тела, в частност кристалите като кварца. Зонната диаграма (Фигура 2) е условно, схематично, но нагледно изображение: (i) на възможните енергии на електроните в кристала, (ii) на възможностите електроните да бъдат прикрепени към атомите или да се движат свободно из кристала, (iii) на възможността електроните да попадат след кратко мигриране в т.н. уловки (дефекти), а при някакви условия да ги напускат, (iv) на способността на електроните да поглъщат енергия и да я изпускат. По вертикално направление се нанасят реално възможните енергии на електроните, а по хоризонталата съвсем условно се изобразява пространството на кристалното тяло, където електроните се намират и при определени условия могат да се движат.



Фигура 2. Зонна диаграма на идеални и реални твърди тела

В основното си състояние електроните в кристалните тела вибрират в съвсем малък обем около отделните атоми в решетката и тогава имат своята най-ниска (основна) енергия. Съкупността от енергии на тези свързани електрони формира широк енергиен диапазон, наречен **валентна зона** (валентност = връзка). Ако получат отвън допълнителна енергия (стимулация, възбуждане), електроните могат да се откъснат от атомите си и да се движат

свободно из тялото. Цялата съвкупност от енергиите на тези свободни електрони също формира енергиен диапазон, наречен **зона на проводимост**. Между споменатите две зони може да има по-голям или по-малък интервал от енергии, които никой електрон не може да притежава, ако тялото е идеално; този забранен интервал се нарича съответно **забранена зона**. Тъй като зоните се отнасят за целия кристал, те се изобразяват с групи от дълги линии или с дълги правоъгълни ивици, чиято дължина символизира размера на кристала.

Ако обаче в тялото има локални несъвършенства (каквото е реалният геологичен кварц например), електроните могат след външно възбуждане да мигрират кратко из тялото и да попаднат задълго в т.нар. **уловки**. Това са области около дефектите в кристалната решетка, които са забележимо по-големи от атомите, но все пак са твърде малки спрямо цялото кристално тяло; в такъв смисъл захванатият там електрон е **частично свободен**. Той притежава енергия, попадаща в рамките на забранената зона. Такива междинни енергии се наричат **локални енергийни нива** и обикновено не изпълват плътно цяла зона; затова върху зонната диаграма те се изобразяват с отделни къси линии, символизиращи ограничения обем около уловките, където електроните с такива енергии могат да се движат.

ДАТИРАНЕ ЧРЕЗ ФОТОСТИМУЛИРАНА ЛУМИНЕСЦЕНЦИЯ (OSL) – ОСНОВНИ ИДЕИ

За да се ориентира читателят по-добре в проблема, ще дам в самото начало съвсем кратко изложение на основните идеи при оптичното датиране.

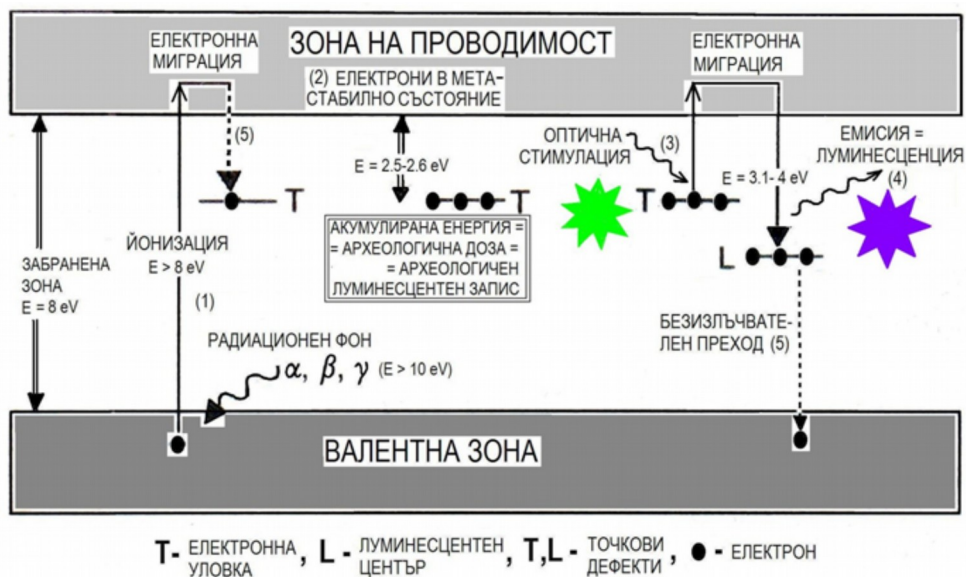
(1) Археологичният обект или артефакт (керамика, пясъчен нанос, естествени или дялани камъни) трябва да съдържа кварцови песъчинки. Именно кварцовите песъчинки имат свойството на **природен дозиметър** – акумулират енергията D от естественото радиоактивно облъчване под формата на латентна (скрита), метастабилна (блокирана) луминесцентна енергия L .

(2) В историята и състоянието на находката трябва да са изпълнени някои условия (**нулиращи събития**), които да позволят на природния дозиметър-песъчинка да функционира като **археологичен часовник**, т.е. да регистрира енергията, постъпила в обекта от създаването му до настоящото изследване (археологична доза $D_{\text{арх}}$), **право пропорционално на изтеклото време**.

(3) Чрез оптично стимулиране на песъчинката-часовник в лабораторията превръщаме запасената енергия $D_{\text{арх}}$ (в литературата се ползва и означението D_e – еквивалентна доза) в лъчение, в луминесценция $L_{\text{арх}}$ (в литературата се ползва и означението L_e). Регистрирайки $L_{\text{арх}}$, всъщност измерваме $D_{\text{арх}}$. В мястото на находката измерваме и едногодишната доза $D_{\text{год}}$, която се акумулира в същата песъчинка-часовник за една година.

(4) Делейки пълната археологична доза $D_{\text{арх}}$ на едногодишната доза $D_{\text{год}}$, определяме възрастта T на обекта/находката: $T = D_{\text{арх}} / D_{\text{год}}$.

Следва малко по-подробно описание на процесите, като се използва вече въведената представа за зонната диаграма на телата (Фигура 3).

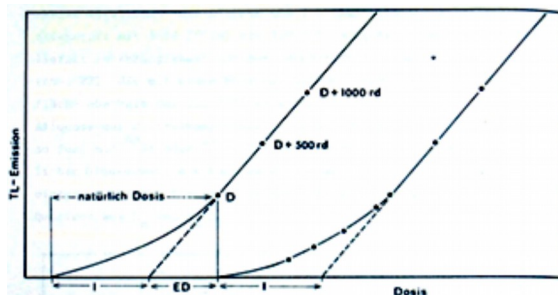


Фигура. 3. Процеси в кварц, свързани с луминесценцията и луминесцентното датироване. Посочените енергии отговарят на експериментални стойности

Термолуминесценцията (TL) и оптично стимулираната луминесценция (OSL) са археодатировъчни техники, ползващи часовниковия ефект от „електронни уловки“ – в кварц или фелдшпат. В състава на различни скали, утаечни или наносни материали споменатите минерали от самата си поява са подложени на непрекъснато **радиоактивно облъчване** (α, β, γ). Радиацията произхожда: (а) от околната среда; (б) от вътрешността на самите минерални частици и (в) от космичните лъчи. Дозите обикновено са в съотношение $D_{\text{earth, external}} \gg D_{\text{earth, internal}} \geq D_{\text{cosmic}}$. Погълнатата енергия се измерва с **дозата D** в единици Grey [$1 \text{ Grey} = 1 \text{ J/kg}$]. Отнесено към единица време, примерно 1 година, говорим за **годишна мощ R_D на дозата**; мери се в Grey/ka, където $a = \text{annum} = \text{година}$, т.е. $ka = 1000 \text{ години}$. В случаите „а“ и „б“ радиоактивността произхожда най-вече от наличните елементи ^{40}K (β и γ радиация), U и Th (α, β и γ радиация). Радиоактивното облъчване прониква в минералните частици и се поглъща там. Проникването на α радиация в скала δl_α е около $20-50 \mu\text{m}$; проникването на β радиация δl_β е около $100 \mu\text{m}$; проникването на γ радиация δl_γ може да е десетки сантиметри.

В резултат някои електрони получават достатъчно енергия за възбуждане, така че успяват да напуснат валентната зона и да минат в зоната на про-

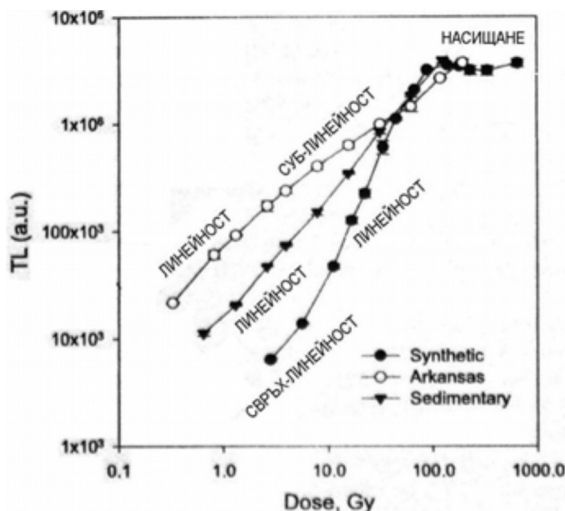
водимост, при което добиват възможност да мигрират по обема на материала. В материала се появява и съответен свободен положителен носител, наречен „дупка“. След неголямо време на живот двойката носители рекомбинира (излъчвателно или не). Малка част от възбудените и подвижни електрони се захващат в специфични **дефекти на кристала – уловки (traps)** – където могат да останат във възбудено състояние практически вечно – повече от милион години. След време външни активиращи фактори могат да ги провокират да изсветят тази енергия във вид на луминесценция, при което да напуснат уловката и да се върнат в своето нормално и основно състояние – прикрепени около конкретен атом в решетката; там вече те притежават обичайната си ниска енергия, попадаща във валентната зона.



Фигура 4: Илюстрация за свръхлинейност в началния участък на зависимостта „запис – доза“, респ. „запис – време“

Ако се абстрахираме засега от външните активиращи фактори, можем да заключим, че енергията от фона се запасява, записва се, натрупва се в кристала като енергия на възбудени електрони в уловките. Запасената енергия D е своеобразен **запис** – песъчинките функционират като природен дозиметър. Натрупването на такъв запис може да продължи различно време за различните кристални частици в материала – колкото повече уловки има в кристала, толкова по-дълго той може да поема на съхранение новопостъпващи възбудени електрони. Записът не е линейна функция от дозата. При ниски дози има **свръхлинейност (super-linearity)** (Фигура 4), а при високи дози – **сублинейност (sub-linearity)** (Фигура 5). Само **линейният участък** е полезен за датирането. След около 100 000 години се стига до насищане и песъчинките престават да акумулират нова енергия, т.е. спират да записват. Ако се изтрие, ако се нулира този запис в даден исторически момент и после започне натрупване на нов запис (от някакво **нулиращо събитие**), то през първите 50 000 – 80 000 години натрупването е правопрпорционално на изтеклото време, т.е. песъчинките се превръщат в природен археологичен часовник. Техниката *OSL* може засега принципно да датира възрасти до около 50-80 000 години, макар че е по-точна в първите 10 000 години историческо време, където грешката е сведена под 7%. За последните 5 000 години в някои

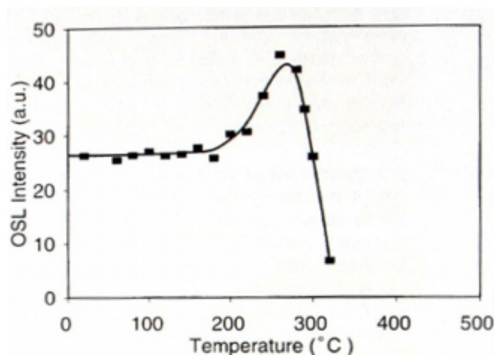
случаи оптичното датиране може да се окаже по-неточно от други методи, да речем от ^{14}C , но въпреки това си остава незаменимо, когато археологичният обект просто не съдържа материал, годен за датиране чрез ^{14}C или други методи.



Фигура 5. Илюстрация за свръхлинейност и сублинейност в зависимостта „запис – доза“, респ. „запис – време“

Изтриването на геоложкия запис (**нулиращо събитие**) може да стане, когато външна стимулация предизвика скритата запасена енергия на възбудените електрони, блокирани в уловките, да се превърне във видимолъчение, в луминесценция.

Стимулаторите са два вида. При древна печена керамика (съдове или тухли) стимулаторът е термичен – изпичане при температури около и над $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Фигура 6).



Фигура 6. OSL сигнал като функция от температурата на нагряването на образеца

При скални породи, при наноси, при зидането на древни пострройки с хоросанови мазилки или при сглобяването на долмени и други мегалитни или циклопски паметници, **нулиращото събитие е обикновено светлинно** – избелване (*bleaching*) на кварцовите дозиметрични песъчинки в повърхнинния слой от материала (обикновено в слой с дебелина около 50 μm) от ултравиолетовата компонента на слънчевото осветяване с дължина на вълната под 500 nm. Например: след 10 секунди слънчево облъчване OSL-сигналят в кварц спада до около 1% от началното си ниво!

Сега е полезно да проведем един **мислен експеримент**. Да си представим историята на една природна (т.е. съдържаща дефекти) кварцова песъчинка, която се намира в състава на глина, в речен нанос, или е вградена в някаква скала, но която (да допуснем за яснота на разсъждението) все още не е била никога облъчвана от радиоактивния природен фон.

Да „включим“ мислено радиоактивния фон. Отначало акумулирането на **геоложката доза** $D_{\text{арх}}$ е правопрпорционално на изминалото време. В дългата геоложка история на песъчинката, средно взето след най-много 100 000 години, наличните свободни уловки се изчерпват и акумулирането на нови възбудени електрони спира, въпреки че облъчването от радиоактивния фон продължава. Песъчинката е погълнала вече своята пълна геоложка доза $D_{\text{геол}}$, натрупала е съответния пълен геоложки луминесцентен запис $L_{\text{геол}}$ и практически е престанала да функционира като дозиметър – записът е стигнал до насищане и не зависи от времето.

Да приемем, че някога в интервала между днешното време и 100 000 години назад в миналото (т.е. вече в историческото време) се случва **нулиращо събитие**, което превръща песъчинката от дозиметър в часовник като изтрива геоложкия запис и дава възможност песъчинката да започне от нула да трупва нов запис. За началните около 50 000 – 80 000 години натрупването на новата доза – вече наричана **археологична доза** $D_{\text{арх}}$ – се извършва правопрпорционално на времето, изтекло след нулиращото събитие. Именно тази права пропорционалност позволява да се използва песъчинката-дозиметър след нулиращото събитие в ролята на археологичен часовник, т.е. като измерител на времето. След нулирането състоянието на дозиметъра-часовник не бива вече да се нарушава – било чрез загряване, било чрез осветяване – чак до постъпването на пробите в лабораторията за измерване. Тук се налага да разграничим два случая: (а) когато се анализира луминесцентен запис в песъчинките, които са **вътре в обема** на фрагменти от печена керамика или в обема на хоросанова проба, от случая (б) когато се анализира луминесцентен запис в песъчинките **само по повърхността** на каменни блокове. Вторият случай (б) технически е по-сложен за изпълнение – тогава се налага всички операции – вземането на пробата, преноса ѝ до лабораторията, обработката и самото измерване на луминесцентния сигнал – да се извършат в почти

пълна тъмнина или най-много под слабо червено осветление (подобно на класическа фотографска лаборатория), за да се избегне неволно активиране и изтриване на луминесцентния запис, преди още да е бил измерен в лабораторията. В първия случай (а) вземането на пробата и преносът ѝ до лабораторията могат да се извършат на дневно осветление, но по-нататъшното изследване става също в затъмнена лаборатория.

Ето няколко конкретни примера за нулиращи събития, мислими в археологията:

I – Хората създават предмет от глина, която съдържа в обема си кварцови песъчинки. После изпичат съда при температури около и над 500 °C. Топлината от изпичането изтрива целия геоложки луминесцентен запис в песъчинките по целия обем на съда – **термично нулиращо събитие**. След това съдът не се подлага на термична обработка при толкова високи температури. В неговите кварцови песъчинки започва от нула акумулирането на нов археологичен запис $D_{\text{арх}}$, под въздействието на радиоактивния фон, и съответен луминесцентен запис $L_{\text{арх}}$.

II – Хората отцепват блок от скала, съдържаща кварц, обработват повърхността му и го преместват, за да го използват за създаване на мегалитно или друго съоръжение. Докато траят тези операции, слънчевото осветяване изтрива записа от кварцовите зърна по повърхността на блока в слой с дебелина около 100 μm – **светлинно нулиращо събитие**. От момента на сглобяването или забиването обаче, подземните части от блока остават в тъмнина и по тяхната повърхност, под въздействието на радиоактивния фон, започва от нула акумулирането на нов археологичен запис – $D_{\text{арх}}$, $L_{\text{арх}}$.

III – Хората извличат пясък от речното корито. Докато го изсушат, пресепят и смесят с варов разтвор, за да получат хоросан, песъчинките се осветяват достатъчно дълго време от слънцето и то изтрива целия геоложки запис оттам – **светлинно нулиращо събитие**. С хоросана се зидат стени на крепости или храмове. От момента, когато хоросанът се втвърди, песъчинките във вътрешността му остават на тъмно и там, под въздействието на радиоактивния фон, започва от нула акумулирането на нов археологичен запис – $D_{\text{арх}}$, $L_{\text{арх}}$.

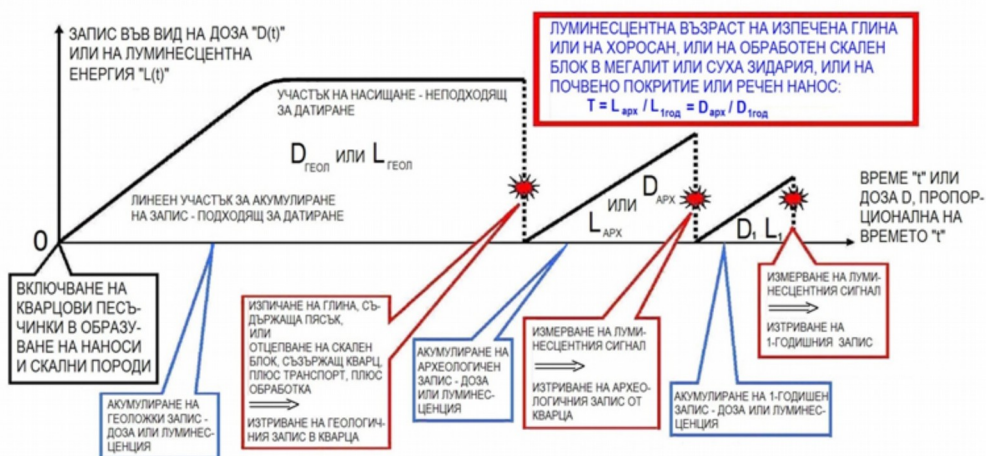
IV – Хората изкопават дълбока яма и създават в нея някакъв обект, а изкопаната пръст натрупват наоколо. Докато трае копаенето и натрупването, слънцето изтрива геоложкия запис от кварцовите песъчинки – **светлинно нулиращо събитие**. Оттогава пръстта под повърхностния почвен слой не е била повече обработвана, така че е останала на тъмно до предприемането на археологичните разкопки. Там, скоро след изкопаването, под въздействието на радиоактивния фон е започнало от нула акумулирането на нов археологичен запис – $D_{\text{арх}}$, $L_{\text{арх}}$.

V – Кремъкът в химично отношение е форма на силициев диоксид, както и кварцът; различават се структурно, но имат сходство спрямо оптичното да-

тиране. Хората дялат скала (напр. гравират рисунки върху открита скална стена) с помощта на кремъчни оръдия на труда. При дялането тънки люспи от кремъка се ронят върху земята и слънчевото греее бързо избелва натрупаната в тях геологична доза, респ. луминесценция – **светлинно нулиращо събитие**. После люспите относително бързо се затрупват от почвени наноси и остават на тъмно, започвайки акумулиране на нов археологичен запис – $D_{арх}$, $L_{арх}$.

Описаната еволюция на една кварцова песъчинка, употребена като археологичен дозиметър-часовник, е илюстрирана на Фигура 7.

ЛУМИНЕСЦЕНТНА БИОГРАФИЯ НА КВАРЦОВА ПЕСЪЧИНКА В ОБЕМА НА ПЕЧЕНА КЕРАМИКА, В ОБЕМА НА ХОРОСАНОВА МАЗИЛКА ИЛИ ПО ПОВЪРХНОСТТА НА СКАЛЕН БЛОК, ЗАБИТ В ТЕРЕНА ЗА МЕГАЛИТЕН СТРОЕЖ ИЛИ УПОТРЕБЕН В СУХА ЗИДАРИЯ



Фигура 7. Кварцова песъчинка като геологичен и археологичен дозиметър и часовник

ПРОБИ И АПАРАТУРА ЗА OSL-ИЗМЕРВАНИЯ

Показанието на този дозиметър-часовник $D_{арх}$ може да се измери, регистрира, прочете, като се превърне $D_{арх}$ в съответна луминесценция $L_{арх}$. Тънкостта на всичките луминесцентни датировъчни процедури се състои в следното: да се осигури **еднозначна** връзка между записа **D**, който представлява акумулирана електронна свръхенергия, и пълния луминесцентен сигнал **L**, чрез който добиваме информация за електронната запасена енергия, т.е. да разчетем правилно показанията на природния дозиметър.

За правилно разчитане постепенно се създават все по-прецизни измерителни протоколи – препоръки за поредица от лабораторни операции. Тук ще дадем само бегла представа за процедурите.

В началото на процедурата е вземането на проба по правилен начин и нейното предварително оформяне, така че да се избегне деформирането на запасения (натрупания) латентен луминесцентен сигнал.

Исходната проба може да има различен произход:

- пясък от геологичен произход, т.е. от дюни;
- пясък, извлечен от керамика чрез поредица физико-химични процедури, но така, че да не се стигне до механична, термична или светлинна стимулация на луминесценция;
- пясък, изстърган от повърхността (до дълбочина около 50 μm) на каменен блок, която е била на тъмно от изграждането на обекта до намирането му;
- песъчинки от древен хоросан.

Исходната проба трябва да се взема внимателно. От сърцевината или от повърхнинния слой на образеца, която никога не е излагана на светлинно облъчване, се извличат кварцови песъчинки за анализ. Цялата подготовка на материала, подлежащ на оптично датиране, трябва да се извършва в **тъмна стая** – като фотолаборатория - при съвсем приглушено червено или оранжево осветление, понеже облъчването с обикновена бяла светлина може да избели, да нулира, да изсвети луминесцентните уловки и така да повлияе на пълния сигнал. Особено важно изискване е пробата да се прочисти максимално от фелдшпат. Този минерал има луминесцентни характеристики, които са близки до кварца, но не са подходящи за датиране и затова присъствието му в пробата може да компрометира цялото измерване.

Исходната проба по своята луминесцентна история може да бъде:

– „*коректна, еднозначна в термичен смисъл*“: кварцовите песъчинки са били в състава на глинен съд, а съдът *нито е бил* опожаряван след изпичането, *нито е стоял дълго* време на слънчево осветление след изкопаването му (т.е. не е подлаган на термо- или фотостимулиране, което да доведе до частично или пълно луминесцентно изсветване и така да компрометира датиروската);

– „*коректна, еднозначна в оптичен смисъл*“: взета е от контактната повърхнина на каменен блок, *който е бил на тъмно* от момента на изграждането на древния обект (долмен, зид или хоросан в зида), до вземането на пробата на тъмно или при червено осветление нощем;

– „*неопределена, нееднозначна*“: става дума за наносен пясък от дюни и подобни геологични обекти; при него не се знае изобщо кога, как и колко време е бил осветяван от слънчева светлина; освен споменатите неопределености, различните песъчинки са били изложени на слънчева светлина различно дълго време, т.е. повечето от тях са частично избелени, при това в неизвестна степен; за да има смисъл OSL-датируката при такава проба са нужни специални мерки и процедури.

Според количеството кварцови песъчинки, които са нужни за датирането, протоколите търпят развитие към миниатюризация.

