



съюз на физиците
в БЪЛГАРИЯ

СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА

2'24

СЕИЗМИЧНАТА АКТИВНОСТ
В СЛЪНЧЕВАТА СИСТЕМА И
КОСМИЧЕСКИТЕ МИСИИ

WORLD OF PHYSICS

ЛУННИТЕ
ЛАВОВИ ПЕЩЕРИ

ГОЛЕМИЯТ ПРОЕКТ:
Европейският източник на
спалационни неутрони

ПЪТЕШЕСТВИЕ В НАНОСВЕТА:
КВАНТОВИТЕ ТОЧКИ

С В Е Т Ъ Т Н А Ф И З И К А Т А

ТОМ XLVII, кн. 2, 2024 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, Мариана Кънева

ОТГОВОРЕН СЕКРЕТАР

Пенка Лазарова

ЧЛЕНОВЕ

Иван Лалов, Евгени Попов,

Питър Таунсенд, Радостина

Камбурова, Борислав Павлов,

Светлен Тончев, Желязка

Райкова, Игорь Масляницын,

Михай Анастасеску, Херман

Лиенхарт, Роман Пономарьов,

Лилия Атанасова

РЕДАКЦИОНЕН СЪВЕТ

Александър Г. Петров, Николай В.

Витанов, Чавдар Стоянов,

Николай К. Витанов, Лъчезар

Аврамов, Хассан Шамати,

Евгения Вълчева

ВОДЕЩ БРОЯ:

Сашка Александрова

АДРЕС НА РЕДАКЦИЯТА:

Бул. „Джеймс Баучер“ №5,

1164 София

EDITORIAL STAFF

EDITOR-IN-CHIEF

Sashka Alexandrova

VICE EDITOR-IN-CHIEF

Ana Georgieva, Mariana Kuneva

EXECUTIVE SECRETARY

Penka Lazarova

MEMBERS

Ivan Lalov, Evgeni Popov,

Peter Townsend, Radostina

Kamburova, Borislav Pavlov,

Svetlen Tonchev, Zhelyazka

Raykova, Igor Maslyanitsin,

Mihai Anastasescu, Hermann

Lienhart, Roman Ponomarev,

Liliya Atanasova

EDITORIAL COUNCIL

Alexander G. Petrov, Nikolay V.

Vitanov, Chavdar Stoyanov,

Nikolay K. Vitanov, Lachezar

Avramov, Hassan Chamati,

Evgenia Valcheva

VOLUME EDITOR:

Sashka Alexandrova

EDITORIAL OFFICE ADDRESS:

5, James Bouchier Blvd,

1164 Sofia

☎ 02 8161 684

E-mail: worldofphysics@abv.bg

Предпечатна подготовка: Л. Атанасова

ISSN: 0861-4210

РЕДАКЦИОННО

Наносветът е очарователна страна, изградена от миниатюрни функционални структури с размери от порядъка на нанометър – една милиардна част от метъра. Физичните закони на наносвета са различни от тези, управляващи всекидневната ни практика. Там се разиграват странни явления – квантови ефекти, които пораждаат свойства, различни от познатите ни в макроскопичен мащаб, и противоречащи на нашата интуиция. През последните няколко десетилетия се наблюдава значителен напредък в нанонауките. Изследователите вече могат да постигат управление и контрол на квантово-механичните ефекти с виртуозни и елегантни подходи за производство и синтез. Откриването на квантовите точки – наночастици, толкова малки, че техният физически размер определя квантово-механичните състояния на носителите на заряд, вдъхнови много химици да се занимават с тази наистина интердисциплинарна област. Кулминацията дойде с Нобеловата награда по химия за 2023 г. – признание за откриването и синтеза на наноразмерни полупроводникови кристали – квантови точки, чиито свойства се диктуват от законите на квантовата физика. В настоящия брой можете да прочетете за историята на откриването на квантовите точки, в основата на което са залегнали освен химични, също така и физични теоретични подходи и модели и представлява един добър пример за нивото на интердисциплинарност на съвременните научни изследвания. Прочетете и за тримата Нобелови лауреати. Кой от двамата от тях е първият изследовател в

света, който открива зависими от размера квантови ефекти в частици? През 80-те години, при липса на ефективен обмен на информация поради Желязната завеса, те двамата публикуват резултатите си с малка разлика във времето, без да знаят един за друг, но наградата с право е присъдена и на двамата.

Сеизмичната активност е характерна за Слънчевата система и е свързана с освобождаването на напрежения в обвивките на твърдите космични тела. За земетресенията знаем всички, но какво представляват лунотресенията и марсотресенията? Знаете ли, че най-силното регистрирано до момента марсотресение, е с магнитуд 4,7 по Рихтер и предизвика вибрации, отекващи през планетата в продължение на поне шест часа! Каква информация за вътрешната структура на планетите и техните спътници могат да ни донесат изследванията на генерираните сеизмични вълни, разказваме в настоящия брой.

Представяме ви интересно изследване с участието на млад автор на лунните лавови пещери, резултат от древна вулканична дейност. Дали те могат да бъдат стабилни убежища за човешки местообитания, предпазващи от космическа радиация и микрометеоритни удари при бъдещи експедиции на Луната?

В Лунд, Швеция, се строи най-мощният в света източник на неутрони, т.нар. Европейски източник на спалационни неутрони (*European Spallation Source, ESS*). Той е един от големите европейски научни проекти в духа на това, което наричаме „Голяма наука“, и в чието построяване финансово и чрез създаването

на апаратура участват 13 европейски страни. Прочетете за възможностите, които ще предостави източникът за изследвания на структурата на кристални и аморфни вещества и на течности с приложение в много и различни области от полза за обществото..

Какво знаете за електронната микроскопия – физичен метод за изучаване на реалната структура на твърди тела и биологични обекти? Представяме кратък преглед на изследванията, провеждани в Лабораторията по електронна микроскопия и електронография на ИФТТ в сътрудничество с големи европейски университети, и научните постижения за времето ѝ на съществуване още от втора-

та половина на 50-те години на миналия век.

Прочетете великолепното есе в научнофантастичен стил „Странстванията на въглерод-14“ с автор Филип Фролошки, отличено в Националния конкурс за есе „Физиката в моето бъдеще“, организиран от СФБ. Не подминавайте и есетата „Физика на светлината“ на Боряна Стоянова и „Нанотехнологията“ на Наталия Колева, отличени в същия конкурс.

Ще завърша с един цитат от есето на Боряна: „*Кой от нас не намира красота в природата? И кой може да открие изкуството в звука на струните, в движението на атомите, в света на светлината, звездите, галактиките?*“.