Най-ранните протоколи изискват практически поне 100-тина **сходни по размери и тегло порции (аликвоти), които произхождат от една и съща**

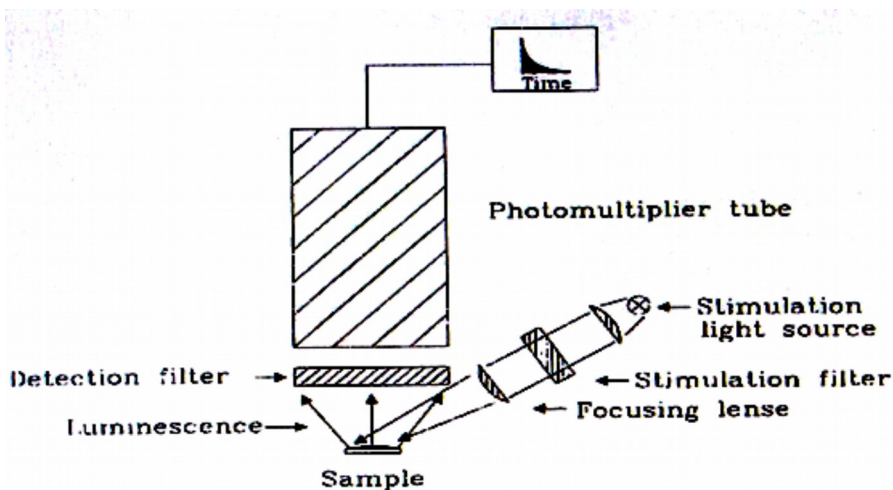
геоложка или археоложка проба. Предполага се, че усреднено взето, луминесцентните характеристики на аликутите им са идентични и в такъв смисъл всички те са равностойни с пробата като цяло спрямо измерителните процедури по датировката. Примерно, при едрозърнести образци 1 аликута кварцов пясък тежи към 4 mg и съдържа 1000 – 10 000 песъчинки с диаметър между 90 и 200 μm ; те се разполагат монослойно върху диск от неръждаема стомана с диаметър ~ 10 mm, при което се мери едновременно луминесценцията на всичките зърна.

В последните години се установи, че индивидуалните зърна от многочастичната проба може силно да се различават по луминесцентните си свойства поради разлики в химичния състав и кристалната структура, които присъстват в естествените минерали. Поради това датският производител *Risø* създаде *OSL* четец, който позволява да се изследва луминесценцията от отделни едри зърна с диаметър 100-300 μm . Стимулацията става чрез 10 mW Nd:YVO₄ DPSSL (*diode pumped solid state laser*), излъчващ при 532 nm, който създава еднородно осветено петно с диаметър 120 μm върху мястото на зърното. Така може да се анализират стотици и дори хиляди отделни зърна от една и съща аликута по достатъчно бърз начин. Индивидуалният луминесцентен анализ доведе до извода, че всяко кварцово зърно има свои специфични луминесцентни характеристики. Дори при една и съща погълната доза не всички кварцови зърна излъчват еднаква луминесцентна енергия. Твърде малка част от зърната имат принос към общата луминесценция, а още по-малка част от зърната са луминесцентно свръхярки. Например, 90-95% от totalната излъчена светлинна сума произхожда от 5-10% от зърната!

Основни лабораторни оптични измерителни процедури при OSL-датиране. Фигури 8 и 9 показват съвременната апаратура за луминесцентно датиране. Тя се произвежда от датския изследователски център *RISØ*, съвсем компактна е (побира се върху бюро) и понастоящем струва около 300 000 евро. *OSL* се мери обикновено при стайна или не много висока температура.



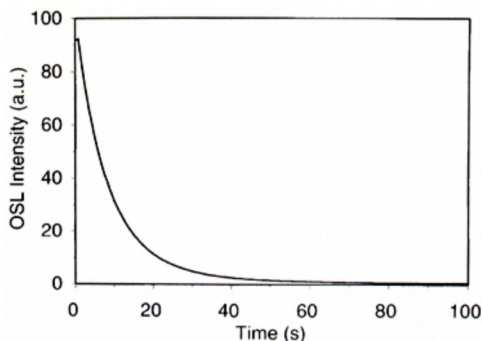
Фигура 8. Четец за термо- и оптически стимулирана луминесценция, модел *Risø TL/OSL-DA-20*



Фигура 9. Принципна схема на четеца за OSL-датиране със стимулираща светлинна източник, фотоумножител-детектор и филтърната система

Измерителната процедура съдържа два основни етапа: стимулация и регистрация на фотолуминесценцията.

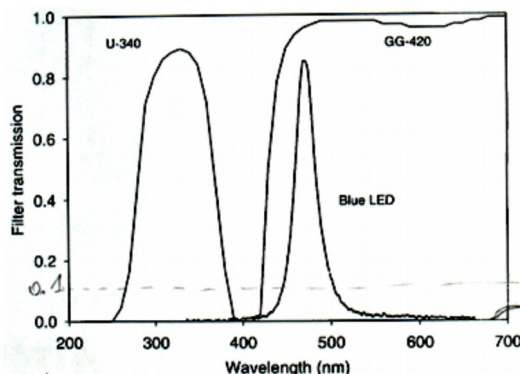
Стимулацията може да стане със синя, синьо-зелена, зелена светлина (при кварц и при фелдшпат) или с инфрачервена светлина (само при фелдшпат).



Фигура 10. Типично изсветване на OSL-сигнал от кварц, облъчен с бета доза от 2 Gy и стимулиран със синьо-зелена ивица 420-550 nm дължина на вълната и с мощност 16 mW/cm^2 в мястото на образца

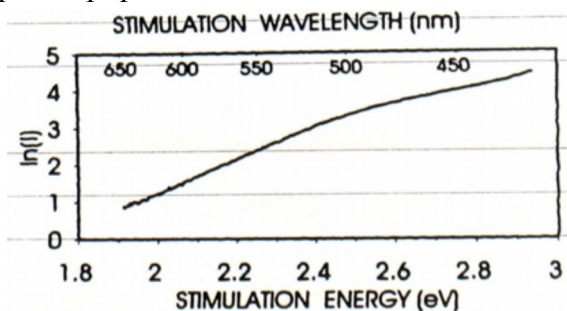
OSL сигналят при фотостимулация се регистрира като времево затихване (*decay curve*) – при постоянно или импулсно възбуждане. За удобство OSL, излъчена при рекомбинация на избитите от уловките заряди, се мери в спектрална област, различна от тази на възбуждащите фотони. Фотолуминесцентният сигнал обикновено се регистрира при постоянен интензитет на възбуждащата светлина като функция от времето при постоянна температура, малко над стайната. Най-често се работи само с глобалния, спектрално

неразложен луминесцентен сигнал $L(t)$. Той затихва с времето най-често по едноекспоненциален (*OSL shine-down curve* – крива на изсветването) (Фигура 10). Когато стимулирането трае достатъчно дълго, всичките светочувствителни уловки се изпразват. Пълната енергия на записания сигнал (площта под кривата на изсветването), наречена светлинна сума (*the light sum*), е пропорционална на броя уловени електрони, респ. на акумулираната доза.



Фигура 11. Стимулиращ емисионен спектър на сини светодиоди (*blue LED*), трансмисионен спектър на широкоивичен зелен филтър GG-420 и трансмисионен спектър на детекционен филтър Ноуа U-340

При фотостимулираната луминесценция жизнено важно е да не се допуска стимулираща светлина да попадне в регистриращия фотоумножител (ФЕУ)! Трябва да се съчетават добре спектърът на възбуждащия източник, пропускането на стимулиращия филтър и пропускането на детектиращия филтър – интервала, където се сема луминесцентен сигнал. За целта се ползват комбинации от подходящи филтри (Фигура 11). Отношението между мерения интензитет на стимулиращото лъчение и мерения сигнал от ФЕУ трябва да бъде поне 10^{-16} , за да бъде достатъчно потиснато влиянието на стимулацията върху регистрирания сигнал.

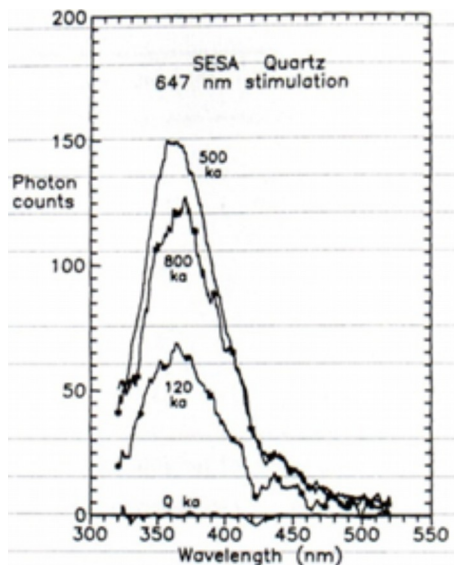


Фигура 12. Стимулационен спектър за кварц

Стимулиращият спектър (спектърът на фотовъзбуждането на луминесценцията) показва ефективността, с която светлина с дадена дължина на

вълната е способна да предизвика луминесценция в даден минерал. Той помага да се оптимизира възбуждането в минерала така, че да се постигне най-силен луминесцентен отзвук. Интензитетът на луминесценцията от кварц расте, когато расте енергията на възбуждащите кванти, т.е. когато намалява дължината на тяхната вълна (Фигура 12).

Вижда се също така, че практически никаква луминесценция не може да се възбуди в кварц чрез облъчване с инфрачервена светлина. Вълни с дължина над 690 nm изобщо не са луминесцентно ефективни. Практически се предпочита възбуждане с $\lambda > 500$ nm.



Фигура 13. Примери за OSL емисионен спектър от кварц при стимулация с 647 nm (подобни са и при стимулация с 514.5 nm). Трите криви отговарят на дюни с различна възраст от югоизточното крайбрежие на Южна Австралия

(Фигура 13).

ПРОТОКОЛИ ЗА OSL-ДАТИРАНЕ

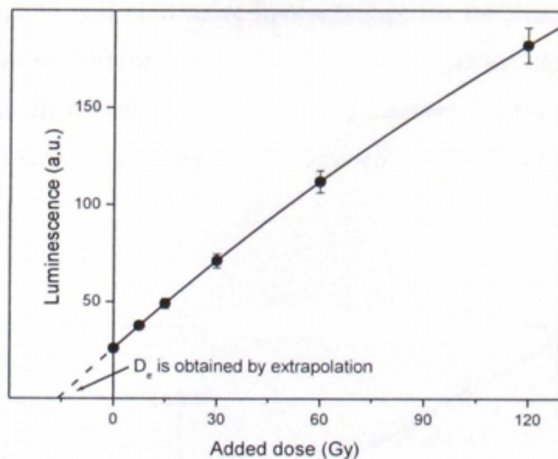
Днес съществуват няколко основни типа протоколи за датирането, които се различават по начина на построяване на т.нар. крива на дозов отклик (*dose-response curve*, *growth curve*) на луминесценцията, респ. по начина, по който от тези криви се извлича информацията за датирането на образца.

Един от ранните методи е **многоаликвотният метод на добавената доза** (*additive dose method*, *AD method*). От всеки образец се приготвят десетина

Исторически за възбуждане на фотолуминесценцията на кварца са ползвани разнообразни източници, най-напред линията $\lambda = 514.5$ nm от аргонов йонен лазер, освен това филтрирана светлина от халогенна лампа или от ксенонова дъгова лампа. В последните години – с увеличаване на мощността и стабилността им – се ползват единични бройки или батерии от 20-тина зелени светоизлъчващи диоди (*green LEDs*) или сини светоизлъчващи диоди (*blue LEDs*) – при около 470 nm.

Емисионният спектър носи информация за луминесцентните центрове в минерала, т.е. кварца в случая. Той позволява да се подбере регистрационния интервал (спектрален прозорец), който е най-подходящ за измерванията при датирането, понеже различните участъци от луминесцентната емисия може да имат различни характеристики спрямо стабилност (*stability*), избелваемост (*bleachability*) и дозов отклик (*dose-response*)

и повече аликвоти. Те се разделят на групи. Една *основна* или *естествена натурална група* ($N - natural$) се заделя като контролна, за да се измери нейният естествен OSL-сигнал. Останалите (*помощни, неосновни*) групи (0, 1, 2, 3, 4, 5 ...) служат да се построи кривата на дозовия отклик. Аликвотите от неосновните (помощните) групи се облъчват с допълнителни, добавени дози над нивото на тяхната естествена доза с помощта на калибриран лабораторен бета-източник, докато луминесцентният сигнал от основната аликвота се на-нася в точка, отговаряща на нулева добавена доза (Фигура 14). От така построената крива, неизвестната натурална доза $D_e (= D_{arch})$ в основната група аликвоти се намира чрез екстраполация към отрицателните стойности на абсцисата – от нулата до мястото, където графиката я пресича.

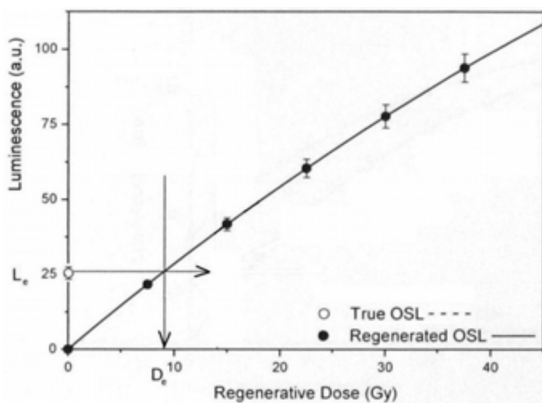


Фигура 14. Крива на дозов отклик. Търсената археологична доза D_e се намира чрез екстраполация

Екстраполацията, обаче, силно зависи от предполагаемия вид на функцията на дозовия отклик – линейна, експоненциална, полиномна и т.нар. Този фундаментален недостатък се преодолява чрез т.нар. регенеративни техники.

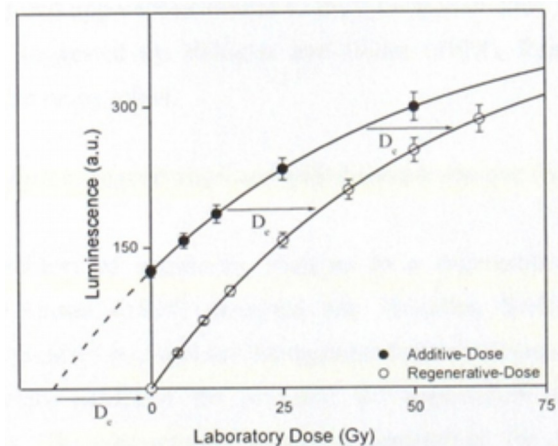
Като пример давам тук т.нар. **многоаликвотен метод на регенеративната доза** (*Multiple-Aliquot Regenerative-Dose Technique – MARD*). При него, като оставим настрана контролната група аликвоти, всичките останали аликвоти (i) най-напред се избелват напълно, за да се премахне изцяло от тях археологичната доза; (ii) после получават известни лабораторни бета-дозы – тези именно дози се наричат регенеративни, понеже са наложени върху нулево начално ниво, след като сигналят от оригиналната доза е бил избелен, нулиран и накрая (iii) се измерва пълният им фотолуминесцентен сигнал, за да се построи кривата на дозов отклик. Най-същественото тук е регенеративните дози да се подберат така, че получените от тях фотолуминесцентни сигнали да обхващат естествения сигнал (Фигура 15). Така натуралната еквивалентна

доза D_e ще се определи чрез интерполация. Тъй като неопределеността при избора на фитващата функция е по-малка, регенеративните техники обеща-ват да са по-точни от адитивните, където се ползва екстраполация.



Фигура 15. Крива на дозов отклик при протокола MARD

Регенеративните техники, макар да са стъпка в правилна посока към уточняване на измерванията, имат друг недостатък – пълното избелване и следващото облъчване с някакви (немалки) дози могат да променят луми-несцентните характеристики на песъчинките по начин, който *a priori* не е известен. Чувствителността (луминесценцията при единица погълната доза) на натуралната (контролната) аликувта може да се отличава от чувстви-телността на неосновните аликувти, подложени на избелване и повторно ла-бораторно облъчване.



Фигура 16. Лявата крива на дозов отклик е снета по метода на добавената доза, а дясната – по метода на регенеративната доза. Двете криви са идентични с изключение на хоризонталното отместване по координатата на дозите. Извърш-ва се фитване, като се приплъзне лявата крива, докато съвпадне с дясната.

Търсената еквивалентна или археологична доза D_e се определя като дозата за отместването, която позволява да съвпадат двете криви

При опитите да се преодолеят недостатъците на горните две техники е създаден хибриден или комбиниран подход, получил името **австралийско приплъзване** (*Australian Slide Technique, AS*). Той е удобен особено при образци, където естествената доза е толкова висока, че наближават своето луминесцентно насищане, където неопределеностите във фитващите функции за кривите на дозов отклик стават твърде големи. При този подход натуралната (естествената) еквивалентна доза D_e се определя като големината на хоризонталното приплъзване (транслация), което се изисква, за да се съвместят (да съвпадат) предварително измерените криви на дозов отклик с адитивната и с регенеративната техника. Така изцяло известната *regenerative-dose curve* се използва като **мостра** за липсващата екстраполационна част от *additive-dose curve* (Фигура 16).

С изложеното дотук е показана същината на процедурата за луминесцентно датиране. В следващата част от статията ще бъдат дадени конкретни примери за ситуации в археологията, където това датиране може да бъде полезно и оправдано.

(Продължение в следващия брой)

Литература

- [1] И. Кулев, *Археометрия*, Изд. на СУ „Св. Кл. Охридски“, София 2012.
- [2] M.J.Aitken, *An Introduction to Optical Dating*, Oxford University Press, 1998.
- [3] C. Athanassas, L.G. Sanjuán, K. Theodorakopoulou, M. Jain, R. Sohbat, G. Guerin, J.A.L. Rodríguez, *Testing the Potential of Optically Stimulated Luminescence (OSL) for the Dating of the Antequera Megaliths (Málaga, Spain): Assessing the Results of the First Round of Sampling – MENGA – Journal of Andalusian Prehistory*, Vol. 6, No. 7, 2016, pp. 157-167.
- [4] R. Chen, V. Pagonis, *Thermally and Optically Stimulated Luminescence*, John Wiley & Sons, UK 2011.
- [5] I. Liritzis, *Surface Dating by Luminescence: An Overview – Geochronometria*, Vol. 38, No. 3, 2011, pp. 292-302.
- [6] I. Liritzis, A.K. Singhvi, J.K. Feathers, G.A. Wagner, A. Kadereit, N. Zacharias and Sheng-Hua Li, *Luminescence Dating in Archaeology, Anthropology and Geoarchaeology. An Overview*, Springer Briefs in Earth System Sciences, Springer 2013.
- [7] *New Technologies for Archaeology: Multidisciplinary Investigations in Palpa and Nasca, Peru*, Eds. M. Reindel, G.A. Wagner, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2009.

[8] E. Yukihiro, S. McKeever, *Optically Stimulated Luminescence*, John Wiley & Sons, UK 2011.

LUMINESCENCE DATING IN ARCHAEOLOGY: PART I

Lyubomir Tsonev

This article presents a modern physical method for dating ancient buildings and fired ceramics, invented around 1960 in the UK, which is still not used in Bulgaria – Optically Stimulated Luminescence (OSL). The main advantage of luminescent dating is that it is applicable to a material abundant in excavations or in masonry buildings: quartz sand. In some cases, OSL may be less accurate than other methods, but it remains without competition in situations where the object under examination does not contain organic material suitable for radiocarbon dating. Today OSL method works reliably in the interval from 200 to about 50 000 years BP (before present) and the error is reduced to less than 7%.

The article has two objectives. On one hand, it describes the essence of the method. On the other hand, it gives an idea of how to carry out archaeological excavation or architectural restoration *today* so as not to compromise the possibility of optical dating *in the future*.

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

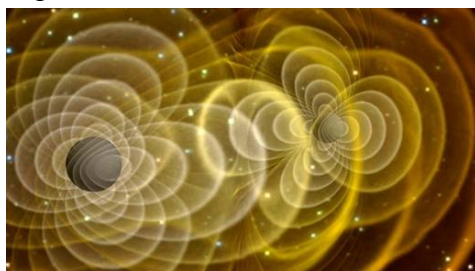
БАНКОВА СМЕТКА НА СФБ
IBAN: BG91FINV91501215737609
BIC: FINVBGSF
ПЪРВА ИНВЕСТИЦИОННА БАНКА

ЗНАЧИМИ СЪБИТИЯ ВЪВ ФИЗИКАТА И АСТРОНОМИЯТА ПРЕЗ 2016 Г.

Подбор и превод: Динко Динев, Сашка Александрова

1. Наблюдаване на гравитационни вълни

Събитие № 1 – това, без съмнение, е първото експериментално наблюдение на гравитационните вълни, предсказани от Айнщайн в Общата теория на относителността (ОТО). Самото откритие е направено на 14 септември 2015 г., но официално изследователите го обявиха на 11 февруари 2016 г. Приетият сигнал съответстваше на модела, теоретично пресметнат за сливане на две черни дупки с маси 29 и 36 пъти масата на Слънцето. За втори път гравитационни вълни, възникващи при сливане на черни дупки с по-малки маси – 14,2 и 7,5 пъти масата Слънцето, бяха регистрирани на 26 декември 2015 г., а съобщението се появи на 15 юни 2016 г. Получените данни бяха силен аргумент в полза не само на ОТО, но и за съществуването на черни дупки, също предсказано от тази теория.



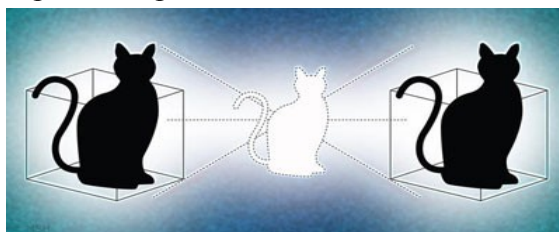
*Числено моделиране на гравитационни вълни от сближаващи се черни дупки.
Илюстрация: Henze / NASA*

Гравитационните вълни бяха регистрирани от уникалния лазерен интерферометър *LIGO* (*Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*), в създаването на който участваха над 90 научни организации от 16 страни. Изследователите смятат, че *LIGO* ще стане ефективен инструмент на гравитационно-вълновата астрономия, която ще позволи получаването на много нови знания за Вселената: за ранните етапи на нейното развитие, за тъмната материя, за областите, където се нарушава ОТО.

2. Котката на Шрьодингер живее и умира в две камери едновременно

В Университета Йеил в САЩ и INRIA (*Institut de recherche en informatique et en automatique*) в Париж, Франция, е намерен нов подход към

популярния квантов парадокс *Котката на Шрьодингер*. Кутиите, в които държат котката на Шрьодингер (*Schrödinger*), са две преплетени микровълнови кухни. Котките представляват големи ансамбли от фотони, които съществуват във всяка кухня. Тези ансамбли могат да бъдат в едно или две квантови състояния – жив или мъртъв. Изследователите са успели да доведат цялата система в състояние, при което и двете котки (в двете камери) да са едновременно живи или мъртви, докато трае експериментът. Освен нова илюстрация за това как котката на Шрьодингер може да бъде на две места наведнъж, големият брой фотони в такива „котешки състояния“ може да осигури стабилен начин за съхранение на квантова информация, използвайки протоколи за коригиране на грешки.



Котката на Шрьодингер

3. Спектърът на антиводорода



Установка за измерване на спектъра на антиводорода с висока точност

Третото значително събитие в света на физиката е получаването на оптичния спектър на антиводорода, атомът на антиматерията. Това постижение е резултат от над 20 години съвместна работа на учените по експеримента *ALPHA* (ЦЕРН). Така за пръв път бяха сравнени спектрите на антиматерия и материя. Изследователите доказаха, че оптичният спектър на антиводорода е идентичен с този на водорода, както и следва да бъде съгласно Стандартния

модел на физиката на елементарните частици. (Виж статията „Линията за производство на антиводород в действие при експеримента *ASACUSA* в Церн“, *Светът на физиката*, брой 3/4 от 2016 г.).

4. Нанотранзистор

Физиците от Националната лаборатория Лоурънс в Бъркли (САЩ) създадоха най-малкия понастоящем транзистор с дължина на гейта само 1 nm. Досега се считаше, че гейт под 5 nm е непостижим поради квантови ограничения. Сега се откриват перспективи за по-нататъшна миниатюризация в електрониката. Ключовият момент е използването на въглеродни нанотръбички и молибденов дисулфид (MoS_2), смазващо средство, което обикновено се продава в магазини за авточасти. MoS_2 е част от семейство материали с огромен потенциал за приложения в светодиоди, лазери, наноразмерни транзистори, слънчеви клетки и др.

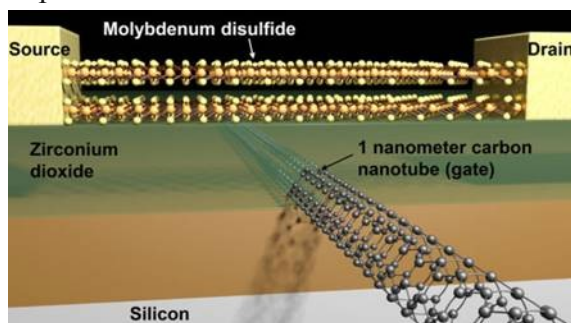
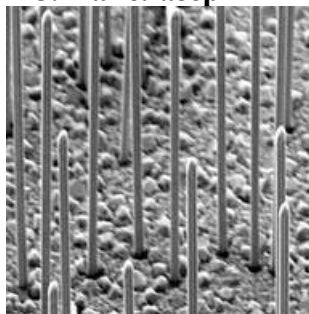


Схема на транзистора

Постижението може да бъде ключова стъпка към запазването на прогнозата на съоснователя на *Intel* Гордън Мур (*Gordon Moore*), че плътността на транзисторите на интегрална схема ще се удвоява на всеки две години, което ще позволи усъвършенстване на нашите лаптопи, мобилни телефони, телевизори и друга електронна апаратура.