Сашка Александрова

главен редактор на „Светът на физиката“

АБОНИРАЙТЕ СЕ

Абонамент за 1 година (4 броя) – 25 лв. За членове на СФБ – 22 лв.

За ученици, студенти и пенсионери – 16 лв.

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

Цена за 1 книжка – 7 лв.

Банкова сметка: Първа Инвестиционна Банка

IBAN: BG91FINV91501215737609; BIC: FINVBGSF

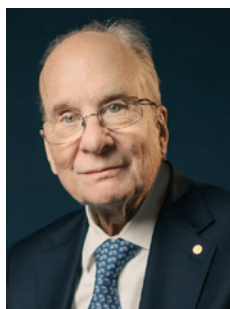
КВАНТОВИТЕ ТОЧКИ – ДЕСЕТИЛЕТИЯ НАРЕД КВАНТОВИТЕ ЯВЛЕНИЯ В НАНОСВЕТА БЯХА САМО ПРЕДСКАЗАНИЕ

Евгения Вълчева

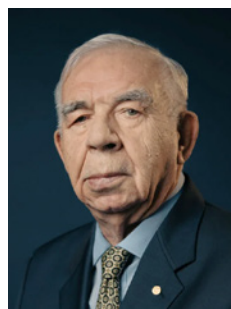
По решение на Кралската шведска академия на науките Нобелова награда за химия за 2023 г. беше присъдена на **Мунги Бавенди** (Moungi G. Bawendi), **Луис Брус** (Louis E. Brus) и **Алексей Екимов** за откритието и синтеза на квантовите точки [1].



Moungi G. Bawendi
Мунги Бавенди



Louis E. Brus
Луис Брус



Aleksey Yekimov
Алексей Екимов

© Nobel Prize Outreach. Photo: Clément Morin

Нобеловата награда за химия за 2023 г. е признание за откриването и синтеза на наноразмерни полупроводникови кристали, чиито свойства се определят от квантоворазмерни ефекти [2]. Наночастиците, наречени „квантови точки“, са толкова малки, че техният физически размер определя квантовомеханичните състояния на носителите на заряд на материала. Откриването на квантовите точки е важна стъпка в развитието на нанонауките и то вдъхнови много химици да се занимават с тази интердисциплинарна област. Нанотехнологиите използват средствата и методите на физиката на полупроводниците, органичната и неорганичната химия, молекулярната биология и биотехнологията. Въпре-

ки че Нобеловата награда е присъдена за постижение в областта на химията, в основата на откритието са залегнали освен химични, също така и физични теоретични подходи и модели, което е и причината да представим тук накратко историята на откритието като един добър пример за нивото на интердисциплинарност на съвременните научни изследвания. Многобройни са физичните лаборатории и колегите физици, занимаващи се с изследвания на физични свойства на квантови точки включително и у нас, в т. ч. и авторът, както се вижда от следната публикация в съавторство с колеги химици [3].

Квантовите точки (Фигура 1) представляват нов клас материали, които не



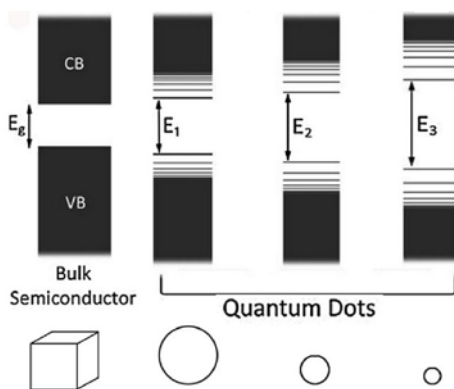
Фигура 1. Квантовата точка е кристал, който се състои само от няколко хиляди атома. По отношение на размера, той е толкова по-малък в сравнение с футболната топка, колкото футболната топка е по-малка от Земята. ©Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

са нито молекулни, нито обемни материали. Те имат същата структура и атомен състав като обемните материали, но техните свойства могат да се променят под действието на един-единствен параметър, а именно размера на частицата. Например оптичното поглъщане и излъчване на CdSe квантови точки могат да бъдат променяни в почти целия видим обхват на оптичния спектър. Това е възможно, защото забранената енергетична зона E_g на квантовите точки от CdSe варира от 1,8 eV (неговата обемна стойност) до 3 eV (в най-малките квантови точки, вижте Фигура 2). Други свойства на материала, които се определят от размера на квантовата точка, включват например редокс потенциали, температура на топене и фазови преходи твърдо-твърдо състояние.

Откриването на квантовите точки и възможността да се синтезират такива материали с относително прости, но прецизни химични методи, е важна стъпка в развитието на нанонауките и нанотехнологиите. Основният принцип на нанонауката е, че с размери в нанометричната скала материалите и частиците придобиват нови свойства, зависими от размера, които могат да бъдат използвани и контролирани с цел нови приложения. Средствата на химията са незаменим инструмент за нанотехноло-

гии, с приложения в различни области като биотехнологии, катализа, сензори, медицинска диагностика, електроника, фотоника и квантови технологии.

В наносвета обектите се държат по различен начин. След като размерът на материята започне да се измерва в милионни от милиметъра, започват да се случват странни явления – квантови ефекти – които противоречат на нашата интуиция. Всички лауреати на Нобелова награда за химия за 2023 г. са били пионери в изследването на наносвета. В началото на 80-те години на XX в. Луис Брус (*Louis E. Brus*) и Алексей Екимов успяват да създадат – независимо един от друг – квантови точки, които са толкова малки наночастици, че квантовите



Фигура 2. Илюстрация на забранена енергетична зона E_g , зависима от размера на наночастицата. От G. Dong et al., *Frontiers in Materials* 2, 1 (2015)

ефекти определят техните характеристики. През 1993 г. Мунги Бавенди (*Moungi Bawendi*) прави революция в методите за производство на квантови точки, като постига изключително високо качество – жизненоважна предпоставка за използването им в днешните нанотехнологии.

Днес е възможно да се произвеждат квантови точки с добре контролирани, зависими от размера свойства, използвайки сравнително евтини химични разтвори, които правят тези револю-

ционни материали широко достъпни. С приблизителен общ размер на пазара от 4 млрд. щатски долара през 2021 г. квантовите точки се използват за висококачествени LED излъчватели на светлина и в дисплеи, телевизионни екрани, както и за биомедицинска образна диагностика. Изследванията в областта на нанотехнологиите също така водят до разработване на приложенията на квантовите точки в инфрачервената фотодетекция, за преобразуване на слънчева енергия, при светодиоди, диагностика и фотокатализа.