5. Нанолазер



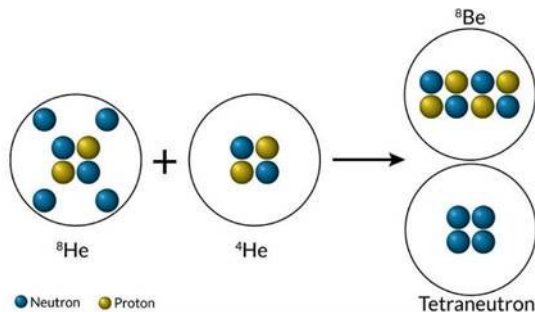
Наножички от GaAs върху Si повърхност

Още една крачка по пътя на миниатюризацията на приборите чрез замяна на електроните с фотони (това направление на изследванията се нарича фотоника) беше направена от физици в Техническият университет в Мюнхен (Германия), които създадоха лазер, чийто размер е хиляда пъти по-малък от диаметъра на човешки косъм. За работата на оптичните чипове е необходим лазерен източник на светлина – миниатюрен лазер, който да може да се интегрира на повърхността на кристала на микросхемата. Използвано е отлагане на наножички, сто-

ящи върху силициев кристал, за което се изисква сложно оборудване и експериментиране.

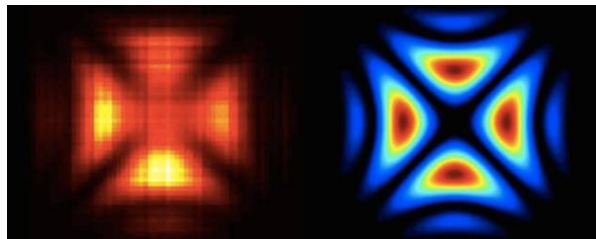
6. Тетранеутрон

Изследователи от японския Институт за химически изследвания откриха така наречения тетранеутрон – частица, състояща се от четири неутрона. Ако откритието се потвърди, ще се наложи да се преразгледат съществуващите модели за атомното ядро, тъй като според всички тях се смята, че неутроните не могат да се съединяват без протони. Статистическата значимост на опита е достатъчно висока и съставлява 4,9 от стандартното отклонение (да напомним, че при стойности 5 и повече частицата се смята за открита). Въпреки това, все пак е необходима проверка чрез независими експерименти.



Тетранеутронна система, получена в реакция с двузаряден обмен ${}^4\text{He}$ (${}^8\text{He}$, ${}^8\text{Be}$)

7. Холограма от единичен фотон



Холограма от единичен фотон: реконструкция по измервания (вляво) и теоретично предсказана (вдясно). Илюстрация: Варшавски университет (University of Warsaw)

Във Варшавския университет е получена първата в историята холограма от единичен фотон, което преди се считаше за невъзможно. С помощта на холограмата може да се наблюдава „формата“ на фотона – неговата вълнова функция, която е най-важната квантова характеристика на частиците. Пространствената структура на фотона представлява голям интерес за изследванията в областта на квантовата връзка, изчисленията, в експерименти по преплитане на фотони и много други. Досега нямаше прост експериментален метод, позволяващ получаването на информация за фазата на вълновата

функция на фотона. Фотографията в този случай не може да се прилага, тъй като определя само интензитета на светлината. За разлика от нея холограмата позволява да се регистрира и фазата на вълната.

8. Планета на звездата Проксима Кентавър

През август астрономи от Европейската южна обсерватория (ESO) обявиха, че най-близката до нас звезда *Проксима Кентавър* има планета от земен тип, която получи названието *Проксима Кентавър b*. Тя беше открита посредством измервания на колебанията налъчевата (насочена към наблюдателя) скорост на звездата с точност до няколко метра в секунда. По оценка на астрономите, минималната маса на планетата е равна на 1,27 пъти земната, разположена е само на 7 милиона километра от звездата и прави пълно завъртане около нея за 11,2 дни. Ако плътността на планетата е близка до земната, то и радиусът ѝ ще бъде близък до земния.



Фотография на Проксима Кентавър, направена от телескопа „Хъбъл“, Фото: Hubble / ESA

Проксима Кентавър b се намира в така наречената обитаема зона на звездата, където температурата на повърхността на планетата позволява водата да се намира в течно състояние. Възможно е на нея да има и живот, въпреки че твърде близкото разположение до светилото намалява силно вероятността за това.

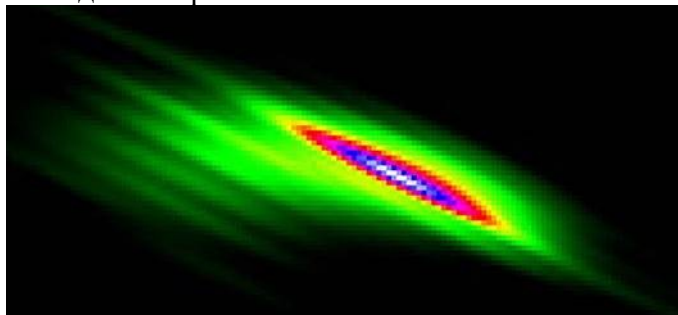
9. Уточняване на константата на Хъбъл

Астрономи от НАСА и Европейската космическа агенция (ЕКА) под ръководството на Нобеловия лауреат по физика за 2011 г. Адам Рис (*Adam Riess*), един от първооткривателите на ускореното разширение на Вселената и на тъмната енергия, уточнили константата на Хъбъл и открили, че Вселената се разширява още по-бързо, отколкото се смяташе преди. Разликата представлява 5 – 9%. В хода на изследванията на 19 близколежащи галактики астрономите, с помощта на космическия телескоп Хъбъл, пресметнаха разстоянията примерно до 2400 цефеиди и 300 свръхнови от типа *Ia*, които служат като „пътни жалони“ за съвременната астрономия. Изследователите

успяха да калибрират метод, определяйки разстоянията до най-близките цефеиди с помощта на паралакса. Това, че Вселената се разширява по-бързо, отколкото се смяташе, вероятно означава, че при еволюцията ѝ съществена роля играе още една хипотетична тъмна съставяща – тъмното излъчване.

10. Успех на „Радиоастрона“ и галактическите джетове

При изследване на галактики с активно ядро *BL Lacertae* по метод на интерферометрията с много дълга база, проведено с помощта на десетметровия космически радиотелескоп „Радиоастрон“ (Русия) и 15 наземни радиотелескопи в Русия, Европа и САЩ, астрономите успяха да постигнат рекордна ъглова разделителна способност за цялата история на астрономическите наблюдения: 21 дъгови микросекунди. Това е повече от хиляда пъти по-добра разделителна способност от тази на космическия телескоп Хъбъл, а с оптичен телескоп с такава ъглова разделителна способност ще може да се види кибритена кутийка на повърхността на Луната. Основата на интерферометъра е 7,9 земни диаметъра.



Излъчване от блазара в съвездието Гушчер, регистрирано с помощта на радиотелескопа „Радиоастрон“. Фото: mpfir-bonn.mpg.de

Увеличението на ъгловата разделителна способност позволи с голяма точност да се изследват джетове – струи частици (плазма), движещи се със скорост, близка до светлинната, от центъра на галактиката и достигаща по дължина няколко светлинни години. Това прави *BL Lacertae* много мощен източник на електромагнитно излъчване във всички диапазони – от радио-до гама-излъчване.

11. Завършване на полета на „Розета“

Сондата на Европейското космическо агентство „Розета“, която повече от две години изследваше кометата на Чурюмов-Герасименко, завърши своята мисия на 30 септември 2016 г. В течение на почти 14 часа апаратът се спускаше (тоест, изпълняваше управляемо падане) на повърхността на небесното тяло от височина 19 m; за това време стана възможно да се изследват газовете, праха и плазмата на кометата много близко до повърхността ѝ, а

също така и да се заснемат изображения с много висока разделителна способност.



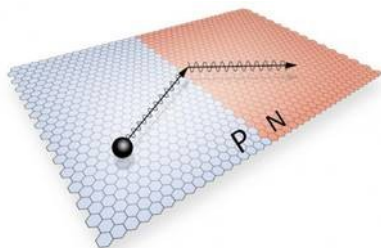
Симулиране на приближаването на космическата сонда „Розета“ към кометата 67P / Чурюмов-Герасименко (<http://www.focus.de/wissen/weltraum>)

От момента на пускането през 2004 г. сондата „Розета“ извърши повече от пет обиколки около Слънцето, изминавайки почти 8 милиарда километра, три пъти прелитайки около Земята и по един път – около Марс и два астероида. „Розета“ стана първият в историята космически апарат, не само пътешестваш заедно с комета, но и спуснал на нея през ноември 2014 г. изследователска сонда. В хода на мисията бяха направени няколко важни открития. В частност се оказа, че в леда на кометата се съдържа достатъчно много тежка вода, което противоречи на хипотезата за кометния произход на водата на Земята. Съвкупността от данни за структурата на кометата и нейния газопропранов състав показва, че тя се е родила в много студена област на протопланетния облак преди повече от четири и половина милиарда години, когато Слънчевата система още се е формирала. Голям интерес представлява откриването на аминокиселината глицин, която се среща в белтъците, на фосфор – ключова компонента на ДНК, и други органични съединения.

12. Отрицателно пречупване на електрони, открито в графен

В университетски лаборатории в САЩ и Япония е открито отрицателно пречупване на електрони в графен. Отрицателното пречупване (пречупеният лъч е от същата страна на нормалата към границата, както падащият) е свойство на някои изкуствено получени материали – метаматериали – и може да се използва за създаването на нови оптични прибори, като напр. перфектни лещи. Електроните в материалите могат да се държат като светлина и може да се наблюдава отрицателно пречупване на границата между n -тип и p -тип полупроводник (p - n преход). Доказано е, че такъв ефект не съществува в конвенционалните полупроводници, тъй като повечето електрони се отразя-

ват от p - n прехода. Изследователи от тези лаборатории са създали p - n преход в графен. Успели са да направят интерфейса на прехода много гладък и с това да минимизират отражението на електроните, което е позволило да наблюдават отрицателно отражение на електроните. Отрицателното отражение може да се използва за силно фокусиране на разходящ електронен сноп, което позволява да се построи електронен превключвател с много ниска консумация на енергия.



Отрицателно пречупване на електрони в двумерен материал – графен

ЛИТЕРАТУРА

По материали от „Наука и живот“ №1, 2017 и „Physics World“ Dec 12, 2016

BREAKTHROUGHS IN PHYSICS AND ASTRONOMY IN 2016

selection and translation: **Dinko Dinev, Sashka Aleksandrova**

A short review on some important achievements made in physics and astronomy in 2016 is presented. Included are (no particular order): the discovery of the gravitational waves; Schrödinger's cat lives and dies in two boxes at once – new approach to the a much-loved quantum paradox; the first ever measurement on the optical spectrum of an antimatter atom – antihydrogen; the smallest ever build nanotransistor, using carbon nanotubes; nanolaser based on GaAs nanowires grown on Si; confirmation of the existence of the tetra-neutron – a four neutron-no proton particle; demonstration of single-electron hologram; rocky planet found in habitable zone around Sun's nearest neighbor; precisising the value of Hubble's constant; galactic nuclei investigation through Russian RadioAstron orbiting radiotelescope and galactic jets observation; completion of Rosetta's mission and establishing of negative refraction of electrons in graphene.

ЧЕТИРИТЕ НОВИ ЕЛЕМЕНТА

На 28 ноември 2016 г. Международният съюз за теоретична и приложна химия (*IUPAC – International Union of Pure and Applied Chemistry*) утвърди четирите нови химични елемента с атомни номера 113, 115, 117 и 118. Откривателите трябваше да им дадат названия и означения.

На 8 юни 2016 г. *IUPAC* официално препоръча да се приемат предложенията от откривателите названия:

нихоний (*Nihonium*) и символ **Nh** за елемент 113

московий (*Moscovium*) и символ **Mc** за елемент 115

тенесин (*Tennessine*) и символ **Ts** за елемент 117

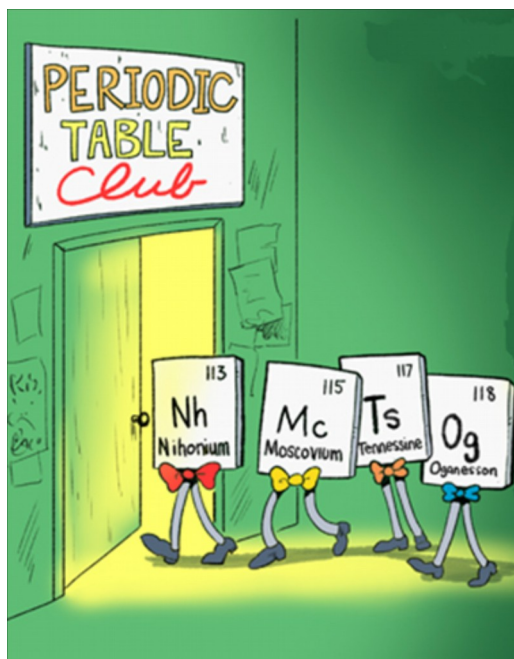
оганесон (*Oganesson*) и символ **Og** за елемента 118.

След пет месеца публични обсъждания съветът на *IUPAC* утвърди названията и новата четворка заема полагащите ѝ се места в Периодичната таблица на Д. И. Менделеев.

Коментарите на широката общественост през 5-месечния период са били много. Освен многото пълни съгласия, са получени коментари, предлагащи други имена, в някои случаи придружени от петиции от големи групи хора. Спазено е обаче изключителното право на откривателите да предлагат названия.

Поддържайки традицията, новооткритите елементи са кръстени на географско място или на учен. Краят на имената също отразява и поддържа историческа и химическа последователност: „-ium“ за елементи 113 и 115 както за всички нови елементи от групи 1 до 16, „-in“ за елемент 117 и принадлежащите към група 17 и „-on“ за елемент 118 от група 18.

Името нихоний със символа Nh за елемент 113 е предложено от откривателите в центъра *RIKEN Nishina* за науки, базирани на ускорители (Япония). Името е свързано със страната, където е открит елементът, и идва от *Nihon* – един от двата начина да се произнесе „Япония“ на японски и бу-



квално означава „Земята на изгряващото слънце“. Елементът 113 е първият елемент, открит в азиатска страна.

Московий със символа Mc за елемент 115 и тенесин със символа Ts за елемент 117 бяха предложени от откривателите в Обединения институт за ядрени изследвания (ОИЯИ) в Дубна, Русия, Националната лаборатория „Оук Ридж“ (*Oak Ridge*), САЩ, Университета „Вандербилт“ (*Vanderbilt University*), САЩ и Националната лаборатория „Лоурънс Ливърмор“ (*Lawrence Livermore*), САЩ. И двете наименования са в съответствие с традицията за място или географски регион на откритието. Московий признава района на Москва и чества древната руска земя, където е домът на ОИЯИ и където са проведени експериментите по откриването на елементите. Тенесин признава приноса на района на Тенеси в Съединените щати, включително Националната лаборатория „Оук Ридж“, Университета „Вандербилт“ в Нашвил и Университета на Тенеси в Ноксвил. Тенеси е вторият американски щат след Калифорния, който дава название на химичен елемент.

PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

atomic number → 26 ← oxidation states
chemical symbol → Fe
name → Iron
atomic mass → 55.845
STATE OF MATTER: SOLID, GAS, LIQUID
radioactive elements

nonmetals, alkali metals, alkaline earth metals, transition metals, metalloids, post-transition metals, halogens, noble gases, lanthanoids, actinoids

Седмият ред на Периодичната система е завършен с добавянето на новите елементи

В съответствие с традицията за почитане на учен, името оганесон и символът Og за елемент 118 бяха предложени от съвместните екипи на откривателите в ОИЯИ Дубна (Русия) и Националната лаборатория *Lawrence Liver-*

more (САЩ) и признават на професор Юрий Оганесиан (роден през 1933 г.) пионерския принос към изследванията на трансактиноидните елементи. Неговите многобройни постижения включват откриването на свръхтежките елементи и значителен напредък в ядрената физика на свръхтежките ядра, включително експериментални доказателства за „острова на стабилността“.

Вече се работи върху търсенето на елементите от 8-ия ред на периодичната таблица.

ЛИТЕРАТУРА

<http://dx.doi.org/10.1515/pac-2016-0501>

THE FOUR NEW ELEMENTS

The International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) announced the names of the elements 113, 115, 117, and 118. Keeping with the tradition, the newly discovered elements have been named after a place, geographical region, or a scientist. The approved name and symbols for the four elements are: nihonium (Nn), moscovium (Mc), tennessine (Ts), and oganesson (Og), for elements 113, 115, 117, and 118 respectively.

ПОСЕТЕТЕ НАШИЯ САЙТ

wop.phys.uni-sofia.bg

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

ИНСТИТУТЪТ ПО БИОФИЗИКА И БИМЕДИЦИНСКО ИНЖЕНЕРСТВО КЪМ БАН ОТБЕЛЯВА 50-ГОДИШЕН ЮБИЛЕЙ ОТ СЪЗДАВАНЕТО СИ

Вася Атанасова, Северина Семкова

През 2017 г. биофизиката в България чества 50-годишен юбилей. Годишнината беше отбелязана на 23 юни в Големия салон на БАН с тържествено събрание на Института по биофизика и биомедицинско инженерство към Българска академия на науките (ИБФБМИ – БАН), наследник на основаната през 1967 г. Централна лаборатория по биофизика „Проф. Иван Даскалов“ (ЦЛБФ).

Директорът чл.-кор. Андон Косев разказа в детайли историята на Института, а основателят и първи директор на ЦЛБФ – проф. Георги Дечев, който понастоящем живее в Пасадена, Калифорния, беше изпратил поздравителен адрес по повод юбилея. В снимки, факти и спомени бяха отбелязани всички директори на ЦЛБФ, прераснала през 1994 г. в институт, както и директорите на обединилата се с него през 2010 г. Централна лаборатория по биомедицинско инженерство. Открити бяха и съвременните научни постижения на деветте секции, които понастоящем влизат в състава на Института по биофизика и биомедицинско инженерство. Заслужава отбелязване фактът, че благодарение на тези постижения, ИБФБМИ е един от водещите институти в БАН в направление „Биомедицина и качество на живот“.

Председателят на БАН акад. Юлиан Ревалски приветства сърдечно всички по повод празника и удостои Института с почетен плакет „Марин Дринов“ и грамота.



Директорът чл.-кор. Андон Косев за историята на Института



Председателят на БАН акад. Юлиан Ревалски връчва почетния плакет „Марин Дринов“

Във връзка с юбилея, поздравителни адреси бяха получени от Съюза на учените в България, от ректори и декани от Софийския университет „Св. Климент Охридски“, Медицинския университет – София, Медицинския уни-

верситет – Пловдив, Техническият университет – София, Националната спортна академия „Васил Левски“, Университета „Проф. д-р Асен Златаров“ – Бургас. Приветствия по случай празника поднесоха и директори на много институти на БАН – Института по невробиология, Института по биология и имунология на размножаването „Акад. Кирил Братанов“, Института по молекулярна биология „Акад. Румен Цанев“, Института по експериментална морфология, патология и антропология с музей, Института по физиология на растенията и генетика, Института по биоразнообразие и екосистемни изследвания, с които ИБФБМИ поддържа традиционно добри и ползотворни сътрудничества.

Освен с тържественото събрание в Академията, юбилеят на ИБФБМИ беше отбелязан и с Научната сесия „Биомедицина и качество на живот – младите в науката“, проведена на 26 и 27 юни 2017 г. в шест тематични сесии: „Фотосинтеза“, „Клетъчни и молекулярни механизми в патология“, „Биоинформатика и математическо моделиране“, „Природни продукти“, „Биоматериали и моделни системи“ и „Неврофизиология, двигателна и спортна физиология“. За участие в научната сесия бяха получени 40 доклада от млади учени и докторанти, по-голямата част от които – гости от други институти на БАН и висши учебни заведения от София и страната.

Именно към младите учени се обърна в поздравителния си адрес основателят на биофизиката в България, проф. Георги Дечев: *„В днешните трудни за българската наука времена, се обръщам най-напред към младите биофизици. Надеждата е във вас, че ще вървите с кураж и постоянство по трудния път на изучаване на живата природа, въоръжени с най-ефикасното оръжие – физиката.“*



Кадри от научната сесия, посветена на юбилея

МЛАДЕЖКА НАУЧНА СЕСИЯ 2017

Пенка Лазарова

Повече от 10 години неотменна част от ежегодните конференции на Съюза на физиците в България по въпросите на обучението по физика са специализираните младежки научни сесии. Те са част от дългосрочната програма на СФБ за създаване на съвременен научен мироглед и развиване на творческите заложби на младите хора. Чрез компютърни презентации, Интернет страници с разработени теми по избор в областта на природните науки; идеи за компютърна анимация за представяне на физични закони и явления и връзките им с други области на науката, разработки на демонстрации в областта на природните науки участниците представят своите виждания по предварително зададена тема. По традиция младежките научни сесии се организират съвместно с фондация „Еврика”.

През 2017 г. темата на младежката научна сесия за ученици беше на тема „ФИЗИКАТА – ОСНОВА НА ПОЗНАНИЕТО ЗА ПРИРОДАТА“. Тя се проведе на 7 април 2017 г. в София по време на 45-ата Национална конференция по въпросите на обучението по физика с медийната подкрепа на Национално издателство за образование и наука „Аз Буки“.

Темата на ученическата научна сесия беше не само пряко свързана с едно от направленията на конференцията – **„Физичният експеримент в неформалното образование“**, но и с повишаване интереса на учащите се към природните науки, както и с повишаване квалификацията на преподавателите по физика в средните и висшите училища и съответно с подобряване качеството на преподаване.

В конференцията взеха участие 42 ученици с 34 проекти от 17 училища от страната. За пореден път тревога буди отсъствието на участници от София. Приятно изключение е участието за трета поредна година на проект от софийската 157 ГИЧЕ „Сесар Вайехо“ с ръководител Юлия Бързашка, но нямаме обяснение за отсъствието на проекти на ученици от София, въпреки разгласата от Организационния комитет и РУО София.

Всички училища, от които имаше представени проекти в ученическата научна сесия, получиха подарък – учебниците „Атомна физика“ и „Ядрена физика“, любезно предоставени от проф. д-р Вили Лилков от катедра „Физика“ на МГУ „Св. Иван Рилски“ – София, за което му изказваме благодарността си.

За поредна година журито беше затруднено при класирането на проектите, които не само се придържаха към темата на Младежката сесия, но и към темата на конференцията. Отлично направени презентации с личен принос

на участниците и отсъствието на „сору – раст“, спазване на регламента за времето на представянето, добри комуникационни умения в повечето от участниците и т.н. Някои от проектите – на ПМГ „Баба Тонка“ – Русе и ПЕГ „Д-р Иван Богоров“ – Димитровград, бяха насочени към *запознаване с физиката на по-малки ученици, вкл. и на деца в детски градини*, от ученици от гимназиите – една идея, която заслужава адмирации и би било добре да се възприеме и от други училища от страната.

Журието в състав: доц. Вера Хаджимитова, Катя Илиева, Лилия Атанасова и Пенка Лазарова отличиха:

■ **I награда** – плакет и грамоти за участниците в проекта: учениците Мирослав Петров, Йоан Цонев, Богомил Йорданов от Професионална техническа гимназия „Доктор Никола Василиади“, Габрово, за проекта: „Опитна проверка на първия закон на Фарадей“; научен ръководител: д-р Христина Денева.

■ **II награда** – плакет и грамота: Катарина Павловская от 157 ГИЧЕ „Сесар Вайехо“, София, за „Вълни+ябълка=Вселена или философията на физиката“; научни ръководители: Юлия Бързашка и Митко Митков.

■ **III награда** – плакет и грамоти за участниците в проекта: Христина Стойчева, Росен Косаков, Камелия Митева, Никол Колева, Йоана Ташева, Сибел Найденова, Антония Динева от Профилирана езикова гимназия „Д-р Иван Богоров“, Димитровград, за „Мобилна физична лаборатория в детската градина“; научен ръководител: Стефка Иванова.

С *поощрителни награди* – грамоти, бяха отличени участниците в 2 проекта: „За физиката от друг ъгъл“ (интернет сайт) – Валентин Таков и Милен Атанасов от Профилирана гимназия с преподаване на чужди езици, Плевен с научен ръководител Надежда Вълева и „Научна магия от големите за малките“ – Велислава Пенчева и Виктория Даскалова от ПМГ „Баба Тонка“ – Русе с научен ръководител: Диана Йорданова.

Извън класацията, с активното участие на ученичките Даяна Цветкова, Аделина Аврамова от СУ „Проф. д-р Асен Златаров“ – Първомай, беше представен научен проект на Златка Гарова: „Учебна програма по нанохимия и нанотехнологии. Изследване свойствата на нанопротектори“. При провеждането на Националния фестивал „Наука на сцената“ през 2016 г. проектът беше одобрен за участие в Международния фестивал „Наука на сцената“ в гр. Дебрецен, Унгария.