Теория и ранни наблюдения на квантовите размерни ефекти

Теоретичната концепция, залегнала в основата на квантовите точки, е квантовомеханичната задача за поведението на „частица в кутия“. Когато квантовомеханична частица като например електрон, е затворена в „кутия“ с размер L , сравним с дължината на вълната на де Бройл на частицата, енергиите на разрешените собствени състояния на вълновата функция зависят критично от L , а енергетичното разстояние ΔE е пропорционално на $1/L^2$. Този подход е известен от учебниците по квантова механика още от най-ранните ѝ дни.

Концепцията за вълновата функция е основополагаща за нашето разбиране за електронната структура на молекули и кристални материали, дисперсията на енергетичните зони, образуването на забранени зони и произхода на метални, полупроводникови или изолиращи свойства в обемните материали. Твърдението, че свойствата на материала могат да зависят от макроскопичните размери на малка частица, е въведено през 1937 г. от Херберт Фрьолих (*Herbert Fröhlich*). Той посочва, че моделът на свободния

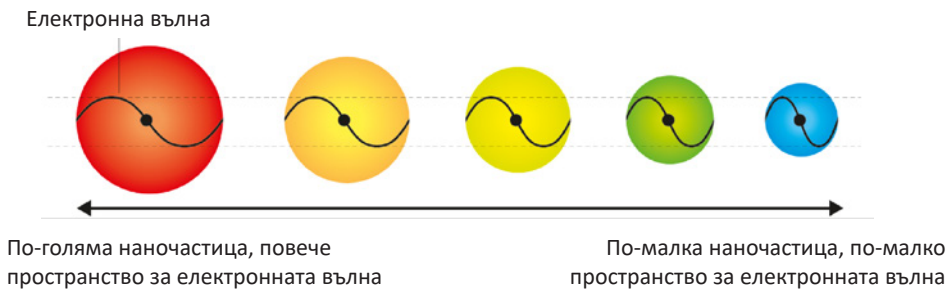
електронен газ за металите дава много различни резултати за малки частици в сравнение с обемни метали и че тези различия трябва да се проявят в измерими материални свойства като специфичната топлина на електроните. Той прави оценка, според която за да се прояви този ефект, трябва металните частици да са по-малки от 10 nm при температури от порядъка на няколко градуса Келвин.

През следващите десетилетия редица физици представят теоретични изследвания на такива квантоворазмерни ефекти, например, надграждайки по-ранни работи на Лев Ландау и следващите експериментални наблюдения на колебанията на свойствата на материалите като функция на магнитното поле. Илья Лифшиц и Арнолд Косевич предсказват периодичност на термодинамичния потенциал, дължаща се на квантоворазмерни ефекти. Райого Кюбо (*Ryogo Kubo*) прогнозира квантоворазмерен ефект върху електронния топлинен капацитет, както и върху спинфлип процеси в металите и предлага да се търсят такива ефекти чрез експерименти чрез

електронен спинов резонанс при ниски температури. В. Б. Сандомирский посочва, че квантоворазмерните ефекти би трябвало да се наблюдават по-лесно в полупроводниците в сравнение с металите, поради по-малката ефективна електронна маса и поради това – по-голямата дължина на вълната на де Бройл в полупроводниците. Квантовите размерни ефекти трябва да се проявяват като ефективно увеличаване на забранената зона на полупроводника (Фигура 2), когато размерът на частиците се намалява (Фигура 3), и може да се прояви като отместване на ръба на оптичната абсорбция. Също така се прогнозира, че причиняват отместване на ръба на проводимата зона и ръба на валентната зона в полуметалите, предизвиквайки преход от метални към полупроводникови свойства, които трябва да са наблюдаеми в оптичните характеристики.

През 60-те години развитието на микроелектрониката стимулира силен интерес към електронните свойства на тънки филми. В експерименти, проведени в тънки бисмутови слоеве, както и в двуизмерен електронен газ в силициеви приповърхностни слоеве, се проявяват квантови ефекти като осцилации на съ-

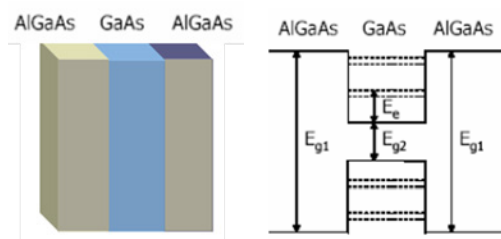
противлението, съпротивлението на Хол и магнитосъпротивлението като функция на дебелината на филма. Периодичността на наблюдаваните осцилации съответства на дължината на вълната на електрона при очакваната ефективна маса. Установено е, че предпоставките, за да е възможно енергетично разграничаване на ефекти на квантуване, са ниските температури, както и достатъчно дългото време на релаксация на носителите. Също така е установено, че е необходимо материалите да са с високо качество, тъй като средният свободен пробег на носителите трябва да надвишава дебелината d на филма. Наблюдавана е систематична $1/d^2$ зависимост на оптичната абсорбция в CdS филми и е сравнена с теоретичните предсказания. Качествен пробив настъпва, когато развитието на метода на молекулярно-лъчевата епитаксия (МВЕ) в свръхвисок вакуум, използван в комбинация с маспектрометрия, позволява отлагането на висококачествени полупроводникови тънки филми с прецизен контрол на дебелината и състава. Това прави възможно чрез оптични експерименти разграничаване на отделните квантови състояния в тънки ($< 5 \text{ nm}$) GaAs квантови ями, образувани между



Фигура 3. Когато частиците са само няколко нанометра в диаметър, пространството, което ограничава електроните, се свива. Това влияе на оптичните им свойства.

©Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

слоеве AlGaAs в хетероструктура GaAs/AlGaAs, след селективно химическо ецване за отстраняване на GaAs подложката (Фигура 4). Тези открития получиха голямо внимание в общността на физиката на полупроводниците, защото преди това се смята за невъзможно да се направят хетероструктури с достатъчно добро качество, за да могат да се наблюдават квантовите явления толкова ясно.