За представяне пред участниците в конференцията бяха избрани проектите на Професионална техническа гимназия „Доктор Никола Василиади“, Габрово; ПМГ „Баба Тонка“ – Русе и 157 ГИЧЕ „Сесар Вайехо“, София. Извън класирането беше представен също проектът на Цветелин Христов от ППМГ „Нанчо Попович“, Шумен, на тема: „Електричество“ с научен ръководител инж. Тонка Георгиева, отличен на научната сесия на УЧИ на БАН.

ПОРЕДНО УЧАСТИЕ НА СТУДЕНТИ ПО МЕДИЦИНА В КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ФИЗИКА

Вера Хаджимитова

Учениците, които са решили да кандидатстват медицина с биология и химия, като правило не са любители на дисциплини като физика и математика. Но наистина ли бъдещите медици нямат нужда от познания по физика и така достигаме до въпроса: защо ми е да уча физика, като ще ставам лекар. Реалността е, че студентите по медицина не са любители на физиката. Слабата подготовка от гимназията – малкият брой часове по физика, ограничените възможности за експерименти по време на гимназиалния курс (които правят физиката атрактивна) и липсата на часове по физика в 12 клас не са наши съюзници в учебния процес в университета. След като веднъж физиката е обявена за трудна и ненужна, преподавателят се сблъсква с тези предразсъдъци през време на целия курс и физиката остава на последно място във времето за самоподготовка на студентите, което за първокурсниците е заето почти изцяло от анатомията (безспорно важна!!).

Това е основният проблем на преподавателите от Катедрата по медицинска физика и биофизика на Медицинския университет – мотивирането на студентите, убедителното аргументиране, че физиката е важна за практикуването на медицина на съвременно ниво. Единственият полезен ход е да се дават примери, в които се вижда приложението на физичните закономерности в медицинската практика.

Има факт, който използван подходящо, може да е наш съюзник – студентите идват след преминаване през тежка процедура на подбор. Преминалите успешно са умни, паметливи, трудолюбиви и упорити. Обичат да се състезават и себедоказват. За такива студенти да се подготвят по физика не е интелектуален проблем, стига да разберат, че наистина тези знания ще са им нужни.

Сериозен пробив беше осъществен през 2015 г. – обявена от ЮНЕСКО за Световна година на светлината и светлинно-базираните технологии. Светлината и нейните приложения в медицината се оказаха интересни за повече от 70 студенти, които пожелаха да участват в Студентската постерна сесия, организирана като част от 43-ата Национална конференция по въпросите на обучението по физика, на тема: „Оптиката и оптичните технологии в образованието“ [1]. Бяха изготвени десетки постери, в които студентите разказваха за методи за диагностика и терапия, които използват светлинните явления [2]. Тези постери и в момента красят коридорите на Катедрата и посрещат

настоящите първокурсници с информация, как изучаваните физични явления са свързани с тяхната бъдеща практика.

През настоящата година бяха отбелязани 150 години от рождението на Мария Кюри, за която Айнщайн написа: „*Измежду всички прочути смъртни тя единствена не е покварена от славата*“. Това даде възможност отново да се организира студентска сесия и чрез нея да се популяризира дейността на Мария Кюри – първата жена Нобелов лауреат, като учен и хуманист, допринесъл за развитието на физични методи, които имат широко приложение в медицинската практика. Темата на студентската постерна сесия беше „Откритията на Мария Кюри – нови хоризонти пред физиката, химията и медицината“ и беше част от 45-ата Национална конференция по въпросите на обучението по физика на тема: „Експериментът – основа на образованието по физика“ (6 – 9 април 2017 г., София) [3]. Участваха 33 студенти, 15 от първи, 16 от втори и 2 от трети курс специалност „Медицина“, които представиха различни методи за диагностика и терапия, свързани с йонизиращите лъчения. Сесията беше разделена на две части: сутрешна и следобедна, което позволи на журито, председателствано от проф. Иван Лалов, в състав: проф. Сашка Александрова, Пенка Лазарова, Лилия Атанасова, да изслуша представянето на студентите. В рамките на 5 – 10 минути те имаха възможност да разкажат за темата на доклада.

Докладите обхващаха различни теми. Няколко доклада бяха свързани директно с работата на Мария Кюри като човек, ангажиран с болката на другите. Два от докладите [4, 5] разказват за историята на рентгеновите апарати, за участието ѝ в Първата световна война като доброволец на фронта, преглеждайки лично с рентгенов апарат ранените войници. Използвайки своя авторитет, тя е успяла да оборудва десетки камиони с рентгеновите апарати, предоставени от колегите ѝ физици. Докладът, който разказва за отношението на М. Кюри към обучението, важността която тя отдава на експеримента като подход за привличането на младите хора към знанието и по-качественото образование, я представя с една малко позната нейна дейност [6].

Голямата част от докладите описваха методи за диагностика и терапия, базирани на йонизиращите лъчения. Докладите бяха като машина на времето, като една ретроспекция на методите, които физиката е дала на медицината, за да може качеството ни на живот да се подобрява. Те показваха, как първите методи продължават да намират приложение със съответни модификации и как са се появявали методи, свързани с възможността за получаване на нови, подходящи за медицински цели изотопи, както и с развитие на технологиите за регистриране и формиране на образи.

Докладите представиха голям брой методики, като се започне от първите методи за лечение на тумори, въведени от Кюри [7], до гама-ножа [8] и BNCT (*Boron Neutron Capture Therapy* – бор неутронна терапия) [9] и се до-

стигне до използването на техники, които се базират на комбинацията на знанията от ядрената физика и новите компютъризирани технологии, позволяващи прецизна диагностика, например ^{11}C и ^{18}F в комбинация с ПЕТ скенер (*PET – Positron Emission Tomography* – позитронно-емисионна томография) [10, 11], Ga-67 – със *SPECT (Single-photon emission computed tomography* – еднофотонна компютърна томография) [12] или терапия *IGRT (Image-Guided Radiotherapy* – радиотерапия с контролно изображение), *SRT/SRC (Stereotactic RadioSurgery and RadioTherapy* – стереотактична радиохирургия и радиотерапия) [13].

Наред с техниките за лечение, базирани на развитието на технологиите, беше представен доклад, който показва предимствата на терапията със stronций (един от нуклидите с най-силен токсичен ефект при радиоактивно замърсяване) при агресивни форми на рак на простатата [14], както и доклад за употребата на радия при костни метастази [15]. Няколко доклада бяха посветени на широко използваните изотопи на технеция и йода за диагностични нужди [16-19]. Участниците в конференцията можеха да видят възможностите за използването на технеция при диагностика както на отделителна система, така и на щитовидна жлеза [16, 17], да добият представа за качеството на диагностичната информация при провеждане изследване на щитовидна жлеза чрез йод или технеций и да получат сравнителна информация за дозата, която получава пациента при всяко от тези изследвания [17,18].

Сред представените постери имаше няколко, посветени на нови или по-малко известни приложения на йонизиращите лъчения в медицината – диагностика на ниво кръвни клетки [20-23]. Това показва желанието на студентите да представят нещо интересно извън класическите, широко известни приложения. Маркирането на червени кръвни клетки с цел диагностика с ^{51}Cr показват различна страна на радионуклидната медицина [20].

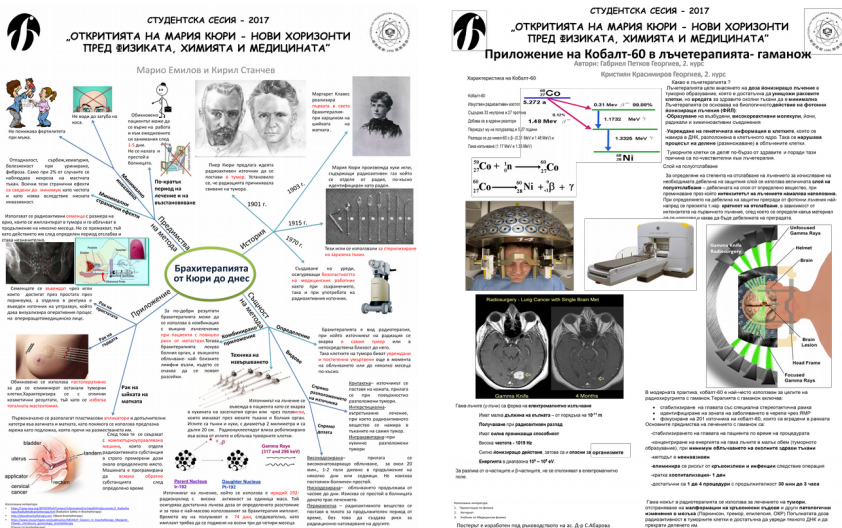
Клетките на имунната система бяха обект на други две работи [21, 22].

Правеше впечатление, че за да подготвят своите постери студентите са обработили информация, която изисква познания по физика, но и познания по физиология и медицина. В рамките на кратката презентация в логическата последователност беше представен съответният метод. Студентите даваха информация за физичните характеристики на радионуклидите, които ги правят подходящи за съответния метод. Дискутиран беше периодът на полуразпад, типът на радиоактивното превръщане, които правят дадения изотоп подходящ за диагностика или за терапия. Следващата стъпка – начинът на въвеждане на радионуклида, съобразен с химичните му характеристики и физиологичните процеси, в които участва, беше представен през погледа на лекаря. Скоростта и мястото на натрупване в таргета, начинът на елиминиране, дозата за пациента и околните тъкани в рамките на една медицинска процедура бяха компетентно представени.

Друг много важен аспект, намерил място в докладите, беше сравнението между представения метод и други медицински методи и подходи при същите диагнози. Това даде на студентите възможност, изхождайки от физичните основи на представения от тях метод, да обяснят медицинската му приложимост и да покажат предимствата му пред други възможни методи за диагностика или лечение, да обосноват съотношението полза към риск за пациента.



Фигура 1. Два от представените постери.[5, 16]



Фигура 2. Два от представените постери.[7, 8]

Общото мнение на журито е, че студентите по медицина са изключително добре подготвени, навлезли са в тънкостите на проблема и компетентно го представят. Самите постери бяха изготвени на високо научно и художе-

ствено ниво, отговарящо на строгите критерии на журито. Това високо ниво на представяне силно затрудни журито и то беше принудено да присъди по две първи, втори и трети награди. Наградените постери са: на I-во място – Боряна Сезанова с постер на тема „Приложения на флуорозедоксиглюкоза (^{18}F) в позитронно емисионната томография“ и Марио Емилов и Кирил Станчев с „Брахитерапията – от Кюри до днес“. На II-ро място бяха класирани Кристиан Георгиев и Габриел Георгиев за „Линеен ускорител като източник на рентгеново лъчение за лъчетерапията“ и Лора Ангелова и Емилия Григорова, за „Бисмут-213 (^{213}Bi) – приложение в борбата с раковите заболявания и ХИВ вируса“. Третото място беше присъдено на Виктория Димитрова и Калина Иванова за „Бор неутронна терапия – лечение на рак без странични ефекти“ и Яна Евтимова и Веселина Михайлова – „Технеций-99m – приложение в изследването на отделителната система“.

На Фигура 1 и Фигура 2 са показани някои от постерите. Това, което прави впечатление, са добре организираното им съдържание и тяхната висока информативност, което показва, че студентите са отделили много време за да се запознаят детайлно с темата, осмислили са събраната информация и това им е позволило да я представят подходящо. Важно е да отбележа съдействието от страна на колеги от Катедрата, които отделиха от своето време, за да подпомогнат студентите в тяхната работа. Тази помощ е съществена за добрия резултат, тъй като повечето участници нямат опит с подготовката на постерни презентации.

Представените доклади бяха обект на интерес от другите участници в конференцията. Колегите физици също задаваха своите въпроси, на които студентите с радост отговаряха. Сред колегите имаше и такива, чиято дългогодишна работа е свързана с медицинската физика и конкретно с йонизиращите лъчения и медицината, например доц. Венцеслав Тодоров, който беседваше със студентите. Зарадвани от проявения интерес и от възможността да покажат своите знания, те с готовност се включваха в дискусиите и отговаряха на всички поставени въпроси с голям ентузиазъм.

Изготвените постери бяха предоставени от авторите и са поставени на територията на катедрата до постерите, представящи светлинните явления. Това даде възможност да бъде прибавена още една област от физични явления и техните приложения в медицинската практика.

Минавайки покрай постерите на път за поредното учебно занятие, някои от студентите ще могат да видят големия брой медицински приложения на физиката, други ще видят някои съвременни или класически начини за лечение или диагностика, а трети просто ще заявят с гордост – този постер съм го правил аз!

За нас, преподавателите, остава чувството за добре свършена работа...

Литература

- [1] Сборник абстракти *Студентска постерна сесия „Светлината в медицината“*, 43 Национална конференция по въпросите на обучението по физика, на тема: „Оптика и оптичните технологии в образованието“, 2015.
- [2] Л. Атанасова, Н. Христова-Авакумова, *Постерната сесия “Светлината в медицината” – предизвикателство пред студентите от МУ-София*, XLIV Национална конференция по въпросите на обучението по физика на тема Неформалното образование по физика и астрономия Ямбол, 7-10 април 2016г.
- [3] Сборник абстракти *Студентска постерна сесия „Откритията на Мария Кюри – нови хоризонти пред физиката, химията и медицината“*, 45-Национална конференция по въпросите на обучението по физика, 2017.
- [4] М. Димитров, Ст. Василев, *Рентгеновите апарати – от Мария Кюри до наши дни*, Сборник доклади от 45-Национална конференция по въпросите на обучението по физика, 2017, 242 стр.
- [5] М. Стоева, Ш. Първанова, *Мария Склодовска-Кюри и развитието на военната медицина през първата световна война*, пак там, 243 стр.
- [6] М. Гаралова, „Учебен експеримент“ – метод за преподаване, създаден от Мария Кюри, пак там, 241 стр.
- [7] М. Емилов, К. Станчев, *Брахитерапията – от Кюри до днес*, пак там, 259 стр.
- [8] Г. Георгиев, Кр. Георгиев, *Приложение на кобалт-60 в лъчетерапията – кибернож*, пак там, 249 стр.
- [9] В. Димитрова, К. Иванова, *Бор неутронна терапия – лечение на рак без странични ефекти*, пак там, 2017, 245 стр.
- [10] Н. Найдекова, *Приложение на въглерод-11 в позитронно-емисионната томография*, пак там, 246 стр.
- [11] Б. Сезанова, *Приложения на флуорозедоксиглюкоза (^{18}F) в позитронно емисионната томография*, пак там, 247 стр.
- [12] Ил. Григоров, М. Рункьов, *Приложение на галий-67 за диагностика на възпалителни лезии и тумори*, пак там, 251 стр.
- [13] Кр. Георгиев, Г. Георгиев, *Линеен ускорител като източник на рентгеново лъчение за лъчетерапията*, пак там, 244 стр.
- [14] Ив. Василев, Л. Спалетта, *Приложение на стронций-89 в медицинската практика*, пак там, 253 стр.
- [15] Ел. Тодорова, Н. Здравкова, *Медицински проложения на радий-223*, пак там, 261 стр.
- [16] Я. Евтимова, В. Михайлова, *Технеций-99т – приложение в изследването на отделителната система*, пак там, 254 стр.
- [17] Ал. Бъркалова, М. Кожухарова, *Технеций-99 приложение в изследването на щитовидната жлеза*, пак там, 255 стр.

- [18] В. Михайлова, Я. Евтимова, *Приложението на йод-131 (^{131}I) в лечението на щитовидната жлеза*, пак там, 256 стр.
- [19] К. Гърбатилова, Ст. Ценов, *Приложение на йод-125 в медицинската практика*, пак там, 257 стр.
- [20] К. Младенов Г. Малинова, *Проследяване на червените кръвни клетки с помощта на хром-51 (^{51}Cr)*, пак там, 248 стр.
- [21] Хр. Динкова, Д. Димов, *Радиоактивен скенер с индий-111 с детекция на бели кръвни клетки/ ^{111}In IndiuWBC SCAN*, пак там, 258 стр.
- [22] Л. Ангелова, Ем. Григорова, *Бисмут-213 (^{213}Bi) – приложение в борбата с раковите заболявания и ХИВ вируса*, пак там, 260 стр.

MEDICAL STUDENTS' PARTICIPATION IN PHYSICS CONFERENCE

Vera Hadjimitova

Non-formal education has long standing traditions in the Department of Medical Physics and Biophysics at the Medical University of Sofia.

The students participate in physics conferences organized on specific topics associated with important events i.e. the International Year of Light in 2015 and the 150th anniversary of the birth of Marie Curie in 2017.

At the conference the students presented diagnostic and therapeutic methods based on M. Curie's scientific work. With their reports they demonstrated a high level of performance and deep knowledge of the scientific principles and physical processes of the chosen methods.

Participation at the conference has provided the students with the opportunity to realize the importance of the knowledge they have gained at the department, stimulates them to make more efforts to learn and promotes a positive attitude to the subject.

Through making the students' posters available to all their colleagues we have inspired their curiosity and interest.

БОР-НЕУТРОННА ТЕРАПИЯ – ЛЕЧЕНИЕ НА РАК БЕЗ СТРАНИЧНИ ЕФЕКТИ

Виктория Димитрова, Калина Иванова

Резюме

Туморните заболявания са проблем, с който медицината се бори от години. У нас има 200 000 души със злокачествени образувания. Всяка година се разкриват нови 26 000 случая, което е два пъти повече отколкото преди 20 години. Въпреки че има ефективни лекарства, които се използват при ракови лечения, един от най-големите им недостатъци е, че заедно с туморните клетки, те увреждат и заобикалящите ги здрави такива. Бор неутронната терапия (*Boron Neutron Capture Therapy – BNCT*) е техника за селективно убиване на ракови клетки, без да се увреждат клетките на околните здрави тъкани. Терапията използва борсъдържащи съединения, които се натрупват главно в туморните клетки. При насочено лъчение с неутрони, борът поглъща неутроните и това го прави нестабилен. В резултат на това се предизвиква ядрено деление на борния атом, при което се отделят алфа-частици и се образува литиево ядро. Излъчените частици са способни да унищожат туморната клетка, но поради сравнително малкия пробег не се засягат околните здрави клетки. Тази терапия е разработена през 80-те години на миналия век и първоначално се е използвала при пациенти с глиобластома. Днес потенциалът на *BNCT* все още не е развит достатъчно, за да измести класическите противоракови терапии, но се доказва в ефективността си да лекува първични или рекурентни ракови заболявания като например меланоми, рак на белите дробове, черния дроб и щитовидната жлеза.

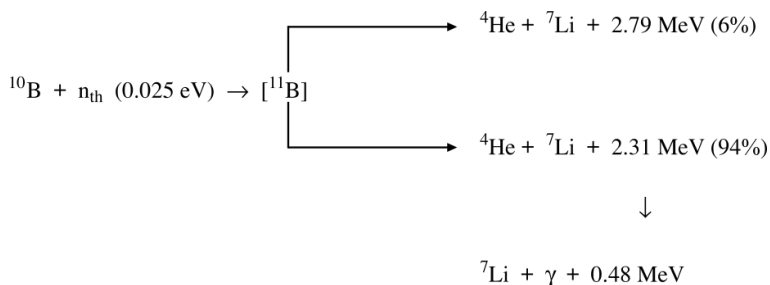
Ключови думи: бор-неутронна терапия, противотуморно лечение, фбра, радиотерапия

Увод

Видовете ракови лечения могат да се разделят най-общо на три основни групи – радиотерапия, химиотерапия и чрез оперативна намеса. Бор неутронната терапия или на кратко *BNCT* е терапия, в основата на която лежи реакцията между бор и неутрони и не спада напълно към нито една от трите групи. Тази радикална терапия е все още експериментална и се различава от традиционните методи за борба срещу туморните заболявания и има потенциала да създаде нов начин за борба срещу рак. Това би могло да даде началото на нов вид противотуморни лечения, като съчетава в себе си положителните страни на радио- и химиотерапията, а превъзмогва техните негативни аспекти.

Идеята

BNCT е техника, която избирателно е насочена към туморните клетки, като ги унищожава, без да се засягат околните здрави тъкани. Идеята за BNCT за пръв път се представя от Г. Лочър през 1936 г., няколко години след откриването на неутрона (1932) [2]. Неговата хипотеза гласи, че ако е възможно ^{10}B селективно да се натрупва в туморна маса и след това да се облъчи с поток от топлинни неутрони, ще се отделят частици с висока йонизираща способност, която ще унищожи туморните клетки. Реакцията схематично може да се представи така (Фигура 1): Стабилното ядро на ^{10}B поглъща топлинен неутрон, при което то става нестабилно и се разпада на литиево ядро (^7Li) и α -частица (^4He) с високо линейно предаване на енергията и със среден пробег 5 – 10 μm , което приблизително съответства на клетъчния размер. Йонизационното им действие се ограничава до размерите на раковата клетка и не засяга околните здрави клетки [1-5].

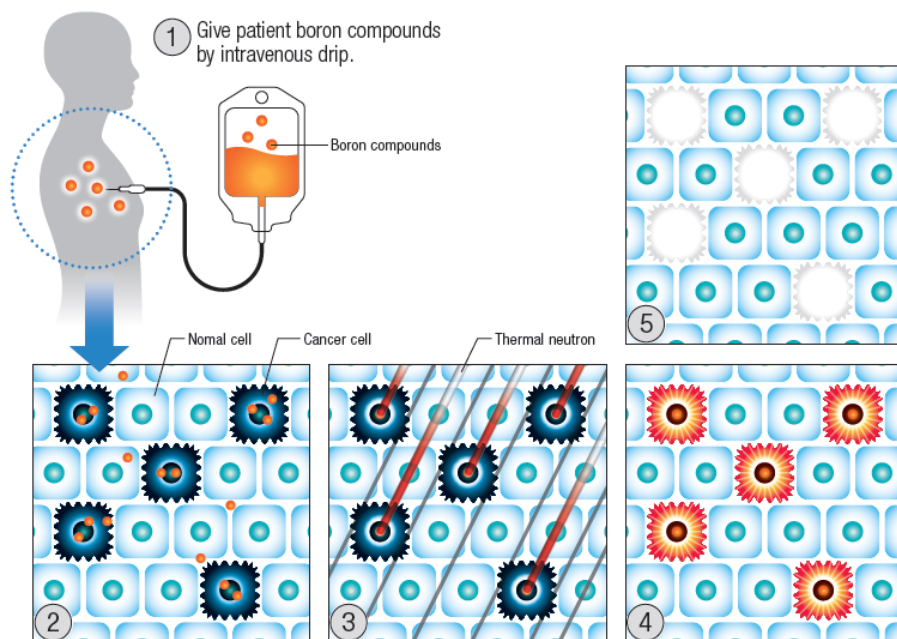


Фигура 1. Схема на ядрената реакция

Реализацията

Цялата процедура се реализира на 2 етапа: инжектиране на ^{10}B в организма и облъчване след това с надтоплинни неутрони, за да се състои реакцията (Фигура 2).

Надтоплинните неутрони представляват неутрони с кинетична енергия между 0,5 и 10 keV. Интересно е да се спомене, че в началото са се използвали топлинни неутрони, които имат кинетична енергия под 0,5 eV и които се характеризират с по-ниска проникваща способност. Това означава, че те не могат да достигат до по-дълбоките тъканни слоеве и терапията би имала ефект само при повърхностни меланоми и глиобластоми, като при лечението на глиобластоми задължително се е извършвало краниотомия (махане на черепния покрив) преди да се облъчи туморът с лъч от неутрони. Това вече не се налага, защото при лечението се използват надтоплинни неутрони, които имат по-голяма проникваща способност и преди да стигнат таргетните клетки, стават на топлинни, защото загубват част от енергията си.



Фигура 2. 1) В кръвта на пациента се вкарват интравенозно бор-съдържащи съединения; 2) те се натрупват избирателно в раковите клетки 3) облъчване с топлинни neutronи 4) ядрената реакция между ^{10}B и neutronите генерира радиация 5) туморните клетки биват унищожени. Целият курс на лечение се състои от 1-2 процедури, които общо траят 1-2 часа, в което се включва времето, необходимо на ^{10}B да се концентрира в туморните клетки [1]

За да е успешна бор-нейтронната терапия е необходимо да са налице следните условия:

1. Борният елемент да се натрупа избирателно в туморните клетки, но не и в околните здрави такива.
2. В прицелните клетки трябва да има достатъчно количество ^{10}B , за да може те да бъдат унищожени при ядреното превръщане.
3. Да има достатъчно neutronи, с необходимата за инициране на реакцията енергия, тъй като част от снопа се губи при преминаването през надлежащите клетъчните слоеве.

Когато не е изпълнено дори едно от тези условия, BNCT губи своята ефективност.

Както всяка идея и тази се характеризира с предимства и недостатъци.

Предимства на BNCT

- **Селективно елиминиране на неопластични клетки и слабо увреждане на околните тъкани.** Туморните клетки се характеризират с висока метаболитна активност, което означава, че натрупват в значителни количества вещества – в т.ч. ^{10}B , които на нормалната клетка ще са излишни. Разбира се,

има вероятност и нормални неракови клетки да поемат веществото ^{10}B , което обаче ще е в минимални количества и при облъчване с поток от неутрони реакцията няма да протече или ще протече, но потокът α -частици ще е недостатъчен, за да разруши цялата клетка. По този начин протичащите радиоактивни процеси се ограничават само в неопластичните клетки и не засягат околните здрави тъкани.

- **Ефикасност срещу инвазивни тумори** – BNCT се прилага при рецидивирали, метастазирали тумори и то с по-голяма от 60% успеваемост. Това дава реален шанс за случаи, които в миналото биха били безнадеждни [2].

- **Няма оперативна намеса**, което значително подобрява качеството на живот на пациента.

- **Човешката грешка е сведена до минимум**, защото не е необходимо да се цели прецизно със снопа неутрони – той се насочва в конкретната област и неутроните се излъчват, като с най-голяма вероятност ще взаимодействат с ядрото на ^{10}B , защото се оказва, че този изотоп спада към най-силните „уловители на горещи неутрони“.

- **Не се използват противоракови лекарства** и следователно няма странични ефекти от тях. ^{10}B сам по себе си не е нито радиоактивен, нито цитотоксичен. Радиоактивен е неговият изотоп, ^{11}B , който се получава при поглъщане на неутрон. ^{10}B съдържащите вещества, които се използват, не са токсични.

- **Краткото времетраене на процедурата**. Това е немаловажна характеристика, защото може да окаже положително влияние върху психологичното състояние на пациента.

Недостатъци, проблеми и решения при приложението

- **Намиране на селективни доставчици на ^{10}B в раковите клетки.**

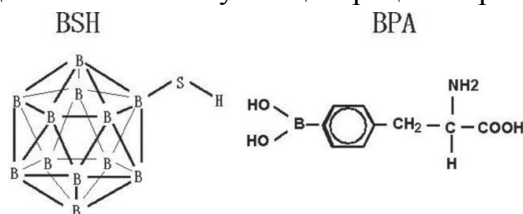
В основата на терапията стои селективното унищожаване само на раковите клетки. Това може да стане, ако избирателно само в тях се натрупа ^{10}B , а това до голяма степен зависи от доставящите ^{10}B съединения или преносителите. Критериите, на които те трябва да отговарят, за да се включат в лечението, са:

- ниска токсичност;
- малък процент на натрупване в нормалните тъкани, но висок при раковите клетки;
- да могат бързо да се отделят от организма – от кръвта и здравите тъкани, но
- достатъчно време да се задържат в неопластичните зони.

В медицинската практика се използват главно две вещества, които отговарят на тези условия – **борфенилаланин (BPA)** и **натриев боркапнат (BSH)** (Фигура 3). Преди тях са се използвали други съединения на ^{10}B като

боракс, но без успех [4], защото при тях количеството на ^{10}B в кръвта е по-голямо отколкото в туморните клетки.

BSH достига неопластичните клетки по кръвен път и не е токсичен, няма докладвани странични ефекти, но за сметка на това има не толкова висока специфичност и относително голяма част отива в околните здрави клетки. При случаите с глиобластоми, той трудно преминава кръвномозъчната бариера и това води до по-голямата му концентрация в кръвта.



Фигура 3. Химичната структура на борфенилаланин (BPA) и натриев боркаптам (BSH)

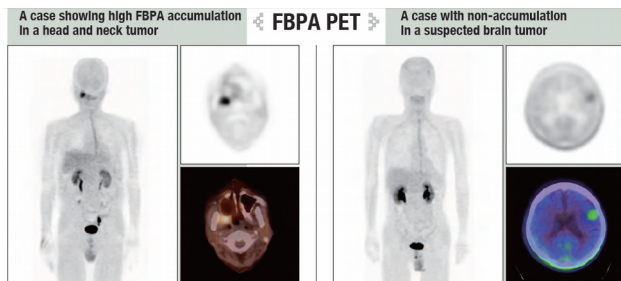
BPA, от друга страна, е много по-селективен и успява да достави задоволително голяма концентрация до раковите клетки. От формулата му се вижда, че една част представлява аминокиселина – по-точно фенилаланин. Както вече се знае, туморните клетки се характеризират с ускорен метаболизъм и бързо делене, което изисква голям разход на белтъци, съответно и аминокиселини. BPA се включва в техния метаболизъм и така се натрупва в тях. Негативен аспект на BPA е, че може понякога да рекристализира в уринарния тракт, което да предизвика треска и обезводняване.

Тези съединения се използват до момента в медицинската практика, но се провеждат още изследвания за създаване на по-ефективни ^{10}B доставящи вещества. Разработва се 3-то поколение доставчици на ^{10}B , чиято цел е близка локализация до ядрото, което ще намали нужната концентрация на бор поради по-високата ефективност на разрушаване на клетката. Разработват се също и нови преносители на базата на липозоми и наночастици [2].

• **Лечението не може да се прилага при всички видове онкологични заболявания.**

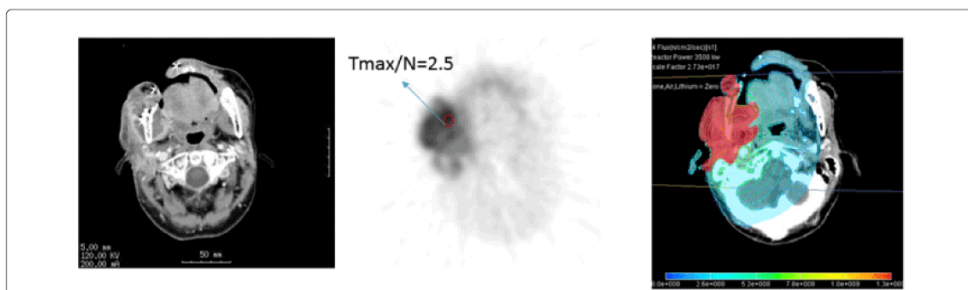
Въпреки невероятните възможности, които BNCT може да предложи, лечението не може да се прилага при всички видове онкологични заболявания. Причината е, че при някои типове туморни изменения неопластичните клетки не поемат с толкова висок афинитет ^{10}B , колкото е необходимо. Дали в туморните клетки ще се акумулира достатъчно ^{10}B се определя чрез PET (позитрон-емисионна томография), като за радиофармацевтик се използва ^{18}F -BPA (4-borono-2-[^{18}F]-fluoro-phenylalanine). По този начин се определя биоразпределението на ^{18}F -BPA в различните органи, съответно в туморната маса и може да се изчисли ефективната доза. На Фигура 4 са показани два случая на онкоболни.

Първият (вляво) е на рак в областта на шията и главата. След ПЕТ скенер с ^{18}F -BPA е установено, че в туморната маса се акумулира около пет пъти по-високо количество ^{10}B доставящо вещество отколкото в околните тъкани. Това означава, че пациентът е подходящ кандидат за бор неутронната терапия. От дясно е представен случая на пациент, диагностициран с рак на белия дроб и метастази в главният мозък. След провеждане на същото като предходното изследване се разбира, че концентрацията на ^{10}B в туморната маса не е достатъчна, за да се проведе лечение с BNCT. В този случай терапията ще е без резултат.



Фигура 4. Вляво – резултати от ^{18}F -BPA на пациент с тумор в областта на главата и шията, в който акумулацията на бор е висока; вдясно – резултати от ^{18}F -BPA на пациент с мозъчен тумор, в който акумулацията на бор е ниска [1]

● Изчисляването на оптималната доза неутронно лъчение е друга спънка за успешното прилагане на терапията. До скоро това е било доста трудно и експертно, но след навлизането на PET скенера процесът се улеснява. BPA се маркира с изотоп ^{18}F (^{18}F -BPA). Така може да се разбере какво количество ^{10}B може да се натрупа в туморната маса, а оттам и да се изчисли Т/Н съотношението (тумор/нормални клетки) (Фигура 4).



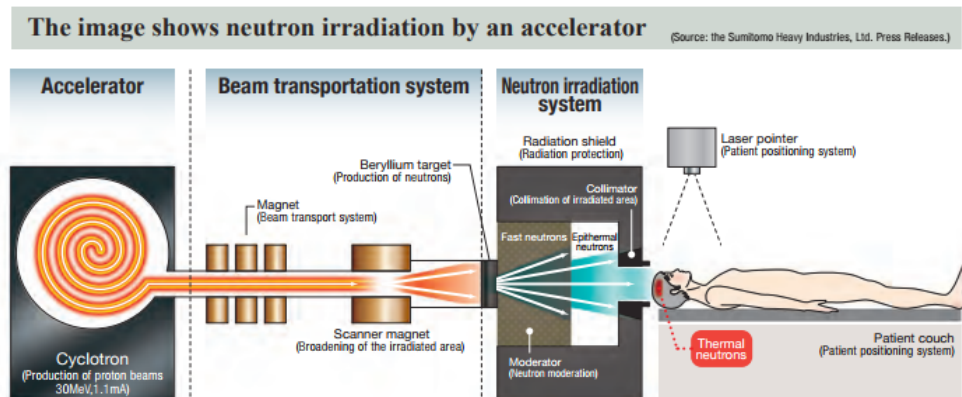
Фигура 5. Схематична диаграма на планиране на дозировката при BNCT. Вляво – изображение от CT скенер преди BNCT; в средата – ^{18}F -BPA; вдясно – софтуерно изчисляване на необходимия неутронен поток [5]

При стойност на Т/Н > 2,5 терапията би била успешна [3, 5], защото е сигурно, че тумор на дълбочина > 6 cm ще получи > 20 GyE (Грей еквивалент), което е достатъчно за контролиране на туморния растеж. Проблемът е, че все

още се разработват софтуери, които автоматично да изчисляват необходимата доза след провеждането на ^{18}F -BPA scan.

Освен това трябва да се има предвид, че има натрупана доза и от други взаимодействия. **Гама доза**, която се дължи основно на реакцията $^1\text{H}(n,\gamma)^2\text{H}$, т.е. неутроните си взаимодействат с H атоми от всички клетки и се излъчват гама фотони. **Протонна доза**, която се дължи основно на реакцията $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$, т.е. неутроните си взаимодействат с азотните атоми ^{14}N от всички клетки и се излъчват протони (590 keV) с висока йонизационна способност. **Доза от бързите неутрони**, които са част от „замърсяването“ на неутронният поток – с енергия повече от 10 keV. Те си взаимодействат с H атоми от всички клетки чрез реакцията $^1\text{H}(n,n')p$ и генерират протони с подобни енергии на предната реакция. При това е важно съотношението между тях предвид различната биологична ефективност.

• **Прекалено скъпа и сравнително опасна техника за получаване на неутронния сноп**



Фигура 6. Принципна схема за получаване на неутронен сноп.

Използва се циклотрон [1], който чрез високочестотно електрично поле с постоянна честота ускорява протони до енергия 30 MeV. Полученият сноп от протони се насочва върху плоскост от берилий, като чрез ядрена реакция се отделят бързи неутрони, които попадат в модератор, който поглъща всички неутрони освен надтоплинните. Те, от своя страна, преминават през колиimator, който насочва към нужното място снопа от неутрони (Фигура 5).

Тази техника все още е прекалено скъпа и сравнително опасна за да се инсталира в болничните заведения. Изразходва прекалено много енергия и заема голямо пространство. По тези причини до момента има само няколко места в целия свят, където може да се провежда бор неутронната терапия. Следва да се извършат още изследвания и подобрения в тази насока.

Заключение

От изложеното се вижда, че бор неутронната терапия има потенциал да стане стандартно противораково лечение, което ще е минимално инвазивно, с високо селективно унищожаване на неопластичните клетки, нетоксично, без странични ефекти, защото здравите тъкани няма да бъдат засегнати в хода на лечението. Идеята за терапията е представена преди осем десетилетия, но е все още експериментален метод, защото са необходими още проучвания и изследвания, за да се подобри ефективността – нужни са нови методи за внасяне на ^{10}B в туморната маса, както и по-евтини и компактни техники за получаване на неутронов сноп. Това означава, че специалисти в областта на физиката, химията, медицината и информатиката трябва да се обединят, за да въведат бор неутронната терапия като традиционно средство при лечението на онкологични заболявания.

Благодарности

Изразяваме специални благодарности към Катедрата по медицинска физика и биофизика на Медицински университет – София и особено към нашия ментор асистент Б. Бечев за подкрепата при изготвянето на материала.

Литература

1. *Pioneered by Japanese brainpower: New Horizons in Cancer Treatment BNCT*, BNCT promotion and Research Society, Osaka, 2015
2. K. Nedunchezian, N. Aswath, M. Thiruppathy, S. Thirugnanamurthy, *Boron Neutron Capture Therapy – a Literature Review*, Journal of Clinical and Diagnostic Research : JCDR, 10(12), ZE01–ZE04 (2016)
3. Y. Yura, Y. Fujita, Boron neutron capture therapy as a novel modality of radiotherapy for oral cancer: Principle and antitumor effect, Oral Science International 10, 9-14 (2013)
4. S. Miyatake, S. Kawabata, R. Hiramatsu, T. Kuroiwa, M. Suzuki, N. Kondo and K. Ono, *Boron Neutron Capture Therapy for Malignant Brain Tumors*, Neurol Med Chir (Tokyo) 56(7), 361–371 (2016)
5. T. Aihara, J. Hiratsuka, N. Fukumitsu, H. Ishikawa, N. Morita, H. Kumada, N. Kamitani, K. Ohnishi, M. Suzuki, H. Sakurai, T. Harada, *Evaluation of Fluoride-18-Labeled Boronophenylalanine-Positron Emission Tomography Imaging for the Assessment of Boron Neutron Capture Therapy in Patients with Recurrent Head and Neck Squamous Cell Carcinoma*, Otolaryngology 6, 277 (2016)

BORON NEUTRON CAPTURE THERAPY – TREATMENT FOR CANCER WITHOUT SIDE EFFECTS

Viktoria Dimitrova, Kalina Ivanova

Introduction: Tumor diseases are an issue, which is a challenge for the medicine since years. In Bulgaria alone there are over 200 000 cases with malignant tumors. Every year there are 26 000 new cases, which is two times more than 20 years ago. The biggest disadvantage of current medical treatments against tumor cells is that they harm normal cells as well.

Boron Neutron Capture Therapy (BNCT): This is a technique for selectively targeting only tumor cells, avoiding the normal local tissue. BNCT is based on the nuclear reaction that occurs when a stable Boron-10 isotopes, are irradiated with low-energy thermal neutrons to release α particles (Helium-4) and recoiling lithium-7 nuclei. The α -particle energy deposition is limited to the diameter of a single cell because they have very short pathway ($<10\ \mu\text{m}$). Thus, only neoplastic cells with ^{10}B are destroyed upon thermal neutron irradiation.

Application: The Therapy is developed in the 80's previous century and first it was used for patients with glioblastoma. Nowadays because BNCT hasn't reached its highest potential the therapy hasn't replaced the classical anti-tumor treatments. However, BNCT has proven its effectiveness in treating recurrent or primary cancers such as melanoma, lung cancer, liver cancer and thyroid gland cancer.

Харесайте страницата на списанието във facebook

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

КОНКУРС ЗА ЕСЕТА, ПОСВЕТЕНИ НА ГОДИНАТА НА НЮТОН

Пенка Лазарова



По време на Младежката научна сесия на 45^{та} Национална конференция по въпросите на обучението по физика 2017, организирана от Съюза на физиците в България съвместно с фондация „Еврика“, бяха обявени резултатите от *Националния конкурс за есета на ученици и студенти, посветен на годината на Нютон*, и представени отличените есета. В конкурса взеха участие 105 ученици от 46 училища от цялата страна. Журито с председател проф. д.ф.н. Никола Балабанов, на който изказваме специална благодарност за идеята за конкурса, както и за журирането на есетата, определи наградите в две възрастови групи, както следва:

§ До 14 години:

I място: Жаклин Жекова – 6 кл., СУ „П. К. Яворов“, Чирпан; „Аз открих светлината“; научен ръководител: Гергана Добрева. Есето е публикувано в списание „Светът на физиката“.

II място: Десислава Илиева – 6 кл., СУ „П. К. Яворов“, Чирпан; „Ябълката на Нютон“; научен ръководител: Гергана Добрева. Есето е публикувано в списание „Светът на физиката“.

III място: Чавдар Ненов – 4 кл., Основно училище Паметник „Тодор Г. Влайков“, Пирдоп; „Нютон в моите очи“; научен ръководител: Антоанета Димитрова.

С поощрения бяха отличени: **Кристофър Занкин** – 7 кл., ОУ „Евлоги Георгиев“, Дупница; „Ябълката на Нютон“; ръководител: Румяна Гиргинова; **Стефани Костова** – 2 кл., ОУ „Отец Паисий“, Силистра; „Ябълката на Нютон“ (най-малката участничка в конкурса).

§ Над 14 години:

I място: Гергана Джикова – 9 кл., ПМГ „Баба Тонка“, Русе – „Подвигът на НЮТОН“; научен ръководител: Диана Йорданова; **Габриела Тодорова** – 11 кл., ГПЧЕ „Симеон Радев“, Перник – „Влиянието на Нютон върху мисленето“; **Мартина Георгиева** – 10 кл., ПМГ „Акад. Иван Гюзелев“, Габрово – „Следите, оставени от Нютон“; научен ръководител: Надя Николова. Есето е публикувано в списание „Светът на физиката“.

II място: **Дарси Гунешка** – 12 кл., Профилирана гимназия с преподаване на чужди езици – Плевен; „От Нютон до божествената частица“; научен ръководител: Надежда Вълева; десетокласниците от, Професионална техническа гимназия „Доктор Никола Василиади“, гр. Габрово, **Камен Генчев** („На чии рамене е стъпил Нютон“) и **Михаела Михова** („Подвигът на Нютон“) с научен ръководител д-р Христина Денева; **Нестор Тасков** – 8 кл., ПГЕЕ – гр. Пловдив – „НЮТОН – първият от големите просветители, последният от великите магьосници или изключително възплъщение на божествената искра, осветило пътя на научната революция“ с научен ръководител Росица Ташева.

III място: единадесетокласничките от СУ „Свети Климент Охридски“, град Сухиндол, **Зейнеб Мехмедова** („Подвигът на Нютон“) и **Ширин Мастьнова** („Влиянието на Нютон върху мисленето“) с научен ръководител Росица Узунова; **Никола Смилян** – 9 кл., Профилирана гимназия „Пейо К. Яворов“, Петрич, „Подвигът на Нютон“, научен ръководител: Георги Малчев.

Поощрения получиха есетата на: **Виктор Тодоров** – 11 кл., ПГАТ „Цанко Церковски“ – гр. Павликени; „Ябълката“ на Нютон“; **Добромир Зафиров** – 10 кл., Профилирана езикова гимназия „Д-р Иван Богоров“, Димитровград; „Подвигът на Нютон“; научен ръководител: Стефка Иванова; **Любомира Димитрова** – 9 кл., СУ „Николай Катранов“ – гр. Свищов; „Ябълката“ на Нютон“; научен ръководител: Невена Стойчева; **Мария Гаралова** – студент, МУ – София; „Стените и мостовете в науката“. Есето е одобрено за публикуване в списание „Наука“, за което авторката получава и *безплатен абонамент за 2017 г.*; **Петя Кючукова** – ПГ „Свети Климент Охридски“, гр. Елхово; „На чии рамене е стъпил Нютон“; научен ръководител: Султанка Николова; **Кристиян Начев** – 11 кл.; ПМГ „Акад. С. П. Корольов“, гр. Благоевград; „Науката под знамето на Нютон“; научен ръководител: Румяна Попова.

Отличените участници в Младежката сесия и в конкурса за есета и техните научни ръководители получиха грамоти, на всички участници бяха раздадени сертификати за участие, а всички училища, от които имаше отличени участници в конкурса за есета както и участници в Младежката сесия, получиха *безплатен абонамент за списание „Светът на физиката“ за 2017 г.*

В настоящия брой на списанието публикуваме есетата, заели I и II място във възрастова група до 14 години.

ИСАК НЮТОН: АЗ ОТКРИХ СВЕТЛИНАТА

Жаклин Жекова

Когато бях малък, не подозирах, че един ден ще стана откривател на много неща, които ще променят пътя на човечеството.

Родих се в семейството на заможен селянин, но земеделската работа никога не ме е привличала. Насочих усилията си да се образовам, за да мога даворя като конструктор на различни механизми.

С много упоритост и силна воля успях да се класирам за Кеймбридж – най-престижният университет, където се занимавах с математика, оптика, физика и астрономия.

Вълнувах ме различни теми: за гравитацията, за светлината, за скоростта на звука... Непрекъснато пред мен стоеше въпросът за орбитите на планетите, взаимодействието между Земята и Слънцето, затова конструирах телескоп.

Докато го конструирах открих силата на цветовете, светлината – източник на цветовете.

През процепа на щорите пуснах светлинен лъч, който прекарах през стъклена призма. На излизане от призмата, лъчът се разслои на седем цветни лъча – червен, оранжев, жълт, зелен, син, индигов и виолетов. След това поставих втора призма на пътя на цветните лъчи. Вместо да се разпаднат на нови цветни лъчи, те възстановиха белия лъч.

Така разбрах, че източникът на цветовете е светлината.

Какъв ли би бил животът без цветовете, без светлина?

ЯБЪЛКАТА НА НЮТОН

Десислава Илиева

Физиката е естествена и точна наука. Нейното приложение в живота ни е широко и всеобхватно.

А когато на мен ми кажат физика, се сещам само за едно – за Нютон и неговата ябълка.

Децата обичат приказките, а все пак и аз съм дете.

Дори сложните и сериозни науки, разказани по интересен начин, започват да изглеждат разбираеми.

Така например, ябълката се оказва сериозен фактор за откриване на гравитацията. Ябълката следва своя естествен ход, след който обаче не става ясно – Нютон ли открива гравитацията или гравитацията открива Нютон?

Ако наистина е имало ябълка, тя би могла да бъде всеки един плод – круша, праскова, слива... Ябълката е просто причина, която в този случай не е нищо повече от щастлива случайност.

Истината е, че само чрез много четене и проучвания, човек може да постигне успех. Мария Кюри, Макс Планк, Анщайн, Енрико Ферми още хиляди успели учени дължат откритията си на безсънните нощи, прекарани в четене и провеждането на различни опити.

Човек трябва да се старае, да обича науката, да осъзнае, че тя е необходимост и чак тогава да се надява, че един слънчев ден, седнал под някое дърво, може да му падне ябълка на главата!

ДОЦ. Д-Р СТЕФАН БАЛАБАНОВ НА 85 ГОДИНИ

Крум Коленцов



Софийският клуб на физика и Институтът по физика на твърдото тяло „Акад. Георги Наджаков“ с признателност отбелязва през тази година 85-годишнината на нашия уважаван и обичан колега доц. д-р Стефан Балабанов – виден представител на физиката на твърдото тяло с приноси и постижения в областта на диелектриците, полупроводниците и полимерите. Неговите научни изследвания и приложни разработки допринасят за развитието на българската приложна и инженерна физика през XX в.

Стефан Балабанов е роден на 22 септември 1932 г. в София. Като студент по физика в Софийския университет участва в кръжока по опитна физика на проф. Г. Наджаков и провежда изследвания на отделителната работа на метални повърхности. След завършване на висшето си образование постъпва на работа при проф. д-р Разум Андрейчин в Лабораторията по фотоелектрични явления в тогавашния Физически институт на БАН. През 1975 г. защитава докторска дисертация на тема: „Повърхностни фотоелектрични процеси в монокристален кадмиев сулфид при въздействие на кислород и водни пари“ и получава научната степен „кандидат на физическите науки“ („доктор“).

Творческата му научна и организационна дейност протича изцяло в БАН, а преподавателската – в Софийския университет и във ВМГИ (днешния Минно-геоложки университет). Бил е ръководител на няколко лаборатории: „Повърхностни явления и фотоелектрети“ (1962 – 1970), „Среди за оптичен запис на информация“ (1978 – 1985) и „Електрични и оптични свойства на полимерни композити“ (1985 – 1992). От 1999 г. е асоцииран член на ИФТТ.

Изследванията му са свързани с фотоелектретното състояние в сяр и антрацит, контактната потенциална разлика в полупроводници и метали, електростатични заряди в електризиращи се течности, твърди диелектрици и полупроводници, с разработката на ротационен електрометър с голяма чувствителност. Ръководил е над 10 научно-приложни разработки, някои от които са със значителен икономически ефект и са допринесли за отпускане на средства през 80-те години на XX в. за организиране на специализирана ла-

боратория (в чието проектиране, изграждане и обзавеждане той активно участва) и закупуване на научна апаратура за изследвания по статичната електризация в твърди полимери и течни горива. Получените резултати от разработките са приложени в различни области на индустрията (СМЕК „Марица – изток“), текстилната и каучуковата промишленост.