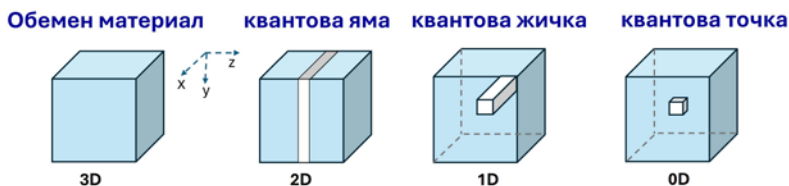


Фигура 4. GaAs квантова яма, образувана между слоеве AlGaAs в хетероструктура GaAs/AlGaAs

В началото на 80-те години експерименталното изследване на квантовите явления в тънки филми вече е добре разработено. Теоретичното разбиране също е добре развито, включително това за ролята на Кулоновото взаимодействие (екситонни ефекти), което става особено изразено в нискоразмерни структури като квантови ями, където е по-вероятно припокриването на вълновите функции на електрони и дупки. Полупроводниковите хетероструктури се оказаха много полезни материални системи за

високоскоростна електроника и оптоелектроника, което получава признание чрез **Нобеловата награда за физика през 2000 г. на Х. Крьомер (Herbert Kroemer) и З. И. Алфьоров (З. И. Алфёров)**. Въпреки това горните наблюдения се отнасят до квантоворазмерни ефекти в структурите, вградени вътре или върху обемни материали, които не могат да се считат за наночастици в свободно състояние. Прогнозите, изказани от Фрьолих, че малките частици трябва да имат материални свойства, зависими от размера, все още не са били достъпни за експериментално изследване.

Последователно възникват идеите за пространствено ограничаване на материалите в нанометричния диапазон в едно (2D), две (1D) или всичките три (0D) направления. С развитието на технологичните методи за получаване на такива структури са разработени и изследвани структури с единични и мултиквантови ями, нанотръбички и наножички и наночастици. Потенциалната енергия на свободните носители на заряд в тези образувания е по-ниска от тази в заобикалящия ги материал, което ги прави потенциални ями. Вследствие на това движението на носителите, попаднали в тези образувания (потенциални ями), е пространствено ограничено в едно, две, или всичките три направления (Фигура 5).



Фигура 5. Материали, чиито размери по едно (2D), две (1D) или всичките три (0D) направления са от порядъка на нанометри ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$), от ~ 1 до $\sim 100 \text{ nm}$

Квантови точки в стъклена матрица

Първото откритие на квантово-размерни ефекти в наночастиците е направено при получаването на цветните стъкла. В известен смисъл нанотехнологиите и наночастиците се използват от много векове. В исторически план производителите на стъкло са знаели много добре, дори от античността и Средновековието, че добавки като злато, сребро, кадмий, сяра и селен могат да се използват за промяна на оптичните свойства на стъклото. Известната римска чаша на Ликург (Фигура 6) е доказано, че получава червения си цвят от включени Au частици с размер $5 - 60$ nm. Класическото разсейване на Ми (*Mie*) при наличие на наночастици променя цвета на пропуснатата светлина. В древността е било известно, че свойствата на стъклото са свързани с включването на „колоидни частици“ в стъклото, но детайлите на механизма не са били известни.

През 1979 г. **Алексей Екимов** започва работа върху легирани стъкла в Държавния институт по оптика „С. И. Вавилов“, Петербург (тогава Ленинград). Той си поставя за цел да разбере химичния състав и структурата на колоидните частици в цветни стъкла, както и механизма на растежа им. С помощта на познатите му техники от докторантурата му по физика на полупроводниците, той и неговите колеги измерват оптичните абсорбционни спектри на термично обработени силикатни стъкла с добавки на Cu и Cl от порядъка на няколко процента над границата на разтворимост на матрицата. При криогенна температура от 4,2 K, екипът открива екситонни линии, подобни на тези, наблюдавани в тънки филми от CuCl, но формите на които варират



Фигура 6. Чашата на Ликург е показана при осветления в различна част на деня. Променя цвета си според посоката, откъдето идва светлината. Ефектът се дължи на съдържащите се в стъклото малки количества колоидно злато и сребро (наночастици), които му придават тези необичайни оптични свойства. Съхранява се в Британския музей.

<https://www.nationalgeographic.bg/a/casata-na-likurg-nanotexnologiya-ot-dreven-rim>

при прилагане на термична обработка.

Изследователите приписват този резултат на образуване на кристална фаза на CuCl в стъклената матрица в резултат на фазово разделяне на пренаситен разтвор по време на термичната обработка. Освен това, чрез промяна на температурата и продължителността на термичната обработка, те успяват да контролират средния размер на образувачите се кристали CuCl в стъклената стопилка. Използвайки рентгеново разсейване под малък ъгъл, те определят средните размери на кристалите в диапазона от няколко нанометра до десетки нанометри и потвърждават, че този размер на кристала варира с времето на топлинна обработка. Този резултат се потвърждава от теоретичен модел на растеж чрез повторна кондензация, който също прогнозира наблюдаваното тясно

разпределение на размерите.

Най-важното заключение е, че дължината на вълната на абсорбционните линии на CuCl екситон се променя систематично с размера на нанокристалите: позицията на абсорбционната линия показва все по-голямо синьо отместване (към по-малки дължини на вълната) с намаляване на размера на кристалите до нанокристали с размери няколко нанометра.

Като физик, Екимов е добре запознат със законите на квантовата механика и незабавно приписва това наблюдение на квантоворазмерни ефекти като се позовава на наблюдението на квантоворазмерни ефекти в двумерни квантови ями, израствани с МВЕ няколко години преди това. Както се очаква от учебника по квантова механика, за една частица, ограничена в сферична безкрайна яма, абсорбционната линия се измества обратно пропорционално на квадрата на средния радиус на частицата $1/a^2$. Така са открити полупроводниковите квантови точки.

Необходими са две корекции на простия модел от учебника, за да се постигне освен качествено и количествено съгласие между данни и теория. Първата е да се включи кулоново взаимодействие на привличане между електрон и дуп-

Колоидни квантови точки

Един подход за синтезиране на квантови точки като колоиди в зол-гел процес, и следователно подходящ за по-нататъшна обработка, възниква малко по-късно, независимо от откритията на Екимов. През 70-те години има значителен интерес към използването на полупроводници за фотоелектрохимия,

ка, така нареченият екситонен ефект, за който е известно, че е силен, когато електронът и дупката са ограничени в едно и също пространство. Втората корекция е да се вземе предвид и крайната дисперсия на размерите на частиците. При това стойността на ефективната маса на носителя на заряд – m , необходима за възпроизвеждане на наблюдаваните данни, е в добро съответствие с известната стойност за CuCl. Първоначалното наблюдение на квантоворазмерните ефекти от Екимов е проведено в т.нар. режим на слабо ограничение, характеризиращ се с квантоворазмерни ефекти на екситона като цяло, но не на електрона и дупката поотделно. Впоследствие бяха демонстрирани също междинните и силни режими на ограничаване. Откритието на Екимов за *полупроводникови квантови точки в стъклена матрица* показва, че е възможно да се наблюдават прояви на квантоворазмерни ефекти не само в тънки филми, но и в суспендирани, независими наночастици, произведени от сравнително прост процес за традиционно стъкло. Въпреки това едно ограничение на революционното откритие на Екимов е, че квантовите точки получени от неговия екип са „замразени“ в стъкло и не са подходящи за по-нататъшна обработка.