Доц. Стефан Балабанов е автор и съавтор на над 90 научни публикации в наши и чуждестранни списания и в сборници от научни прояви у нас и в чужбина, над 25 научно-популярни статии и на 4 изобретения. Изобретателската му дейност за периода 1971 – 1988 г. обхваща разработката на методи, направа на устройства и прибори с приложение в микроелектрониката за фотонни детектори с разширена спектрална чувствителност в червената и близка ИЧ област на спектъра.

Доц. Стефан Балабанов участва активно в живота на физическата общност и осъществява значима организационна дейност: създател и председател е на Клуба на физиците ветерани в БАН, един от учредителите и настоящ председател е на Софийския клуб на физиците към СФБ, дългогодишен член на секция „Физика“ към Съюза на учените в България (от 1968).

За своята научноизследователска, научно-приложна и организационна дейност доц. Стефан Балабанов е отличен с персонална награда от Държавния комитет за наука и технически прогрес (1980), с Почетния нагръден знак на ИФТТ „Акад. Г. Наджаков“ (2003) и е избран за Почетен член на СФБ (2011).

От името на физическата колегия му пожелаваме здраве, творческо дълголетие, съхранена виталност, нестихващ ентузиазъм във всеотдайността му към физиката и към Софийския клуб на физика!

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

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

ЙОРДАН КАСАБОВ – ФИЗИКЪТ, ВИЖДАЩ БЪДЕЩЕТО

Петко Витанов, Лиляна Попова



Йордан Касабов е роден на 16.08.1928 г. От 1946 до 1952 г. е студент в Физико-математическия факултет на Софийския университет. Активният и любознателен студент привлича погледа на доайена на българската физика проф. Г. Наджаков и от 1952 г. е негов аспирант (докторант). Характерно за големите учени е, че тяхната творческа индивидуалност се оформя в периода им като аспиранти. За посоката в развитието на бъдещия учен най-ярко свидетелства следният цитат от увода на неговата дисертация (1955): *В сравнително кратък срок полупроводниците намериха широко приложение в автоматиката и телемеханиката, в радиотехниката и токоизправителната техника. Близко е времето, когато полупроводниците ще навлязат в енергетиката, топлотехниката, хладилната техника и осветлението.* Това е прозрението на младия физик за перспективите на полупроводниковите технологии, които по това време са революционно нови за електрониката, но по-късно са в основата на поредната техническа революция. Перспективата да работи и твори в тази област на физиката става негова жизнена цел. Не е случаен фактът, че той е аспирант на академик Георги Наджаков. Съдбата събира най-известния български физик с младия и амбициозен студент Йордан Касабов. Тази творческа връзка определя развитието на един клон от българската физика, който оставя ярка следа в индустриалното развитие на страната.

Научните приноси на неговия първи дисертационен труд на тема: „Върху строежа на запиращия слой на селеновите токоизправители“ са впечатляващи като новост в теоритичен и технологичен аспект. За разлика от широко разпространеното мнение, че изправителният ефект на селеновите токоизправители се дължи на границата на селена с металния електрод (ефект на *Schottky*), младият физик защитава становището за формиране на n-p преход на базата на CdS-Se, който определя диодното поведение на прибора [1]. В статията си [2] той пише: *Доколкото селенът и кадмиевият сулфид в граничната област се запазват като два различни полупроводника, с различни кристални решетки, дотолкова химическият запиращ слой ще представлява един двоен химически запиращ слой – в селена и кадмиевия сулфид.* Със своите експериментални и технологични резултати Касабов доказва тази

идея, което позволява разработка на технология за ефективни селенови токоизправители. По своята същност неговите научни резултати предшества идеята за използването на хетеропреходи, на която се основават много съвременни полупроводникови технологии. Друг оригинален принос е предложението за използване на междинен изолиращ слой от силициев двуокис, който да подобри изправителните характеристики. Този подход предхожда с повече от 20 години идеята за p-i-n диодни структури. Трябва да се отбележи, че получените от него научни и технологични резултати са използвани при разработка и внедряване в производство на технология за селенови токоизправители в Батерийна фабрика – София, по-късно преименувана в Завод за полупроводникови прибори. Впоследствие, като научен сътрудник във Физически институт на БАН Йордан Касабов е бил ръководител на две разработки за внедряване на селенови токоизправители в ЕЛПРОМ – София.

Творческата интуиция на младия учен го насочва към изследвания на кристален силиций, който в този момент се очертава като най-перспективния полупроводников материал. Като ръководител на новата секция „Силиций“, с характерния за него ентузиазъм и енергия, Касабов започва още през 1959 г. целенасочена работа върху технология за изтегляне на силициеви монокристали по метода на Чохралски, както и технология за безтигелово зонно топене на силиций [3]. Това са особено перспективни за времето си технологии, които впоследствие стават базови за световната полупроводникова индустрия и микроелектрониката. Паралелно с дейността по израстване на кристали в секцията започват и изследванията върху дифузия на примеси в силиций с цел създаване на легирани области. Първите резултати за легиране на силициевата повърхност чрез дифузия от фосфорно стъкло и разпределението на фосфорните атоми са публикувани в списание „Физика твърдого тела“ през 1962 г. [4]. Йордан Касабов и сътрудниците му разработват технологични процеси за легиране на силиций от P_2O_5 и B_2O_3 . Посоката е ясна. Верен на своя творчески стремеж, той има цел – реализиране на полупроводникови прибори върху силиций. През 1965 г. са публикувани резултати за първия в България слънчев фотоелемент на базата на кристален силиций [4]. С оригинална технология са получени фотоелементи с много добри електрически параметри, които са сравними със световните прототипи. Това вдъхновява утвърдения вече учен и той се насочва към нови хоризонти в световната наука. През 1965 г. излиза негова статия, описваща метод за планарна изолация на n-тип области от силициевата повърхност с дифузионни области от p+ тип [6]. Методът е разработен за приложение при реализацията на твърдотелни схеми върху един кристал. Предлага се използване на дебел слой силициев оксид (SiO_2) след планарното му структуриране с фотолитографски процес като маска за дифундиращите примеси. Това са първите стъпки за създаване на електронна схема върху повърхността на един кристал (чип).

Следвайки най-съвременните световни тенденции, Йордан Касабов започва да работи целенасочено върху планарна технология за интегрални схеми. В този момент се развиват паралелно две направления в интегралната схемотехника: интегриране на биполярни прибори върху един кристал и интегриране на полеви транзистори. Предвидливо в неговата секция се разработват технологични процеси, необходими за тези две технологии като тънкослойна епитаксия, дифузия на бор и фосфор в силиций, окисление и отлагане на тънки диелектрични слоеве. На този етап се проявяват и организаторските способности на талантливия учен. Той организира нови дейности като изработване на шаблони и фотомаски, фотолитография и прецизно уредостроене. Бурното научно и технологично развитие в секция „Силиций“ подсказва, че в този момент там се ражда нещо ново и перспективно.

През 1968 г. Касабов публикува първото научно съобщение за електрическите характеристики на силициев полеви транзистор (МОС транзистор) [7]. В него се докладва за фоточувствителност в електрическите характеристики на МОС транзистор, но за конструкцията на самия транзистор се цитира: „непубликувани данни“. Ако се направи справка в списъка на разработките на Йордан Касабов, се вижда, че той по това време е ръководител на разработка и внедряване в опитно производство на 10 вида МОС транзистори в новосъздадения през 1967 г. Централен институт за елементи (ЦИЕ), който е извън системата на БАН. Негов действителен организатор и първи директор е старши научният сътрудник Йордан Касабов. Той привлича част от сътрудниците си от секция „Силиций“ и лично провежда интервюта с новите кандидати. За три години институтът се разраства до 350 човека. В този етап организаторският талант на Йордан Касабов се проявява най-силно. Той създава структура с нови отдели като: технология с опитно производство, проектиране на интегрални схеми, производство на фотомаски, измерване на интегрални схеми, монтаж на интегрални схеми, конструкторски отдел за електронно и механично уредостроене, лаборатория за надеждност и изпитание и т.н. Научният, инженерният и техническият състав на новия институт е много млад (средна възраст около 25 години) и цялата отговорност пада върху плещите на Йордан Касабов и неговите най-близки сътрудници. Още първата година стартират тежки проекти за разработка и внедряване в опитно производство на МОС интегрални схеми (МОС ИС), които са елементна база за разработка на електронни калкулатори от ново поколение. За проектантите, конструкторите и технолозите това е изключително предизвикателство с новост и нетрадиционност. Най-силно е предизвикателството в технологията за производство на МОС ИС. Вече не е въпрос за изработка на лабораторни прототипи, а за производство, което има изисквания към оборудване, материали, чисти химикали, „чисти“ стаи и най-важното, към стабилни и възпроизводими технологични процеси. На такъв етап не е било

възможно да се ползва информация от литературни източници, тъй като има технологични тайни (*know how*) и предложените технологични решения са били оригинални, съобразени с възможностите на оборудването и техническата инфраструктура в страната. Разработката на първите интегрални схеми с малка и средна степен на интеграция се реализира с българска технология за р-канални транзистори на базата на четири съществени научни приноси на Йордан Касабов, а именно:

- Технология за високоомни микрорезистори, които се използват като товарен елемент в инвертора;
- Въвеждане на двуслойната система волфрам-злато (W-Au) като гейтов електрод и метални проводящи шини;
- Метод за електростатична защита на МОС прибори;
- Метод за оценка на качеството на гейтовия окис и на граничната повърхност диелектрик-полупроводник.

Идеята да се използва високоомен дифузионен микрорезистор е компромисен вариант, позволяващ намаляване с повече от два пъти площта на областите с гейтов диелектрик, което при тогавашното технологично ниво съществено подобрява рандемана на производство, стабилността и надеждността на МОС ИС. Друго предимство на микрорезисторите е възможността да се работи с по-ниски захранващи напрежения, дори при сравнително високи прагови напрежения на транзистора [8, 9, 10].

Оригинално технологично решение е въвеждането на двуслойната система волфрам-злато (W-Au) като гейтов електрод и метални проводящи шини вместо алуминий (Al) [11, 12]. Използването на Al за гейтов електрод има недостатъци, свързани с неговата ниската химическа и термодинамична стабилност, взаимодействие с тънкия гейтов окис, несъвместимост при бондиране със златна нишка. Тези недостатъци се избягват при двуслойната система волфрам-злато (W-Au) и се постига химически и температурно устойчива метализация с ниско листово съпротивление и добра адхезия, поради присъствието на волфрам под златото. Използването на волфрам, който има голяма отделителна работа, позволява да се постигне по-ниско прагово напрежение дори при по-голяма дебелина на гейтовия окис (170 nm).

Високото съпротивление на входа на МОС транзисторите и МОС интегралните схеми води до опасност от пробив в диелектрика на гейта при попадане на високо напрежение от електростатичен заряд. За предпазване от подобна опасност Йордан Касабов предлага оригинално решение за защита на входа с включване на полеви транзистор с дебел гейтов окис. Този транзистор закъсява входа при попадане на напрежения по-големи от неговото прагово напрежение. Използването на подобна входна защита в произведените МОС ИС от серия УНИМОС доказва нейните предимства и експлоатационна надеждност.

Съществен елемент за функциите на МОС ИС и рандемана при производството им е поддържане на праговото напрежение на транзисторите в определени граници. Това зависи от електрофизичните свойства на разделителната повърхност диелектрик-полупроводник. Изследванията на Йордан Касабов в тази област са първите в България [13, 14]. Той предлага да се използва проводимостта в инверсната област на МОС транзистор за оценка на плътността на повърхностните състояния на границата Si-SiO₂. Методът е подходящ за бърза оценка на качеството на силициевия двуокис и е приложим за оптимизация на процеса на окисление и последващите температурни обработки.

Изброените научни приноси са най-съществените фактори за създаване на оригинална българска технология за производство на МОС интегрални схеми [15]. С нея са реализирани в опитното производство на ЦИЕ голям брой оригинални схеми с малка и средна степен на интеграция като: серия УНИМОС, специализирани схеми за електронни калкулатори, първите постоянни памети (*ROM*) и първата оперативна памет (*RAM*). В много кратък срок технологията е внедрена в производство в нов завод в Ботевград. С построяването на новия завод и въвеждане в серийно производство на поредица от МОС интегрални схеми Йордан Касабов поема огромна отговорност. Рискът е оправдан и е поставено началото на микроелектрониката в България. Успехът от тази иновация предизвиква силен интерес в страните от източния блок. Световно признание за българската електроника и технология е получаването на златен медал от световното изложение в Осака през 1970 г. за електронен калкулатор на базата на МОС интегрални схеми.

За периода 1967 – 1972 г. на базата на оригинални технологични решения и иновативна проектантска дейност са разработени нови интегрални схеми като: универсални интегрални схеми за изчислителната техника, обединени в серия УНИМОС; 2 фамилии логически матрици; постоянни памети (*ROM*) за електронните калкулатори Елка-42, Елка-45, Елка-99; първата оперативна памет (*RAM*) с обем 256 бита; серия от 8 интегрални схеми за калкулатор Елка-40. Тези схеми са специално предназначени за българските изделия на изчислителната техника, които са били начело в експортната листа на страната.

След 1973 г. Централният институт за елементи е вече структурно изграден, кадрово обезпечен, с натрупан професионален опит в микроелектрониката и неговата програма се насочва към разработка на схеми със средна и голяма степен на интеграция. Това налага технологично и техническо обновление. Доставя се съвременно технологично оборудване и започва разработката на нови базови технологии: N-канална технология със силициев гейт и технология с планарна изолация (тип *LOCOS*). Те изискват въвеждането на нови технологични процеси: химическо отлагане от парна фаза на тънки сло-

еве, йонна имплантация, плазмено ецване и др. Въвеждат се съвременни методи за проектиране и изработване на маски. Нови изисквания има към функционалните измервания на схемите. В центъра на това бурно развитие е фигурата на Йордан Касабов като директор на института с новото име Институт по микроелектроника (ИМЕ). Той е вече защитил дисертационен труд за научната степен „доктор на физическите науки“, хабилитиран е като професор към Физическия факултет на Софийския университет и е избран за член-кореспондент на БАН. Авторитетът му като изтъкнат учен е значително нараснал в страната и чужбина. Признат е за водещ специалист в микроелектрониката. Независимо от това, неговата енергия и ентузиазъм не намаляват. Той е двигателят на нови изследвания и разработки. Амбицията му е България да следва плътно най-развитите нации в микроелектрониката. В този период започва разработка на оперативни памети с по-голям обем, електрически програмируеми постоянни памети от типа *EPROM*, схеми за телефони, схеми за електронни часовници и микропроцесорната система 600.



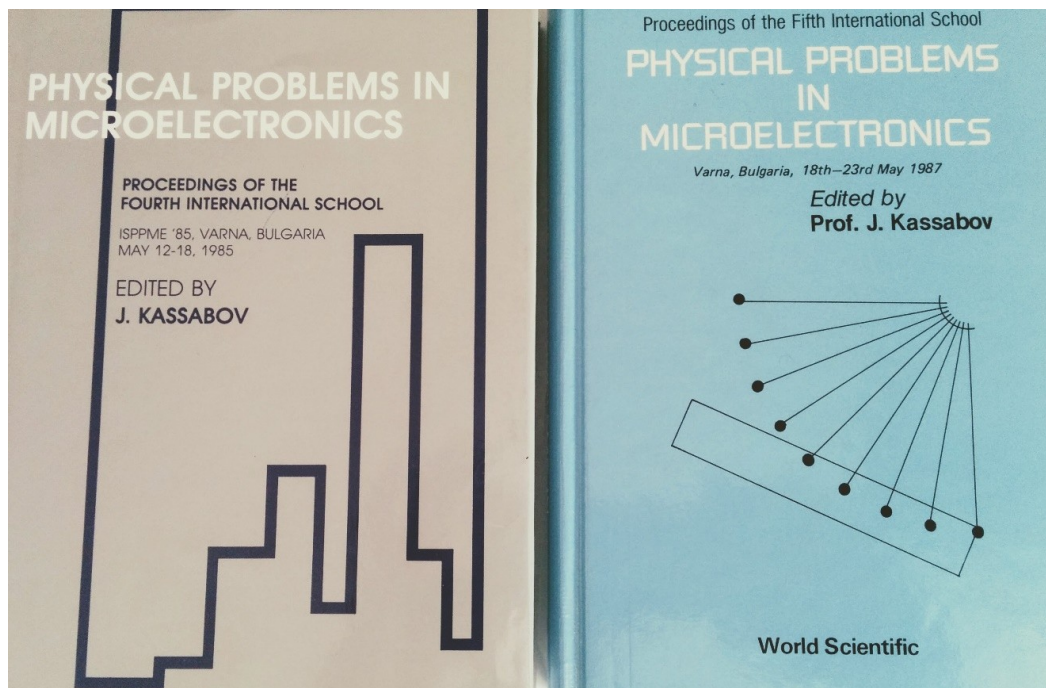
Чл.-кор. Йордан Касабов – лектор на Международна школа „Физически проблеми в микроелектрониката“

През 1978 г. Йордан Касабов е освободен неочаквано от поста директор на Института по микроелектроника. Принуден е да се върне на академичната си длъжност в Института по физика на твърдото тяло при БАН като ръководител на сектор „Физични основи на микроелектрониката“. Около него

бързо се създава силен научен колектив. Там той доразвива своите идеи за изучаване на структурата Si-SiO₂ чрез повърхностния инверсен слой, използвайки транзисторна структура без гейтов електрод върху подложка от p-Si [16]. Този метод е приложен за оценка на ефекта на високочестотна плазма и други въздействия върху подвижността на неосновните носители [17].

От 01.08.1982 до 01.01.1988 г. проф. Касабов е заместник-директор на Единния център по физика към Българската академия на науките. През 1985 г. е основан Координационен център по информатика и изчислителна техника (КЦИИТ) при БАН с три самостоятелни лаборатории. Чл.-кор. Касабов е назначен за директор на Лаборатория по външни запаметяващи устройства към КЦИИТ.

Независимо от сериозната ангажираност на Йордан Касабов като ръководител и организатор, неговата публикационна дейност е голяма. Той е автор и съавтор на 112 научни публикации, 12 пленарни доклада, 5 книги, 16 авторски свидетелства и патенти и 75 разработки и внедрявания. Редактор е на 3 сборника от Международната школа „Физически проблеми в микроелектрониката“, издадени от издателството *World Scientific*.



Сборник доклади от Международната школа „Физически проблеми в микроелектрониката“ с редактор Йордан Касабов

Талантливият учен Йордан Касабов, със своята активна научна дейност, създава научна школа в областта на микроелектрониката. Под негово ръко-

водство защитават много редовни и задочни аспиранти (докторанти). Голям е броят на неговите сътрудници от БАН и Института по микроелектроника, които са хабилитирани като старши научни сътрудници, доценти и професори. От 1983 до 1989 г. той е организатор на регулярна (през 2 години) международна школа „*Physical Problems in Microelectronics*“, която получава сериозно международно признание. Тази международна проява се превръща във форум, където се срещат известни учени от Западна Европа с колегите си от Източна Европа. Много млади хора за първи път слушат лекции от изтъкнати учени, имената на които познават само от литературата. Създават се контакти, които впоследствие се оказват много полезни за кариерното развитие на голям брой млади учени.



Йордан Касабов като популяризатор на научно-технически знания

Активна е и преподавателската дейност на Й. Касабов. От 1960 до 1975 г. той е хоноруван преподавател във Физическия факултет и лектор на създадения от него учебен курс „Микроелектроника“. Много са неговите студенти, които веднага след завършването си постъпват на работа в Института по микроелектроника. Така се осъществява една приемственост при подготовката и развитието на кадрите. Младите специалисти, научни сътрудници и аспиранти се обучават от неговите книги [18, 19]. Трябва да се отбележи и ролята му като популяризатор на научно-технически знания. Неговата книга „Полупроводници и полупроводникови прибори“, издадена още през 1964 г. [20], е една от първите български книги по тази тематика. Много полезна за

млади хора, ученици и студенти е и втората му книга „По-ценен и от диаманта“ [21]. Проф. Касабов е бил член на редакционната комисия и главен редактор на списание „Природа“.

За своята активна дейност Йордан Касабов е получил много награди и отличия като: награда „100 години БАН“ (1969), награда по физика и математика на Съюза на учените в България (1973), орден „Кирил и Методий“ I степен (1985) и др. С решение №241/27.04.2017 на СОС една улица в квартал „Младост-3“ е наименувана с неговото име.

През 1992 г. научно-техническата общност в България загуби един талантлив учен, направил много за модерното технологично развитие на българската електроника. Неговият житейски път на учен-физик, копнеещ да види своите научни резултати, реализирани в индустриалното производство, минава под девиза на неговия учител: „Чрез физически науки към технически прогрес“, който беше написан на сградата на Физическия институт, там откъдето чл.-кор. Йордан Касабов започва научната си кариера за да стане основоположник на микроелектрониката в България.

Литература

- [1] Йордан Касабов, дисертационен труд „Върху строежа на запиращия слой на селеновите токоизправители“, Физико-математически факултет, 1955.
- [2] Йордан Касабов, Върху строежа на запиращия слой на селеновите токоизправители, *Известия на отделението за физико-математически и технически науки – БАН*, серия Физическа, том VI, с. 111, 1956.
- [3] Й. Касабов, Вакуумная аппаратура без кварцевой трубки для бестигельной зонной плавки кремния, *Доклади на БАН*, том 15, кн. 8. стр. 817, 1962.
- [4] Д. Н. Михайлова и Й. Д. Касабов, О диффузионном распределении фосфора в кремнии, *Физика твердого тела*, том IV, с. 1671, 1962.
- [5] J. Kasabov, S. Bakalska and A. Andreev, Effective solar cells from p-type silicon of very low resistivity, *Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences* (Доклади на БАН), vol. 18, 3, p. 203, 1965.
- [6] J. Kasabov, L. Popova, K. Kolentsov, A method for the isolation diffusion of solid-state circuits, *Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences* (Доклади на БАН), vol. 19, 8, 1966.
- [7] J. Kasabov, N. Velchev, I. Stoev, A. Vitkov, Photoeffect in MOS transistor, *Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences* (Доклади на БАН), vol. 21, 10, 1968.
- [8] Й. Касабов, Метод за получаване на високоомни дифузионни микрорезистори, авторско свидетелство № 1635 от 14.01.1970 г.
- [9] Й. Касабов, МОС ИС с микрорезистори, сборник от „Първа национална конференция по полупроводникова електроника – Ботевград“, октомври 1972 г., том 1

- [10] J. Kasabov, Physical characteristics of high- resistivity microresistors on silicon substrate, *Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences* (Доклади на БАН), vol. 26, 2, p. 163, 1973.
- [11] J. Kasabov, MOST and MOS IC with low threshold voltage by means of the W-Al metal system, *Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences* (Доклади на БАН), vol. 25, 12, p. 102, 1972.
- [12] Й. Касабов, Р. Стоева, В. Георгиев, Двуслойни системи за МОС ИС с високотемпературни метали и злато, сборник от „Първа национална конференция по полупроводникова електроника – Ботевград“, октомври 1972 г., том 1.
- [13] J. Kasabov, Investigation of Si-SiO₂ interface by MOST structures, *Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences* (Доклади на БАН), vol. 23, 1, p. 29, 1970.
- [14] J. Kasabov, M. Ilieva, Rapid technique for determination of surface state density and energy distribution by MOST structure, *Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences* (Доклади на БАН), vol. 23, 1, p. 33, 1970.
- [15] Йордан Касабов, Дисертационен труд „Върху някои проблеми на МОС транзистори и МОС интегрални схеми“ за научната степен „доктор на физическите науки“, 1973.
- [16] J. Kasabov, D. Dimitrov, Investigation of the Si-SiO₂ interface by surface inversion currents, *Solid- State Electronics*, vol. 29, No 4, p.447, 1986.
- [17] J. Kasabov, E. Atanasova, D. Dimitrov and E. Goranova, UV radiation effects of argon plasma on Si-SiO₂ structures, *Microelectronics Journal*, vol. 18, No2, p. 21, 1987.
- [18] Й. Касабов, Н. Велчев, Физика на повърхностните явления в полупроводници и МОС структури, изд. „Наука и изкуство“, 1977.
- [19] Й. Касабов, Ст. Андреев, Л. Попова, В. Георгиев, Физически основи на полупроводниковата микроелектроника, изд. „Наука и изкуство“, 1981.
- [20] Й. Касабов, Полупроводници и полупроводникови прибори, изд. „Техника“, 1964.
- [21] Й. Касабов, По-ценен и от диаманта, изд. „Народна просвета“, 1983.

РОБЪРТ ОПЕНХАЙМЕР

Подбор и превод: **Светослав Рашев**
(продължение от бр. 2/2017)

Следвоенна дейност

Проектът „Манхатън“ станал публично известен след бомбардировките над Хирошима и Нагасаки и Опенхаймер се превърнал в национален говорител по въпросите на науката, която станала емблематична с притежаването на нов тип технократска мощ. Той се превърнал в злободневна тема за всяко домакинство, а лицето му се появило на кориците на списанията „Лайф“ и „Тайм“. Ядрената физика се станала мощна движеща сила, когато всички правителства започнали да разбират какъв стратегически и политически фактор представляват ядрените оръжия. Както и много други учени от неговото поколение, той чувствал, че сигурност от атомните бомби може да дойде само от една транснационална организация, като например новосъздадените Обединени нации, които биха съставили програма за потушаване на надпреварата в ядреното въоръжаване.

Институт за съвременни изследвания

През ноември 1945 г. Опенхаймер напуснал Лос Аламос, за да се завърне в Калтек, но скоро разбрал, че преподаването вече не го привлича. През 1947 г. той приел едно предложение от Люис Страус да поеме директорския пост на Института за съвременни изследвания в Принстън, Ню Джърси. Това означавало да се премести далеч на изток, като изостави Рут Толман, съпругата на своя приятел Ричард Толман, с която бил започнал любовна афера, след напускането на Лос Аламос. За работата се полагала заплата от \$ 20 000 на година, плюс безплатно настаняване в отделна къща – феодално имение от XVII век, с готвач и градинар, заобиколено от 265 акра гори.

Опенхаймер събрал на това място интелектуалци в разцвет на силите си и работещи в различни области, с цел да се търсят отговори на най-актуалните въпроси. Той направлявал и поддържал работата на много известни учени, включително Фриймън Дайсън, както и двойката Чен Нинг Йянг и Тсунг-Дао Ли, които получили Нобелова награда за своето откритие на незапазването на четността. Също така учредил временни стипендии за учени от хуманитарните дисциплини, като например Т. С. Елиът и Джордж Ф. Кенан. Част от тези начинания възбудили недоволството на някои членове на Математическия отдел, които настоявали Институтът да остане бастион единствено на чисто научните изследвания. Ейбрахам Паис казал, че самият Опенхай-

мер смятал за един от своите провали в Института това, че не успял да събере заедно учени от естествените и от хуманитарните науки.

Една серия от конференции, проведени в Ню Йорк от 1947 г. до 1949 г., показала, че физиците вече са се преориентирали от военната тематика към теоретичната физика. Под ръководството на Опенхаймер физиците отново се заели с най-значимите проблеми от предвоенните години: безкрайните, разходящи и безсмислени изрази в квантовата електродинамика на елементарните частици. Джулиън Швингер, Ричард Файнман и Шинчиро Томонага разработили проблема на регуляризацията и развили техники, които станали известни като ренормализация. Фриймън Дайсън успял да докаже, че процедурите на всеки един от тях давали аналогични резултати. Проблемът за мезонното поглъщане и теорията на Хидеки Юкава за мезоните като частици – носители на силното ядрено взаимодействие, също бил разработван. Зададени от Опенхаймер въпроси подсказали на Роберт Маршак неговата иновативна двумезонна хипотеза: че всъщност имало два вида мезони, пиони и мюони. Това довело до пробива на Сесил Франк Пауъл, който му спечелил Нобелова награда за откритието на пиона.

Комисията за атомна енергия

Като член на борда на съветниците към един комитет, назначен от Труман, Опенхаймер оказал силно влияние върху *Доклада Ейксън-Лиуентал*. В този доклад комитетът настоявал за създаване на международна институция, която да разполага с всички материал, подходящ за ядрено делене, както и със средствата за неговото производство, каквито са мините, лабораториите и атомните електростанции и където той щял да се използва за мирни цели. Бърнард Барух бил натоварен да трансформира този доклад в предложение до Обединените нации, от което произлязъл *Планът Барух* от 1946 г. *Планът Барух* включвал много допълнителни изисквания по отношение на неговото прилагане, в частност контрол над урановите залежи на Съветския съюз. *Планът Барух* се смятал за опит да бъде запазен ядрения монопол на САЩ и поради това бил отхвърлен от руснаците. Така на Опенхаймер му станало ясно, че надпреварата във въоръжаването вече не можела да се избегне, поради взаимното недоверие между Съединените щати и Съветския съюз, към когото дори самият Опенхаймер вече бил започнал да изпитва недоверие.

След като била създадена Комисията по атомна енергия (КАЕ) през 1947 г. като цивилна агенция за контрол по проблемите на ядрените изследвания и оръжия, Опенхаймер бил назначен за председател на Общия консул-



Опенхаймер със своята дежурна цигара през 1946 г.

тативен комитет (ОКК) на Комисията. От тази позиция той давал съвети по редица проблеми, свързани с ядрената енергия, включително финансиране на проекти, изграждане на лаборатории и дори международна политика – макар и съветите на ОКК да не били винаги съблюдавани. Като председател на ОКК, Опенхаймер енергично лобирал за международен контрол над оръжията и за финансиране на фундаменталната наука, и се опитвал да повлияе на политиката, като я отклони от разгорещената надпревара във въоръжаването. Когато правителството задало въпрос, дали да се приеме спешна извънредна програма за развиване на атомни оръжия въз основа на ядрения синтез – водородната бомба – Опенхаймер първоначално изказал негативно мнение, въпреки че по време на проекта „Манхатан“ той подкрепял разработката на такова оръжие. Той бил мотивиран частично от етични съображения, чувстватвайки, че такова оръжие би могло единствено да се използва стратегически срещу цивилни обекти, което ще доведе до смъртта на милиони човешки същества. Но той имал също така и практични съображения, тъй като по това време не съществувал подходящ модел за водородна бомба. Опенхаймер чувствал, че е по-добре ресурсите да се насочат към създаване на голямо количество атомни бомби на принципа на деленето. Той и някои други били особено загрижени от възможността ядрените реактори да бъдат преоборудвани да произвеждат тритий вместо плутоний. Въпреки неговите възражения, Труман обявил стартирането на извънредната програма, след като Съветският съюз направил своя първи ядрен опит през 1949 г. Опенхаймер и други противници на проекта от ОКК, особено Джеймс Конант, се почувствали персонално пренебрегнати и обмисляли оттеглянето си от комитета. Но те все пак останали, въпреки че техните възгледи по водородната бомба били станали широко известни.

Обаче през 1951 г. Едвард Телер и математикът Станислав Улам разработили проект за конструкция на водородна бомба, който станал известен като *Проекта Телер-Улам*. Тази нова конструкция изглеждала технически осъществима и Опенхаймер променил мнението си по въпроса за разработването на новото оръжие. Той по-късно си припомнял:

„Програмата, която имавме през 1949 г., беше нещо измъчено, за което можеше с основание да се твърди, че няма голям технически смисъл. Поради това можеше да се смята, че никой не би го искал, дори да можеше да го получи. Докато програмата от 1951 г. беше технически толкова привлекателна, че не можеше да има спор по това. Оставаха единствено военните, политическите и хуманитарните проблеми за това, какво ще правим с него, щом веднъж вече го имаме“.

Секретно изслушване

ФБР под ръководството на Дж. Едгар Хувър било наблюдавало Опенхаймер още от времето преди войната, когато той демонстрирал комунистически

симпатии като професор в Бъркли и бил близък с членове на комунистическата партия, включително неговата съпруга и брат. Той бил под строго наблюдение от началото на 1940 г., неговият офис и дом се подслушвали, телефонът му се записвал, а пощата му се проверявала. ФБР снабдявало политическите му противници с компрометиращи доказателства за неговите комунистически връзки. Тези противници включвали Строус, член на КАЕ, който отдавна хранил негодувание срещу Опенхаймер както за неговата съпротива срещу водородната бомба, така и заради унижението на Строус пред Конгреса преди няколко години; във връзка с несъгласието на Строус да се експортират радиоактивни изотопи на други нации, Опенхаймер ги бил категоризирал като „по-маловажни от електронните устройства, но по-важни, например, от витамините“.



Президентът Дуайт Д. Айзенхауер получава доклада от Люис Л. Строус, председател на Комисията по атомна енергия, по опитите с водородната бомба в Тихия океан под името Операцията Касл, през март 1954 г. Строус настоявал на Опенхаймер да му бъде отнето разрешението за достъп до секретна информация.

На 7 юни 1949 г. Опенхаймер дал показания пред Комитета за противоамериканска дейност, където признал, че през 1930-те години е имал връзки с комунистическата партия. Той съобщил, че някои от неговите ученици, включително Дейвид Бом, Джовани Роси Ломаниц, Филип Морисън, Бърнард Питърс и Джоузеф Уайнбърг са били комунисти по времето, когато са работили с него в Бъркли. Франк Опенхаймер и съпругата му Джаки също дали показания пред тази комисия и признали, че са били членове на комунистическата партия. Впоследствие Франк бил уволнен от своя пост в Университета на Минесота. Не успявайки да намери работа като физик в продължение на дълги години, той се захванал с отглеждане на добитък в Колорадо. По-късно той отново преподавал университетска физика и станал един от основателите на Експлораториума в Сан Франциско.

През годините от 1949 до 1953 г. Опенхаймер неведнъж се бил озовавал в центъра на някой конфликт или борба за власт. Едвард Телер, който бил така незаинтересуван от работата върху атомната бомба в Лос Аламос по време на войната, че Опенхаймер му дал възможност вместо това да работи по

своя собствен проект на водородна бомба, напуснал Лос Аламос през 1951 г. за да помогне да се основе през 1952 г. втора лаборатория, която по-късно щяла да прерасне в Национална лаборатория Лоурънс Ливърмор. Там той могъл да се освободи от контрола в Лос Аламос, за да работи върху водородната бомба. Термоядрените „стратегически“ оръжия с далечен обхват, пренасяни от реактивни бомбардировачи щели задължително да бъдат под контрола на новите Въздушни сили на САЩ. В продължение на няколко години Опенхаймер бил поддръжник на по-малки „тактически“ ядрени оръжия, които щели да бъдат по-полезни при по-ограничени бойни действия срещу вражеските войски и които щели да бъдат под контрола на армията. Двете институции се борели за контрола над ядрените отъжия често в съюз с различни политически партии. Въздушните сили, чиято програма се подкрепяла от Телер, спечелила надмощие в контролираната от републиканците администрация след избирането на Дуайт Д. Айзенхауер за президент през 1952 г.



Бившият колега на Опенхаймер, физикът Едвард Телер, дал показания в полза на правителството при секретното изслушване на Опенхаймер през 1954 г.

Строус и сенаторът Брайън МакМахон, автор на *Акта МакМахон* от 1946 г., убедили Айзенхауер да отмени секретното изслушване на Опенхаймер. На 21 декември 1953 г. Строус казал на Опенхаймер, че неговото секретно изслушване било отменено, но се очаквали решения по серия от висящи обвинения, изброени в специално писмо и му предложил да си подаде оставката. Опенхаймер предпочел да не си подава оставката и поискал секретното изслушване да се проведе. Обвиненията били формулирани в писмо от Кенет Д. Никълс, главен управител на КАЕ. Изслушването, което се състояло през април и май на 1954 г. и което в началото било поверително, а не

публично, се фокусирало върху старите комунистически връзки на Опенхаймер и неговото сътрудничество по време на проекта „Манхатан“ с подозирани в нелоялност или комунистически връзки учени. Департаментът по енергията на САЩ публикувал пълния текст на записа от това изслушване през октомври 2014 г.

Един от ключовите моменти в това изслушване е най-ранното свидетелство на Опенхаймер за действията на Джордж Елтентън спрямо различни учени от Лос Аламос – една история, за която Опенхаймер признал, че я е изфабрикувал, за да защити своя приятел Хаакън Чевалиър. Опенхаймер не знаел, че и двете версии били записани при неговия разпит от преди едно де-

сетилетие. Той бил изненадан, докато давал показания, с тези записи, които не бил получил възможност да прегледа предварително. В действителност, Опенхаймер не бил казал на Чевалиър, че го е споменал и тези показания коствали на Чевалиър работата му. И Чевалиър, и Елтентън, потвърдили, че са споменали, че имали начин да прехвърлят информация на Съветите, като Елтентън признал, че е казал това на Чевалиър, а Чевалиър признал, че го е споменал на Опенхаймер, но и двамата отрекли всяка мисъл или предположение за измяна или шпионаж. Никой от тях не бил осъден за някакво престъпление.

Телер свидетелствал, че той счита Опенхаймер за лоялен, но че:

„В голям брой случаи аз съм виждал д-р Опенхаймер да действа по начин, който за мене беше много труден за разбиране. Аз бях напълно несъгласен с него по много въпроси и неговите действия, откровено казано, ми изглеждаха объркани и усложнени. В този смисъл аз чувствам, че бих искал да видя жизненоважните интереси на тази страна в ръце, които да разбиям по-добре и поради това да им вярвам повече. В този много ограничен смисъл бих искал да изразя усещането си, че аз самият бих се чувствал по-сигурен, ако обществените проблеми попаднат в други ръце“.

Това изявление предизвикало възмущение сред научната общност и довело до практическото изолиране на Телер от академичната наука. Гроувс, заплашен от ФБР, че може да бъде сметнат за замесен в прикриването на контакта на Чевалиър от 1943 г., също дал показания срещу Опенхаймер. Много видни учени, както и правителствени, и военни фигури, дали показания в полза на Опенхаймер. Непоследователностите в неговите показания и неговото безотговорно поведение пред комисията, казвайки в един момент че разказвал „небивалици“ поради това, „че бил идиот“, убедило някои от присъстващите, че той е нестабилен, ненадежден и поради това представлявал потенциален риск за сигурността. Разрешителното за достъп до секретна информация на Опенхаймер било отменено един ден преди срока му на изтичане. Коментарът на Изидор Раби бил, че по това време Опенхаймер бил просто съветник на правителството и че ако правителството не искало да се консултира с него, можело да не го прави.

По време на изслушването Опенхаймер с готовност давал показания за левичарското поведение на много от своите научни колеги. Ако неговото разрешене не е било отнето, той може би щял да бъде запомнен като човек, който „назовавал имена“ с цел да спаси собствената си репутация. Но след това което се случило, Опенхаймер бил смятан от болшинството от научната общност за мъченик на МакКартизма, за еkleктичен либерал, който бил несправедливо нападат от войнолюбиви врагове, символизиращ изместването на научната дейност от академична към военна ориентация. Вернер фон Браун резюмирал своето мнение по случая с една остроумна забележка към

Конгресната комисия: „В Англия на Опенхаймер щяха да му дадат рицарско звание“.

На един семинар в Института на 20 май 2009 г. Уудроу Уилсън, базирайки се на задълбочен анализ на тетрадките на Василиев, взети от архивите на КГБ, Джон Ърл Хайнс, Харви Клер и Александър Василиев потвърдили, че Опенхаймер никога не е бил замесен в шпионаж в полза на Съветския съюз. КГБ опитвало многократно да го завербува, но никога не успяло. Опенхаймер не предал Съединените щати. Освен това той отстранил няколко души от Проекта „Манхатън“, които симпатизирали на Съветския съюз. Хайнс, Клер и Василиев също така заявили, че Опенхаймер „бил всъщност прикрит член на комунистическата партия на САЩ в края на 1930-те години“. Според биографа Рей Монк: „Той беше в съвсем практически и реален смисъл привърженик на комунистическата партия; нещо повече, що се отнася до време, усилия и пари, изразходвани за дейностите на партията, той е бил неин много активен поддръжник“.

Последни години и смърт

От 1954 г. Опенхаймер започнал да прекарва по няколко месеца от годината на острова „Св. Йоан“ от американските острови Върджин. През 1957 г. той купил 2 акра открито пространство на плажа Гибни, където построил спартанска къща на плажа. Там той прекарвал голяма част от времето си във ветроходство със своята дъщеря Тони и съпругата си Кити.



Плажът на Опенхаймер на „Св. Йоан“, Американски Вирджински острови

С растяща загриженост за потенциалната опасност за човечеството, породена от научните открития, Опенхаймер се присъединил към усилията на Алберт Айнщайн, Бертран Ръсел, Джоузеф Ротблат и други видни учени за създаване на Световна академия на изкуствата и науките през 1960 г. Забележително е, че вероятно поради публичните унижения, които преживял, той не подписал най-важните открити протести срещу ядрените оръжия от 1950-те

години, включително *Манифеста Ръсел-Айнщайн* от 1955 г., нито пък, въпреки че бил поканен, не присъствал на първите Пъгуошки конференции по научни и световни проблеми през 1957 г.

В своите речи и статии Опенхаймер непрекъснато подчертавал трудността да се управлява силата на знанието в един свят, в който свободата на науката да обменя идеи все повече се спъва по политически съображения. През 1953 г. Опенхаймер изнесъл лекциите Рейт по ББС *Науката и общото разбиране*, които впоследствие били публикувани. През 1955 г. Опенхаймер

публикувал *Отвореният разум*, една колекция от осем лекции, които той бил изнесъл от 1946 г. дотогава, по въпросите на ядрените оръжия и популярната култура. Опенхаймер отхвърлял идеята за дипломатия от позиция на силата. „Целите на тази страна в областта на външната политика“, писал той, „не могат да бъдат постигнати по един реален и дълготраен начин чрез принуда“. През 1957 г. Философският и Психологическият факултет на Харвард поканили Опенхаймер да прочете *Лекциите Уилям Джеймс*. Една влиятелна група от възпитаници на Харвард, предвождана от Едвин Джийн, която включвала и Арчибалд Рузвелт, протестирала срещу това решение. Около 12 000 души се били натъпкали в театъра „Сандърс“ за да чуят шестте лекции на Опенхаймер, озаглавени „Надеждата на реда“. Опенхаймер прочел лекциите *Видън* в Университета МакМастър (Хамилтън, Канада) през 1962 г. и те били публикувани през 1964 г. под заглавието: *Летящият трапец: Три кризи за физиците*.



5 юни 1947 г. връчване на почетна награда на Опенхаймер (първия отляво на-
дясно), Джордж С. Маршал (трети) и Омар Н. Бродли (пети). Президентът на
Университета Харвард Джеймс Б. Конант седи между Маршал и Бродли

Лишен от политическа власт, Опенхаймер продължил да изнася лекции, да пише и да работи в областта на физиката. Той обиколил Европа и Япония, изнасяйки лекции върху историята на науката, ролята на науката в общество-то и върху природата на Вселената. През септември 1957 г. Франция го направила Офицер на Легиона на честта, а на 2 май 1962 г. той бил избран за чуждестранен член на Британското Кралско общество. По настояване на много от политическите приятели на Опенхаймер, които се били издигнали на власт, президентът Джон Ф. Кенеди му присъдил Наградата „Енрико Ферми“ през 1963 г. като жест на политическа реабилитация. Едвард Телер, носителът на наградата от предишната година, също препоръчал да я получи Опенхаймер с надеждата, че това може да заглади разрыва между тях. Около

една седмица след убийството на Кенеди, неговият наследник, президентът Линдън Джонсън, връчил наградата на Опенхаймер „за приноси в теоретичната физика като преподавател и извор на идеи, както и за лидерството на Лабораторията в Лос Аламос и на програмата за атомна енергия по време на критични години“. Опенхаймер казал на Джонсън: „Аз смятам за възможно, господин Президент, че връчването на тази награда днес ви е струвало немалка доза великодушие и смелост“. Реабилитацията, съдържаща се в наградата, била частично символична, тъй като Опенхаймер не получил достъп до секретна информация и не можел да влияе на официалната политика, но наградата била придружена със сума от \$ 50 000 и нейното връчване възмутило много видни републиканци в Конгреса. Вдовицата на загиналия президент Кенеди – Джаклин, все още живееща в Белия дом, положила специални усилия да се срещне с Опенхаймер, за да му каже колко много нейният съпруг желал той да получи медала. Докато бил все още сенатор през 1959 г., Кенеди успял да наложи с големи усилия при гласуване неприятелят на Опенхаймер Люис Строус да не получи желаното от него правителствено назначение като Секретар по търговията, като по такъв начин практически прекъснал политическата кариера на Строус. Това се случило отчасти в резултат на лобирането на научната общност в полза на Опенхаймер.

Опенхаймер бил диагностициран с рак на гърлото в края на 1965 г. след частична хирургическа операция, след това бил подложен на несполучлива лъчева терапия и химиотерапия в края на 1966 г. Той изпаднал в кома на 15 февруари 1967 г. и починал в своя дом в Принстън, Ню Джърси, на 18 февруари, на възраст 62 години. Мемориална служба била отслужена в Александровата зала на Университета в Принстън една седмица по-късно, посетена от 600 от неговите научни, политически и военни съмишленици, включително Ханс Бете, Гроувс, Конан, Лилиентал, Раби, Смит и Вигнер. Брат му Франк и останалите от семейството му също били там, както и историкът Артър М. Шлезинджър мл., писателят Джон О‘Хара и Джон Баланчайн, директорът на Ню Йоркския балет. Бете, Кенан и Смит произнесли кратки прощални слова. Опенхаймер бил кремиран и пепелта му била поставена в урна. Кити отнесла урната в Св. Йоан и я спуснала в морето далеч от брега, откъдето се виждала къщата на плажа.

Когато Кити починала от чревна инфекция, усложнена от белодробна емболия през октомври 1972 г., ранчото на Опенхаймер в Ню Мексико било наследено от техния син Питър, а имението на плажа било наследено от тяхната дъщеря Кетърин „Тони“ Силбър. На Тони бил отказан достъп до секретни документи при нейната работа като преводач на ООН, след като ФБР припомнило старите обвинения срещу нейния баща. През януари 1977 г., след приключването на нейния втори брак тя извършила самоубийство на възраст 32 години. Тя завещала имението на „хората от Св. Йоан за публичен парк и

зона за отмора“. Оригиналната къща, построена твърде близо да брега, била разрушена от ураган, но днес правителството на Американските Вирджински острови поддържа едно читалище на територията на парка.

Наследство

Когато Опенхаймер бил отстранен от своята позиция на политическо влияние през 1954 г., той символизирайл за много хора безумието на учените, които смятали, че могат да контролират как да се използват резултатите от техните изследвания. Той също така бил разглеждан като символ за дилемите, свързани с моралната отговорност на учения в ядрения свят. Неговите секретни изслушвания били инициирани както от някои политици, понеже Опенхаймер бил разглеждан като представител на предишната администрация, така и от личната враждебност на Люис Стросс към него. Противопоставянето му на разработването на водородната бомба било продиктувано колкото от технически, толкова и от морални съображения. Щом веднъж техническите затруднения били разрешени, той започнал да подкрепя водородната бомба на Телер, защото бил убеден, че Съветският съюз неизбежно ще конструира такава. Вместо обаче последователно да се противопоставя на антикомунистическата кампания от края на 1940-те и началото на 1950-те години, Опенхаймер свидетелствал срещу някои от своите бивши колеги и студенти както преди, така и по време на своето изслушване. В един от случаите неговите унищожителни показания срещу бившия му студент Бърнард Питърс били селективно пропуснати в пресата. Историците интерпретирали това като опит на Опенхаймер да се хареса на колегите си в правителството и може би да отклони вниманието от своите предишни левичарски връзки и тези на своя брат. Накрая това се обървало против него, защото станало ясно, че ако наистина се е съмнявал в лоялността на Питърс, неговата препоръка за Проекта „Манхатан“ би била безумие или поне противоречива.

Обикновено борбите на Опенхаймер със секретните служби са се разглеждали като противопоставяне между ясноориентираните милитаристи (олицетворявани от Телер) и левичарските интелектуалци (представяни от Опенхаймер) по моралните аспекти на оръжията за масово поразяване. Въпросът за отговорността на учените към човечеството вдъхновил Бертолд Брехт да напише своята драма „Галилей“



Опенхаймер и Гроувс през септември 1945 г. пред остатъците от Теста Тринити в Ню Мексико. Белите платнени обвивки на обувките пречат радиоактивните остатъци да се залепват за обувките

(1955), оставил своя отпечатък върху произведението на Фридрих Дюренмат „Физиците“ и послужил за основа на операта „Доктор Атомен“ от Джон Адамс (2005), чиято цел била да покаже Опенхаймер като един нов Фауст.

Пиесата на Хайнар Кипхардт „Случаят на Дж. Роберт Опенхаймер“, след като била излъчена по Западногерманската телевизия, имала своята театрална премиера в Берлин и Мюнхен през октомври 1964 г. Възраженията на Опенхаймер към пиесата довели до обмяна на кореспонденция с Кипхардт, при което писателят предложил да направи корекции, но защитил пиесата. Тя имала премиера в Ню Йорк през юни 1968 г. с Джоузеф Уайзман в ролята на Опенхаймер. Театралният критик на „Ню Йорк Таймс“, Клайв Барнс, я окачествил като „разгневена пиеса и партизанска пиеса“, която защищавала Опенхаймер, но представяла учения като „трагичен глупак и гений“. Опенхаймер бил поставен в неприятна ситуация от това представяне. След като прочел текста на пиесата на Кипхардт, скоро след като тя била започнала да се играе, Опенхаймер заплашил да съди писателя „поради импровизации, които противоречали на историята и на природата на участващите лица“. По-късно Опенхаймер казал при едно интервю:

„Цялата проклетата история [неговото секретно изслушване] беше един фарс, а тези хора се опитват да направят трагедия от това... Аз никога не съм казвал, че съм съжалявал за отговорното си участие в направата на бомбата. Аз казах, че може би той [Кипхардт] е забравил Герника, Ковънтри, Хамбург, Дрезден, Дахау, Варшава и Токио; но аз не съм ги забравил и че ако му е толкова трудно да разбере това, тогава нека пише за нещо друго“.