с очакването, че оптичното възбуждане на полупроводника ще създава реактивни носители на заряд, които биха могли да задвижат химични реакции. Особен интерес предизвиква възможността за управление на електричните и оптичните свойства на полупроводниците чрез легиране. Фокусът на изследванията е върху

фотофизиката и повърхностната редокс химия на електрони и дупки, на преобразуване на слънчевата енергия чрез фотоелектролиза и върху фотоволтаици на границата между полупроводник и електролит. Различни групи работят върху колоидни кристалити на CdS, ZnO и TiO₂, тъй като енергетичните нива в тези материали са потенциално подходящи за фотокатализа. Например беше установено, че TiO₂ прах, суспендиран в течност, фотокатализира разлагането на оцетна киселина за получаване на метан, както и CdS микроелектроди, приготвени в присъствието на кополимер, зареден с RuO₂ и Pt е установено, че са активни катализатори за разцепване на H₂O и H₂S.

Доказателство за квантоворазмерни ефекти в *колоидни наночастици* е открито през 1983 г., когато **Луис Брус** и сътрудници изследват CdS кристалити в *Bell Laboratories* в САЩ. Използвайки известни предварително методи за синтез на наночастици, те приготвят относително малки CdS частици в разтвор в присъствието на кополимер стирен малеинов анхидрид, който помага за предотвратяване на коагулация и флокулация.

Прясно приготвен колоид показва тясно разпределение на размера на частиците около 4,5 nm, определено от трансмисионна електронна микроскопия. За съжаление, след един ден кристалитите се разтварят и прекристаллизират, като образуват по-големи частици с по-широко разпределение на размера – около 12,5 nm (процес, наричан Оствалдово узряване, *Ostwald ripening*). Използвайки резонансно Раманово разсейване и абсорбционна спектроскопия за изследване на електронните състояния, Брус и ко-

леги откриват разлики между пресни и отлежали частици. Докато по-големите остарели частици съдържат спектър на възбуждане като този, очакван за обемния CdS, свежите по-малки частици показват синьо отместване и разширяване на екситонната линия. Авторите приписват тази разлика между малки и големи частици на квантоворазмерен ефект, предизвикан от електростатично взаимодействие между електрон и дупка.

През 1981 г. Екимов публикува своето откритие в съветско научно списание, тогава труднодостъпно за изследователите от другата страна на Желязната завеса. Следователно другият лауреат на Нобелова награда за химия – Луис Брус, не е знаел за откритието на Алексей Екимов и през 1983 г. е приет като първият изследовател в света, който открива зависимости от размера квантови ефекти в частици, плаващи свободно в разтвор.

Библиографията на ранните работи на Брус и сътрудници показва, че базираният в САЩ екип знае за по-ранното наблюдение на квантоворазмерни ефекти в двуизмерни квантови ями, но не знаят за откритието на полупроводникови квантови точки в стъклена матрица от Екимов две години по-рано в тогавашния СССР. След експерименталното откритие на неговия екип за квантоворазмерен ефект в колоидните наночастици, Брус представя модел, описващ ефекта от размера на частиците върху редокс потенциалите на електронни и дупки за повърхностни химични реакции. Използвайки апроксимацията на ефективната маса и модел на сферичен потенциал, и като се има предвид поляризацията на околния разтвор, причинена от разликата в диелектричната

константа между полупроводника и разтвор, те предсказват квантоворазмерен ефект върху фотохимичните редокс потенциали и върху най-ниската енергия на екситона за полупроводникови кристали, по-малки от около 5 nm. В последващата работа скоро след това Брус включва и Кулоново взаимодействие между електрон и дупка.

Квантовите размерни ефекти в наночастиците вероятно са били наблюдавани и преди, без да са разпознати като такива. Например изследвания на финозърнести суспензии от AgBr и прахове от AgI в края на 60-те години разкриват вариации в екситонния коефициент на абсорбция, които зависят от кристал-

ната структура и размера на зърната, но няма систематични изследвания на зависимостта от размера абсорбционна дължина на вълната или обсъждане на квантоворазмерен ефект.

През 1982 Р. Росети и Л. Брус докладват за абсорбция над ръба на забранената зона, наблюдавана при 20 nm колоидни CdS частици. Приблизително по същото време Арним Хенглайн (*Arnim Henglein*) наблюдава промяна на цвета в колоиден CdS, отложен върху 13 nm SiO₂. По това време той приписва този ефект на аморфната структура, но по-късно, след откритията на Брус, установява кристална структура и приписва промените в цвета на квантоворазмерен ефект.

Подобрен синтез на квантови точки

Откриването на квантово-размерен ефект в колоидните нанокристали (Фигура 7) стимулира значително усилията на изследователите, посветени на разбирането на техните оптични и фотохимични свойства, с надеждата чрез контрол на размера да бъдат проектирани желани физични и химични свойства. Въпреки това, напредъкът е частично възпрепятстван от ограничената хомогенност и качество на наличните нанокристали, с вариации в размера, формата, кристалността и повърхностните електронни дефекти, което затруднява проявата на поведение, дължащо се на квантово-размерен ефект. Например наблюдаването на луминесценция от нанокристали, налични в края на 80-те години на миналия век, обикновено е ограничено от ниския квантов добив от само няколко процента.

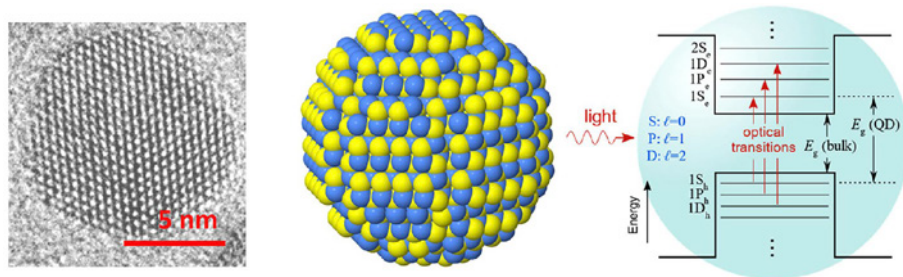
През 1993 г. **Мунги Бавенди** и сътрудници от *Massachusetts Institute of Technology*, разработват метод за син-

тез на квантови точки с много по-добре дефиниран размер и с високо оптично качество. Това откритие отвори врата към разработването на приложения на колоидни квантови точки. Техният синтез започва с инжектирането и незабавната пиролиза на органометални реагенти (прекурсорите за желаните наночастици) в горещ координиращ разтворител с висока точка на кипене. Бързото нарастване на концентрациите на реагента води до рязко свръхнасищане и нуклеация (образуване на кристален зародиш), която се извършва в точно определен момент. Инжектирането е придружено от внезапно понижаване на температурата и разреждане на прекурсорите, така че растежът спира. След повторно нагриване до желаната температура на растеж се извършва бавен процес на растеж и отгряване в координиращия разтворител, който помага за стабилизиране на получената колоидна дисперсия. Този принцип на временно

дискретно зараждане, последвано от контролиран растеж, е известен от производството на монодисперсни лиофобни колоиди. И накрая, частиците могат да бъдат избирани чрез пречистване и зависимо от размера утаяване. Резултатът е макроскопични количества наночастици с правилна сърцевина и форма, с електронно пасивирана полупроводникова повърхност и с добре дефиниран размер, което се определя от динамичен температурен контрол по време на фазата на растеж. Наблюдават се при стайна

температура относително резки оптични спектри на абсорбция и емисия, с люминесцентен квантов добив до 10%.

Методът за синтез с горещо впръскване, разработен от Бавенди и сътрудници, представлява адаптивна и възпроизводимата химическа стратегия за синтезиране на монодисперсни наночастици, използвайки широка гама от материални системи. По този начин тя отвори врати за развитието на широкомащабни приложения на квантовите точки.



Фигура 7. Илюстрация на квантови точки. Ляво: трансмисионно-електронно изображение на нанокристал CdSe. Център: Атомна структура на нанокристал. Вдясно: Електронни състояния в квантова точка ядро-обвивка, като самата точка е в центъра, оградена от обвивка с по-широка забранена зона. От A. L. Efros и L.E. Brus, ACS Nano 15, 6192 (2021)

Следващо развитие

Полупроводниковите квантови точки, вградени в стъкло, които са открити от Екимов, остават интересни до ден днешен за използване като нелинейни оптични елементи, например за усилване на сигнала в оптичните влакна в комуникационни системи. След откритията на Екимов и Брус квантовите точки са произведени с помощта на други методи. Названието „квантова точка“ е въведено от Марк Рийд (*Mark Reed*) през 1986 г., за да опише ограничен обект с нулево измерение при подхода „от горе-надолу“ за дефиниране на квантови точки

в твърди тела. Неговият екип използва електроннолъчева литография и ецване за да моделира израстнати с MBE GaAs/AlGaAs квантови ями за образуване на квантова точка. Квантовата точка се явява продължение на съществуващата терминология за двумерни квантови ями (нанотънки филми) и едномерни квантови проводници (нанотръбички).

Друг известен подход за създаване на квантови точки върху твърда подложка е т.нар. метод за израстване на *Странски-Кръстанов* [4]. Той използва образуването на острови или капчици

по време на отлагането на един материал върху кристална пластина, между които няма съответствие на решетките. Чрез покриване на получения „остров“ с допълнителен слой материал с по-голяма ширина на забранената зона могат да бъдат създадени хетероструктурни квантови точки с определени оптични свойства по самоорганизиран начин. Следва да се отбележи, че автори на този модел са двама изтъкнати български учени, Иван Странски и Любомир Кръстанов. Въпреки, че моделът им е публикуван през 30-те години на ХХ век, работите им и досега се цитират в нарастващ обем в научната литература поради бурното развитие на нанотехнологиите.

Към хетероструктурни квантови точки, вградени в матрица на други твърдотелни материали, както е описано по-горе, могат да бъдат осъществени електрични контакти. Така те се използват в различни приложения, например в лазери с квантови точки за оптична комуникация.

Днес названието „квантова точка“ се отнася до наноструктури, в които квантовомеханични ефекти се проявяват в електронната структура или чрез квантово-размерни ефекти, многочастични взаимодействия (екситонни състояния), или с високо съотношение повърхност към обем, така че повърхностните състояния доминират в електронната структура. В допълнение към малкия размер, сравним с дължината на вълната на де Бройл на носителите, сега се признава, че дължината на квантовата фазова кохерентност (обикновено ограничена от нееластично разсейване) трябва да надвишава размера на систе-

мата.

Откриването на колоидните квантови точки и техния контролиран синтез от Брус и Бавенди и техните колеги положи началото на значителни усилия за по-нататъшно подобряване на качеството и оптичните свойства на колоидните квантови точки, както и за изследване на възможни приложения като излъчвателни диоди на светлина. Драматичното повишаване на оптичното качество на колоидните квантови точки стана впоследствие възможно чрез разработването на квантови точки ядро-обвивка чрез реализиране на методи за пасивиране, добре познати от полупроводниковата оптика. Създадени бяха наночастици ядро-обвивка, които се състоят от обвивка с широка забранена зона като ZnS и ядро с малка ширина на забранената зона (като CdSe) за постигане на ограничаване на електроните и дупките в ядрото. По този начин носителите на заряд в ядрото са отделени от повърхностните състояния като ненаситени връзки, които са вредни за оптичните характеристики. Добавяйки такъв допълнителен слой в същата химична реакция, стана възможно извършване на модификации на метода на синтез чрез гореща инжекция, за да се избегне селективно утаяване по размер и да се постигне близо монодисперсен нанокристален синтез. Получените квантови точки ядро-обвивка CdSe/ZnS имат квантов добив на луминесценцията при стайна температура до 50%, с по-добра дългосрочна стабилност в сравнение с некапсулираните квантови точки.

Светлинните свойства на квантовите точки се използват в компютърни и телевизионни екрани, базирани на QLED технология, където Q означава кванто-

ва точка. В тези екрани синята светлина се генерира с помощта на енергийно ефективни диоди, които бяха признати с **Нобеловата награда по физика за 2014 г., присъдена на Исаму Акасаки, Хироши Аmano и Шуджи Накамура (Isamu Akasaki, Hiroshi Amano, Shuji Nakamura)**. Квантовите точки се използват за промяна на цвета на част от синята светлина, превръщайки я в червена или зелена. Това прави възможно производството на трите основни цвята светлина, необходими на телевизионния екран. По същия начин квантовите точки се използват в някои LED лампи за регулиране на студената светлина на диодите. Тогава светлината може да стане енергизираща като дневна светлина или успокояваща като топлото сияние от затъмнена крушка.