Сериалът на ББС от 1980 г. „Опенхаймер“, в главната роля Сам Уотърсън, спечелил телевизионната награда БАФТА. „Денят след Тринити“, документална хроника от 1980 г. за Опенхаймер и за построяването на атомната бомба, бил номиниран за Академичната награда и получил Наградата Пибоди. Животът на Опенхаймер бил изучаван в пиесата „Опенхаймер“ от Том Мортън Смит. В допълнение към тези художествени превъплъщения има и голям брой биографии, включително „Американският Прометей: Триумфът и трагедията на Дж. Роберт Опенхаймер“ (2005) от Кай Бърд и Мартин Дж. Шеруин, която спечелила Наградата „Пулицър“ за биография и автобиография за 2006 г. Конференция и изложба били проведени през 2004 г. в Бъркли, а материалите от конференцията били публикувани през 2005 г. като „Преоткриване на Опенхаймер: изследвания и размишления във връзка със стогодишнината“. Неговите статии се съхраняват в библиотеката на Конгреса.

Като учен Опенхаймер е запомнен от своите студенти и колеги като блестящ изследовател и увличащ преподавател, който се смята за основател на съвременната теоретична физика в Съединените щати. Тъй като неговите научни интереси бързо се сменяли, той никога не успявал да работи достатъчно дълго по определена тема и да я доведе до завършек, за да спечели Но-

белова награда, въпреки че неговите изследователски приноси към теорията на черните дупки може би щяха да му донесат наградата, ако беше живял достатъчно дълго, за да дочака тяхното развитие, постигнато от следващото поколение астрофизици. Един астероид бил назван „67085 Опенхаймер“ в негова чест, както и лунният кратер „Опенхаймер“.

Като военен и обществено-политически съветник, Опенхаймер изиграл ролята на технократски лидер в период на промяна на взаимоотношенията между учените и военните и при появяването на „Голямата наука“. По време на Втората световна война учените били въввлечени във военни изследвания в безпрецедентна степен. Поради заплахата, която фашизмът представлявал за западната цивилизация, те масово се включвали доброволно както за технологично така и за организационно подпомагане на съюзническите усилия, което родило такива мощни средства като радар, близък детонатор, операционно управление. Като културно ориентиран, интелектуален, теоретичен физик, който впоследствие се превърнал в дисциплиниран военен организатор, Опенхаймер символизирил изоставянето на идеята за учените, живеещи с „глава в облаците“ и че познанията върху такива трудно разбираеми въпроси като например състава на атомното ядро, нямат приложения в „реалния свят“.

Два дни пред Теста Тринити, Опенхаймер изразил своите надежди и страхове чрез цитат от Бхагавад Гита:

*В битка, в гората, в пропастите на планините,
върху тъмното велико море, сред копия и стрели,
в съня, в объркването, в дълбините на срама,
добрите дела, които човек е извършил преди, го защитават.*

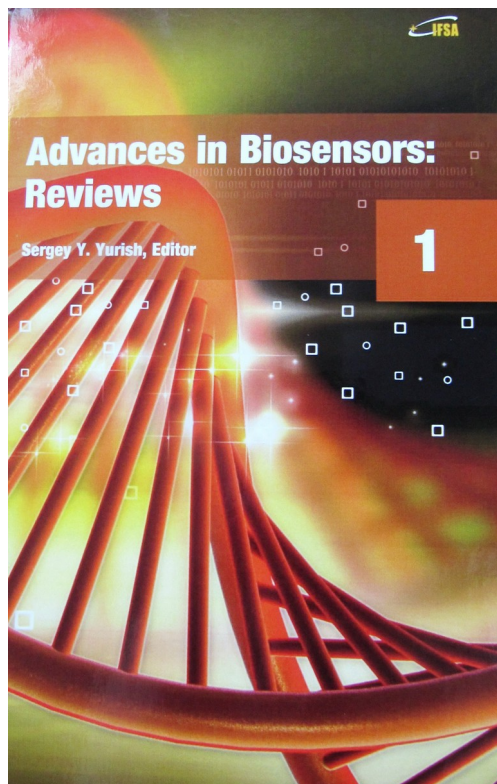
ПОСЕТЕТЕ НАШИЯ САЙТ

wop.phys.uni-sofia.bg

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

НАПРЕДЪК ПРИ БИОСЕНЗОРИТЕ: ОБЗОРИ, ТОМ 1

Мариана Кънева



Advances in Biosensors: Reviews, Vol. 1,
Sergey Yurish, Editor,
IFSA Publishing, S.L., 2017,
ISBN: 978-84-697-3467-4
e-ISBN: 978-84-697-3468-1

системи.

Книгата слага началото на поредица сборници със същото наименование („*Advances in Biosensors: Reviews*“), които ще бъдат публикувани като книги с отворен достъп. Издаването им е стимулирано от започналата през 2012 г. успешна серия сборници на IFSA „*Advances in Sensors: Reviews*“ (вече 6 тома), която стана много популярна сред учените, работещи в областта на сензорите, а от 2016 г. започна да се публикува и с отворен достъп.

В предговора към книгата е направен коментар на тенденциите при търсенето и производството на датчици, основан на пазарно проучване, съгласно което световният пазар на датчици е бил оценен на 113,2 милиона щатски долара през 2016 и би трябвало да достигне 190,6 милиона през 2021 при годишно нарастване от 11% през този петгодишен период. Разрастването на пазара се дължи на постоянния напредък в биосензорната технология, развитието на диагностиката в момента на обслужване на пациента (кардио-

логични маркери, диагностика на инфекциозни болести, мониторинг на коагулацията, тестове за бременност и фертилност, за електролити и газ в кръвта, туморни и ракови маркери, тестове за холестерол, изследване на урина и т.н.), нарастването на използването на биодатчиците за немедицински приложения.

Както във всяка научноизследователска област, изследванията и разработките в областта на биодатчиците започват с обзор на съвременното ѝ състояние. Такъв обзор е една от най-трудоемките и времеемки части от изследователската дейност, особено във високотехнологичните области, към които се отнасят биологичните и химичните датчици. Изключително важно е да се отчете и да се отрази в един такъв обзор сегашното състояние на методите за детектиране, методите за обработка на данните, технологиите и съществуващите устройства.

Първият том на поредицата обзори по темата „*Advances in Biosensors: Reviews*“ съдържа 7 глави, написани от 14 автори от 9 страни: Австралия, България, Китай, Германия, Полша, Русия, Испания, Турция и САЩ.

В **Глава 1** са описани принтирани гъвкави био- и химични датчици. Принтираната електроника като цяло и принтираните електронни датчици в частност са една постоянно разширяваща се област. Потенциалът при използване на допълнителни средства за производство заедно с новите конструкции датчици, като например безжичните биодатчици, базирани на повърхнинна акустична вълна (ПАВ), описани в тази глава, води до широк диапазон от възможности по отношение на ниски по цена и лесни за внедряване устройства. В началото на главата са дадени основни дефиниции за сензор, класификация на сензорите, описани са някои достижения при принтирането на електронни структури. Интегрирането на отделни химични сензори върху обща полупроводникова подложка като цялостна детектираща система се класифицира като „електронни сензори“. Произвеждат се с 3D принтиране и позволяват безконтактно измерване на различни параметри посредством радиосигнал. Технологична основа за тези сензори е класическата оптична интерферометрия с възможност за разпространяване на ПАВ в измервателното рамо. Те могат да бъдат принтирани върху гъвкава подложка, а принтиращите мастила съдържат метални наночастици за повишаване на проводимостта и детектиращите качества. Използваните нанотехнологии позволяват размерите на датчиците в някои случаи да не надвишават 10 μm . Разгледани са различни структури и принцип на действие на принтираните датчици. Дадени са примери за различни технологии за производство на датчици за детектиране на едни и същи вещества или параметри, като например тези, дължащи се на промишлена дейност и влияещи върху промяната на климата: химични и биологични вещества, и класически физични параметри (налягане, температура и др.). Принтираните сензори и електроника

са евтини и високо чувствителни датчици за мониторинг на емисиите от оранжерии, от метановите езера и замърсяването на въздуха в полеви условия, за качествен контрол на храни и продукти, на вода и мониторинг на околната среда. Описани са конкретни примери за биологични, химични сензори и такива за околна среда, например оптична сонда за торфени блата/тресавища, която служи за оценка на влиянието на тези области като източници на CO_2 върху климатичните цикли и екологичното равновесие. Като пример са разгледани също дистанционен контрол на CH_4 с помощта на лазерна томография, системите по проект *NEON (National Ecological Observatory Network)* и *AON (Arctic Observing Network)* за детектиране на широк обхват от параметри, разгледани са и системи за диагностика на електрични мрежи, за които принтираните сензори са от ключово значение. Принтираните сензори са представени като алтернатива на съществуващите датчици за измервания в реално време и в полеви условия.

В **Глава 2** се обсъжда напредъка при разработването и приложенията на $\uparrow\downarrow$ -конверсни (*up conversion*-преобразуване с повишаване на честотата при многофотонно възбуждане и излъчване на светлина с по-висока честота) наночастици за биодатчици. $\uparrow\downarrow$ -конверсните наночастици (UCNPs) са вид неорганични кристали, съставени от матрица и редкоземни допанти, които осъществяват $\uparrow\downarrow$ -конверсното излъчване. В краткия увод към главата са описани механизмите на тяхната фотолуминесценция и уникалните им оптични свойства. UCNPs са многообещаващи за широка област от приложения в биомедицината поради техните уникални способности да превръщат светлината от близката инфрачервена област (NIR) в луминесценция с по-малка дължина на вълната (в ултравиолетовата или във видимата област). Това интригуващо свойство на UCNPs разкрива големи възможности за приложения при биодатчиците с висока чувствителност чрез използване на възбуждане в NIR за минимизиране на фоновия сигнал и повишаване стойността на съотношението сигнал-шум. Други достойнства, като например голямото анти-Стоксово отместване и тесноивичната (в сравнение с тази на обикновените фотолуминесциращи наночастици) многоцветна емисия (уникален набор от тесни емисионни пикове, един от които се избира за референтен при детектиране на различни аналити), възможността за управление на $\uparrow\downarrow$ -конверсията (т.е. за манипулиране на изходния цвят), изключителната фотостабилност и ниската цитотоксичност, също потвърждават ключовите предимства на UCNPs при мултиплексирането и дълговременното детектиране в биологични среди. Разгледани са принципите на действие, разработката и приложенията на биодатчиците, базирани на UCNPs, описана е тяхната конструктивна схема, методите за синтезиране на UCNPs с висока емисионна ефективност – термично разлагане, хидротермичен синтез, копреципитация, и подходите за прикрепване на наночастиците към детектиращите реагенти. Дадени са примери

за използване на този тип сензори при детектиране на йони, биомолекули – ДНК, протеини и ензими, за детектиране на биомаркери при различни заболявания, за ранна диагностика и за непрекъснат мониторинг на комплексни биологични процеси в реално време и в сложни биологични условия (напр. в дълбоко разположени тъкани), както и за използването им като датчици за газови молекули. Измежду различните методи за детектиране, оптичното детектиране с използването на флуоресцентни или луминесцентни биосензори се отличава с простота, ниска цена и гъвкавост при получаването на различна информация за биологичните системи. Обсъдени са предизвикателствата при производството на този тип датчици и бъдещите им възможности.

Глава 3 е посветена на сензори на базата на повърхнинен плазмонен резонанс (*SPR*) – оптичен метод с висока чувствителност, който позволява да се изследват взаимодействията между различни типове биомолекули – пептиди, протеини, нуклеинови киселини. Авторите се фокусират върху хардуерните и софтуерните характеристики на датчик за нанобекти *PAMONO* (*plasmon assisted microscopy of nano-objects*) и миникомпютърна система *Odroid XU3* за мобилна обработка на данните. След кратък обзор на съвременното техническо състояние на *PAMONO*-сензорите се обсъжда възможността за броене и детектиране на сигнали от отделни наночастици (вирусни или небологични) – един дълго време нерешим проблем, както и за определяне на концентрацията на частици в анализираните проби. Изработен е портативен прототип с възможност за автоматично детектиране и класификация на частиците с възможности за оптимизиране на възможностите му. Разгледани са принципа на работа и техническите решения при изготвяне на прототипа, обработката на данните за детектиране, класификация и броене на нанобекти, получаване на разпределението на частиците по големина, методите за оптимизиране на софтуера и за миниатюризация на устройството, илюстрирани с богат материал от резултати от измервания. Датчикът се разглежда като многообещаващ кандидат за разработване на сензорна платформа за характеризиране и сравняване в реално време на различни видове *EV* (извънклетъчни везикули) като биомаркери за физиологични и патологични промени в организмите. Неговите предимства го правят потенциален кандидат за определяне и анализ на разпределението по големина на *EV*-тата в течни образци за биопсия.

Глава 4 представлява обзор на *MEMS* (*Micro-Electro-Mechanical Systems*) магнитни датчици с много висока чувствителност, които са способни да детектират биомагнитните полета, произвеждани от биологичните тъкани или органи, осигурявайки по този начин неинвазивно средство за изследване на дейността на живите системи. *BioMEMS* са обещаващи за миниатюризация на системите за медицинска диагностика. Те са устройства или системи за обработка, доставяне, манипулация, анализ и конструиране на биологични и

химични обекти. Този тип сензори намират най-широко приложение в биомедицината. Описана е *MEMS*-технологията за разработка на устройства с микро- или наноразмери при използване на технологии за производство на интегрални схеми и механична обработка в микромащаб. Предимствата в сравнение с традиционната микроелектроника са: миниатюризация, възможност за интеграция на различни сензорни устройства в една схема, ниска цена, тъй като основният материал е силиций. Разгледано е получаването на магнитни биодатчици на основата на *MEMS*-сензори за магнитен поток: принцип на действие, конструкция и изработване, използването им в комбинация с технологията за магнитно маркиране за детектиране на магнитни лейбъли (*labels*) – наночастици, прикрепени към биомолекули за превръщане на информацията за молекулата в магнитен сигнал. Акцентът е поставен върху сензорите с гигантски магнитен импеданс (*GMI – Giant Magnetoimpedance*) – ефект, който се дължи на индуцирана от магнитно поле промяна на динамичната относителна магнитна проницаемост на един магнитен материал и се изразява в промяна на комплексния импеданс при високи честоти (над 0.1 MHz). Друг тип сензори са тези на принципа на гигантско магнитно съпротивление (*GMR – Giant Magnetoresistance*) – сензорите представляват резистори, чието съпротивление се променя под действието на външни магнитни полета. И двата типа датчици са съвместими със стандартните технологии на силициеви интегрални схеми. Обобщени са последните достижения в областта на *MEMS*-базираните *GMI*, *GMR* и сензорите за магнитен поток и тяхното приложение за детектиране на биомаркери. *MEMS*-биосензори са многообещаващо средство за бърза и точна молекулярна диагностика.

Глава 5 описва приложението на повърхнинния фотозаряден ефект (*SPCE – Surface PhotoCharge Effect*) за контрол на флуиди. Аналичният метод, базиран на *SPCE* дава големи възможности, комбинирайки оптичното сондиране на пробата с електрично детектиране на получения сигнал. Тъй като сигналът от *SPCE* се променя при всяка промяна в свойствата на изследвания флуид, могат да се създадат сензори за всеки от интересувашите ни параметри, както и за контрол на различни процеси. Ефектът притежава голям потенциал за допълване на вече познати и използвани методи за контрол на флуиди. Той представлява универсален тестваш метод, тъй като сигнал се генерира от всички типове флуиди и методът може да се използва за охарактеризиране на произволен флуид. Дадени са примери за използване на ефекта при определяне на качеството и състава на прясно мляко, за мониторинг на октановото число при различните видове бензин, за идентификация на течности, за откриване на примеси в течности, за контрол върху нивото на течност в затворен съд. Основните предимства при детектирането на основата на *SPCE* са високата точност, безконтактност, бързина, универсалност, ниската цена, получаването на резултатите в реално време,

лесната и безопасна работа с апаратурата, възможността за работа в полеви условия и възможността за изработване на малки по размер детектори.

Глава 6 обобщава физиологичните свойства на човешкия нос за да да се видят приликите с един електронен нос. Разгледани са физиологичните механизми на обонянието, дадена е кратка история на изследванията по създаване на електронен нос и концепцията за устройството като система от химични сензори със специални свойства, описан е и модел на система за разпознаване на миризми. Аргументирана е необходимостта от създаване на такъв тип сензор, направено е сравнение между биологичния и електронния нос и се обсъждат областите на приложение и свързаните с тях датчици. След това са обяснени основните части и свойствата на системата електронен нос. Сензорите са най-съществените ѝ изграждащи блокове, които трябва да се избират според областта на приложение и химичните газове, които трябва да бъдат детектирани. Описани са промишлено произвеждани датчици, които могат да се включат в детектиращата миризми система, като е дадено какво точно могат да „почувстват“, т.е. на какви физични и химични свойства реагират. Посочени са четирите технологии, използвани за получаване им: *MOS (Metal Oxide Semiconductors* – металоксидни полупроводници), *MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistors* – металоксидни полеви транзистори), *CP (Conducting Polymers* – проовдящи полимери), пиезоелектрични кристали (*BAW-bulk acoustic wave* – за обемна акустична вълна и *SAW – surface acoustic wave* – за повърхнинна акустична вълна). Принципът на работа и конструкцията на всеки от датчиците, базирани на тези четири технологии, са разгледани поотделно. Посочени са възможните области на приложение на електронния нос: медицинска диагностика и мониторинг на здравния статус, диагностика на респираторни заболявания, откриване на ракови заболявания, мониторинг на околната среда, в хранителната промишленост, в областта на сигурността и в космическите изследвания. Електронният нос е евтин и недеструктивен инструмент, който може да се използва и от неспециалисти. Процесът на детекция е автоматизиран и не изисква специални умения. По същество този аналитичен инструмент е по-скоро „многосензорна технология“ отколкото реален „нос“ и все още е твърде далеч от чувствителността и избирателността на един биологичен нос. Неговото предназначение не е да измести напълно човешкия нос. Очаква се влакнесто-оптичните, електронните и биметалните сензори да се интегрират в следващото поколение електронни носове. Тази глава може да се разглежда като базова за Глава 7.

Глава 7 обобщава постиженията в областта на изкуствените сетива – създаването на електронен нос и електронен език – и анализира методите за едновременна обработка на данни от много променливи. Разгледани са механизмите на усещанията за миризма и вкус и е направено сравнение между

естествените усещания и изкуствения им вариант. Основното внимание е фокусирано върху подробно описание на сензорите, конструкцията и принципа на действие на тези системи, притежаващи обещаващ потенциал за бърз рутинен анализ, и върху тенденциите за бъдещото им развитие. Разгледани са подробно четирите основни групи датчици, използвани в изкуствените системи за обоняние и вкус: електрохимични, пиезоелектрични, оптични и биосензори. Представена е принципна схема на електронен нос и лабораторен прототип на изкуствен език. Основно предимство на тези тип устройства е възможността им да анализират течни проби без предварителна подготовка и твърди проби след разтваряне. Могат да се използват в случаи, когато не е предварително известно дали анализираното вещество е безопасно за консумиране. Дадена е кратка история на изследванията по създаване на изкуствени сетива, като таблично е представен хронологичен списък на най-важните достижения, свързани с разработката на изкуствени носове и езици. Специално внимание е отделено на приложението на тези системи в две доминиращи области: изследване на храна и мониторинг на околната среда. Разгледани са методите за анализ на резултатите и приложенията на описаните сензорни системи за изследване на храна (с подробна справка, дадена таблично) и за мониторинг на околната среда, като е дадена е таблица с примери за приложения на електронния нос за анализ на замърсявания на въздуха. Тези устройства имат голямо предимство при приложения в токсична среда за дистанционни измервания в реално време.

Книгата съдържа богата библиография по разгледаните във всяка глава теми, което я прави особено полезна за подпомагане на изследователите в намирането на подходяща литература, която да им позволи да направят критичен анализ и да преценят какво е свършено дотук и да формулират бъдещите си научни цели и обекти.

В своя предговор към сборника проф. Юриш казва: „Надявам се, че читателите ще се зарадват на тази книга и че тя може да е ценно пособие за тези, които се занимават с изследванията и разработките на различни биосензори и системи за детектиране на биологични обекти.“

Книгата е със свободен достъп на адрес:

http://www.sensorsportal.com/HTML/BOOKSTORE/Advances_in_Biosensor_s_Vol_1.htm,

което означава, че цялото ѝ съдържание е достъпно безплатно, може да бъде четено, изтегляно, копирано, разпечатвано и разпространявано, да бъдат изпращани линкове към отделните глави и да се използва за всякакви законни цели без да се иска позволение от издателя или авторите.

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, 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
Европейското физическо дружество.**



НАШИТЕ АВТОРИ:

Сашка Александрова – проф. д-н, Технически университет, София;
Динко Динев – доц. д-р, Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика, БАН;

Любомир Цонев – доц. д-р, Институт по физика на твърдото тяло, БАН;
Вася Атанасова – гл. ас. д-р, Институт по биофизика и биомедицинско инженерство, БАН;

Северина Семкова – гл. ас. д-р, Институт по биофизика и биомедицинско инженерство, БАН;

Пенка Лазарова – Съюз на учените в България;

Вера Хаджимитова – доц. д-р, Медицински университет – София;

Виктория Димитрова – студент, Медицински университет – София;

Калина Иванова – студент, Медицински университет – София;

Жаклин Жекова – СУ, „П. К. Яворов“, Чирпан;

Десислава Илиева – СУ, „П. К. Яворов“, Чирпан;

Крум Коленцов – ст.н.с. II ст., д-р, асоцииран член на Института по физика на твърдото тяло, БАН;

Петко Витанов – проф., асоцииран член на Централна лаборатория по слънчева енергия и нови енергийни източници, БАН;

Лиляна Попова – доц. д-р, асоцииран член на Института по физика на твърдото тяло, БАН;

Светослав Рашев – проф. д-р, Институт по физика на твърдото тяло, БАН;

Мариана Кънева – доц. д-р, Институт по физика на твърдото тяло, БАН;

СЪДЪРЖАНИЕ

CONTENTS

РЕДАКЦИОННО

– За младите във физиката

НАУКА

– Д. Динев – Ускорителят *NICA*

– Л. Цонев – Луминесцентно датiranje в археологията

– Д. Динев, С. Александрова – Значими събития във физиката и астрономията през 2016 г.

НАУЧНИ НОВИНИ

– Четирите нови елемента

ГОДИШНИНА

– В. Атанасова, С. Семкова – Институтът по биофизика и биомедицинско инженерство към БАН отбеляза 50-годишен юбилей от създаването си

ФИЗИКА И ОБУЧЕНИЕ

– П. Лазарова – Младежка научна сесия 2017

– В. Хаджимитова – Поредно участие на студенти по медицина в конференция по физика

МЛАДИ ИЗСЛЕДОВАТЕЛИ

– В. Димитрова, К. Иванова – Бор неутронна терапия – лечение на рак без странични ефекти

– П. Лазарова – Конкурс за есета, посветени на Годишната на Нютон

– Ж. Жекова – Исак Нютон: Аз открих светлината

– Д. Илиева – Ябълката на Нютон

ЮБИЛЕЙ

– К. Коленцов – доц. д-р Стефан Балабанов на 85 години

PERSONALIA

– П. Витанов, Л. Попова – Йордан Касабов – физикът, виждащ бъдещето

– С. Рашев – Робърт Опенхаймер

КНИГОПИС

– М. Кънева – Напредък при биосензорите: обзор, том 1

EDITORIAL

– Young people and physics.....155

SCIENCE

– D. Dinev – The accelerator *NICA*.....159

– L. Tsonev – Luminescence dating in archaeology.....164

– D. Dinev, S. Aleksandrova – Breakthroughs in physics and astronomy in 2016.....184

SCIENCE NEWS

– The four new elements.....192

ANNIVERSARY

– V. Atanassova, S. Semkova – The Institute of Biophysics and Biomedical Engineering of BAS celebrated the 50th anniversary of its foundation.....195

PHYSICS AND TEACHING

– P. Lazarova – Youth scientific session 2017.....197

– V. Hadjimitova – Medical students' participation in physics conference.....199

YOUNG RESEARCHERS

– V. Dimitrova, K. Ivanova – Boron Neutron Capture Therapy – treatment for cancer without side effects.....206

– P. Lazarova – Essay competition in Hewton's honor.....215

– Zh. Zhekova – Isaac Newton: I have discovered the light.....217

– D. Ilieva – Newton's apple.....218

JUBILEE

– K. Kolentsov – Assoc. Prof. Dr S. Balabanov at the age of 85.....219

PERSONALIA

– P. Vitanov, L. Popova – Jordan Kasabov – the physicist who perceives the future.....221

– S. Rashev – Robert Oppenheimer.....231

BIBLIOGRAPHY

– M. Kuneva – Advances in Biosensors: Reviews, Vol. 1.....243