Едно следващо ново поле на развитие е интегрирането на неорганични квантови точки с *биологични системи*, което стана възможно след разработването на синтез на водоразтворими квантови точки с високо оптично качество. Това постижение е важно, тъй като луминесцентните квантови точки до този момент са подготвяни в органични неполярни разтворители. Друго важно съображение е *токсичността* на някои квантови точки и техните прекурсори

Наночастиците са в основата на развитие на нанонауките

Нанонауката изучава явления, които възникват, когато материалите са структурирани в мащаб, по-малък от около 100 nm. Този диапазон на размери включва например дължината на вълната на светлината, дължината на вълната на дьо Бройл на носителите на заряд, размерите, при които възниква плазмонен резонанс, както и размерът на големите биомоле-

материали. Изследвани са ефектите на квантовите точки върху здравето, не на последно място в контекста на потенциала им за медицински приложения и текущите изследователски усилия имат за цел да намерят производствени процеси с по-малко токсични реагенти и да се намерят начини да се избегне напълно използването на тежки метали като кадмий, олово, или живак в квантови точки. По-нататък бе разработен синтез на квантови пръчици с удължена форма или разклонения и пластинки с контрол на дебелината на атомно ниво.

Областите на приложение на квантовите точки се разширяват и включват използване във фотоволтаици и други форми на преобразуването на енергия, във фотодетекторите, в биомедицинските изображения и наномедицината, и най-общо в инфрачервената технология, където квантовите точки могат да дадат достъп до размери на забранената зона, които не могат лесно да се постигнат с други материали. Изследователите вярват, че в бъдеще квантовите точки могат да допринесат за гъвкава електроника, миниатюрни сензори, по-тънки слънчеви клетки и (може би) криптирана квантова комуникация за осъществяване на q-битове в квантовите компютри.

Наноструктурите също така имат голяма стойност на отношението повърхност към обем S/V , което води и до нови свойства.

Голямото разнообразие от явления и широката гама от материали и приложения, които могат да бъдат изследвани, правят нанонауката обширна област с много различни клонове. Приложения-

та варира от съвременна електроника до катализа в индустриален мащаб и от прецизна медицина към квантовата технология. Днес повечето големи изследователски университети имат центрове или отдели, посветени на нанонауката и нанотехнологиите.

Съвременната област на нанонауките изисква прецизен и в идеалния

случай контрол на атомно ниво на синтеза на наноструктури. Следователно възможността безопасно да се произвеждат материали с нанометров размер и със субнанометрова прецизност и висока повтаряемост, представлява ключов, крайъгълен камък в развитието на нанонауката. Нобеловите лауреати изиграха централна роля в това отношение.

Литература:

1. The Nobel Prize in Chemistry 2023, The Royal Swedish Academy of Sciences, www.kva.se; www.nobelprize.org.
2. Heiner Linke, Professor of Nanophysics, Member of the Royal Swedish Academy of Sciences, Member of the Nobel Committee for Chemistry.
3. E. Valcheva, G. Yordanov, H. Yoshimura, Ts. Ivanov, K. Kirilov, *Low temperature studies of the photoluminescence from colloidal CdSe nanocrystals prepared by the hot injection method in liquid paraffin*, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects **461**, 158-166 (2014).
4. L. Krastanow, I. N. Stranski, *Short notifications and notes. On the crystallisation of alkali halogenide crystals on fluorite*, Zeitschrift für Kristallographie, **99** (5), 444-448 (1938).

АЛЕКСЕЙ ЕКИМОВ е роден през 1945 г. в бившия СССР. Защитава докторат през 1974 г. в *Ioffe Physical-Technical Institute, Saint Petersburg, Russia*. Понастоящем е *Chief Scientist at Nanocrystals Technology Inc., New York, NY, USA*.

LOUIS E. BRUS е роден през 1943 г. в *Cleveland, OH, USA*. Защитава докторат през 1969 в *Columbia University, New York, NY, USA*. Професор е в *Columbia University, New York, NY, USA*.

MOUNGI G. BAWENDI е роден през 1961 г. в Париж, Франция. Защитава докторат през 1988 г. в *University of Chicago, IL, USA*, и започва постдокторантското си обучение в лабораторията на Louis Brus през 1988 г., където тече интензивна работа за подобряване на методите, използвани за производство на квантови точки. Професор е в *Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, MA, USA*.

За четене:

История: Montanarella, F.; Kovalenko, M. V. *Three Millennia of Nanocrystals*. ACS Nano **16** (4), 5085-5102 (2022).

Приложения в медицината: Abdellatif, A. A. H.; Younis, M. A.; Alsharidah, M.; Al Rugaie, O.; Tawfeek, M. H. *Biomedical Applications of Quantum Dots: Overview, Challenges, and Clinical Potential*. Int J Nanomed **17**, 1951-1970 (2022).

Обзори: Yekimov, A. I. *Optical-Properties of Semiconductor Quantum Dots in Glass. Matrix*. Phys Scripta **T39**, 217-222 (1991); Efros, A. L.; Brus, L. E. *Nanocrystal Quantum Dots: From Discovery to Modern Development*. ACS Nano **15** (4), 6192-6210 (2021).

QUANTUM DOTS – FOR DECADES, QUANTUM PHENOMENA IN THE NANOWORLD WERE JUST PREDICTIONS

Evgenia Valcheva

The discovery of quantum dots is an important step in the development of nanosciences. Due to their extremely small size, the physical properties of the quantum dots are determined by the rules of quantum effects. The investigations started with theoretical predictions as early as the 1930s and culminated in 2023 when the Nobel Prize in Chemistry was given as recognition of the discovery and synthesis of nanoscale semiconductor crystals whose properties resemble quantum dots. The possibility to synthesize such materials with relatively simple but precise chemical methods is an important step in the development of nanoscience and nanotechnology. Nanotechnology uses the means and methods of semiconductor physics, organic and inorganic chemistry, molecular biology and biotechnology. Quantum dots are now widely employed, for example, in QLED based computer and television screens, or in biochemistry and medicine.

СПИСАНИЕ „СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА“, СЪЮЗА НА ФИЗИЦИТЕ В БЪЛГАРИЯ, КАТЕДРА „ФИЗИКА“ КЪМ МИННО-ГЕОЛОЖКИЯ УНИВЕРСИТЕТ „СВЕТИ ИВАН РИЛСКИ“ И СТОЛИЧНА БИБЛИОТЕКА

организируют лектория

СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА НА ЖИВО

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

всеки втори вторник, 17:30 ч.,

Американския център към Столичната библиотека, пл. „Славейков“ № 4

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

Лекциите са научно-популярни и всеки, който се интересува от света на физиката е очакван наш гост!

СЕИЗМИЧНА АКТИВНОСТ В СЛЪНЧЕВАТА СИСТЕМА

Бойко Рангелов

Сеизмичните събития се характеризират с внезапно разрушаване на твърдото вещество, изграждащо земеподобните космически тела (особено на Земята, Луната и Марс).

Земетресенията, лунотресенията и марсотресенията са ясен израз на освобождаването на напрежения в обвивките на твърдите космически тела [1]. Благодарение на това свойство тези сеизмични събития генерират сеизмични вълни, които са най-важният източник на информация за вътрешната структура на планетите и техните спътници (ако са твърди тела) и съответната динамика на тяхната геологична еволюция. Това се дължи на две основни насоки в генерирането и разпространението на сеизмичните вълни:

➤ Вид на вълните. Сеизмичните вълни биват обемни (P – първични и S – вторични) и повърхностни вълни (на Рейли (*Raleigh*) и Лъв (*Love*) – наречени на техните откриватели).

➤ Акустични свойства на средата, през която преминават. Те включват плътност на средата, агрегатно състояние, вълноводни свойства и др.

Според последните научни изследвания на земеподобните космически тела

почти всички първоначални космически мисии включват в своите научни програми инсталиране на сеизмометри и телеметричен трансфер на сеизмична информация.

Всички досегашни проучвателни мисии до Луната и Марс включват сеизмични изследвания. Те са успешни и предоставените данни показват очаквани прилики и изненадващи разлики между регистрираните сеизмични събития [1]. Сравненията на тези прилики и разлики са важни и могат да помогнат за разбирането на сеизмичните процеси при космическите изследвания на земеподобните тела.

Основната цел на настоящото изследване е установяването на подобия и различия, вкл. в типологията; приликите и разликите на земетресенията, лунотресенията и марсотресенията. Внимание е обърнато и на т.нар. слънцетресения, които не се пораждат в твърда среда (а в плазма), поради което са отделени като друг вид (най-често повърхностни вълни на Рейли, които са вълни, разпространяващи се във флуиди). Основната информация за слънцетресенията идва от мисията SOHO.

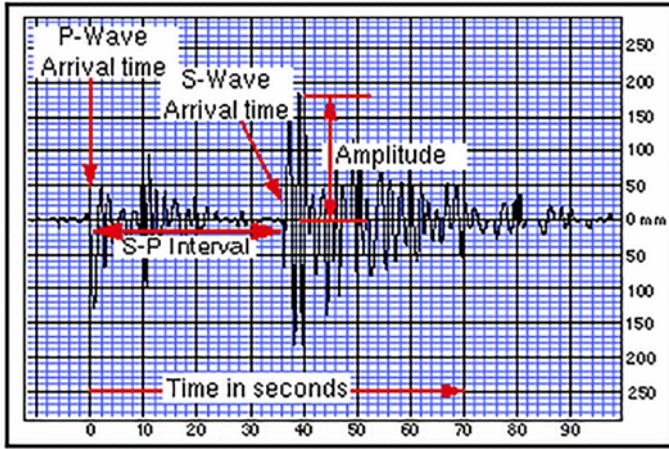
Регистрация и набиране на информацията

Важно е да се отбележи, че всяко сеизмично събитие в земеподобните космически тела е внезапно освобождаване на напрежение (натрупано в твърдата среда на космическите тела) за много кратко

време, последвано от разпространение на сеизмичните вълни. Тези различни видове вълни се регистрират от сеизмографи (с различна пропускаща честотна лента – широколентови, краткопериодич-

ни, акселерометри и др.) и влизат също в опашката на сеизмограмата, наречена кода (*coda*). Кодата е мярка за способността на средата, в която се разпространяват сеизмичните вълни, да задържа по-дълго сеизмичните колебания (Фигура 1).

приливо-отливни станции) и късопериодни прибори (наречани велосиграфи), които осигуряват регистрация на сеизмични събития – от много слаби (с отрицателни магнитуди) до най-големите катастрофални земетресения по целия свят. Магнитудната скала е логаритмична (Рихтер) и е „отворена“ (т.е. няма долна и особено горна граница), но физическите свойства (главно способността за натрупване на напрежение) на земната кора ограничават горната граница на най-силен магнитуд до около 10 – 11 по скалата на Рихтер.



Фигура 1. Типична сеизмограма: P-вълни, S-вълни (обемни), R, L – повърхностни вълни, coda – опашка

Инструменталните сеизмични наблюдения на Земята обхващат около 150-годишен интервал от време. Първите сеизмични станции са инсталирани през 1890 г. в Япония и други сеизмично активни страни. (България е една от първите европейски страни, след Германия и Италия, с инсталирани сеизмични инструменти още от 1905 г.). Сега огромно и обширно сеизмично оборудване е разпръснато по целия свят с повече от няколко хиляди сеизмични станции (широколентови сеизмични, акселерометрични и

изследвали лунните трусове от няколко сеизмични станции и мрежи. Регистрирането на лунните трусове е прекратено през 1977 г. Общият брой на сеизмичните събития, зарегистрирани на Луната, е над 12 000 – 13 000 [3,4].

Измереното за първи път от спускаемия апарат *InSight* на НАСА на 6 април 2019 г. марсотресение беше една от ключовите научни цели на спускаемия модул, постигната успешно. До момента на повърхността на Марс са регистрирани повече от 1700 марсотресения [5].

Земетресения

Краткото описание на земетресенията по видове включва:

➤ Тектонски земетресения – дължащи се на тектоничните сили при

различен геодинамичен режим: разширение (в рифтовите зони) – образуват нормални разломи; компресия (зони на субдукция) – предизвикват т.нар.

възседни разломявания; хоризонтални взаимодействия между тектонски плочи (трансформни разломи) – генерират хоризонтални размествания в големи размери; хоризонтално приплъзване на огромни скални слоеве – произвежда листрични разломи. Възможни са и всички комбинации от гореописаните, свързани с освобождаването на натрупаните тектонски напрежения (Фигура 2) [2]. Тектонските земетресения генерират над 90% от всички сеизмични събития на Земята.

➤ Вулканични земетресения – рояци от земетресения, генерирани от движения на магмата в магмената камера на активните вулкани. Съставляват около 5%.

➤ Обрушителни земетресения – поради огромни срутвания в пещери и мини. Съставляват по-малко от 1%.

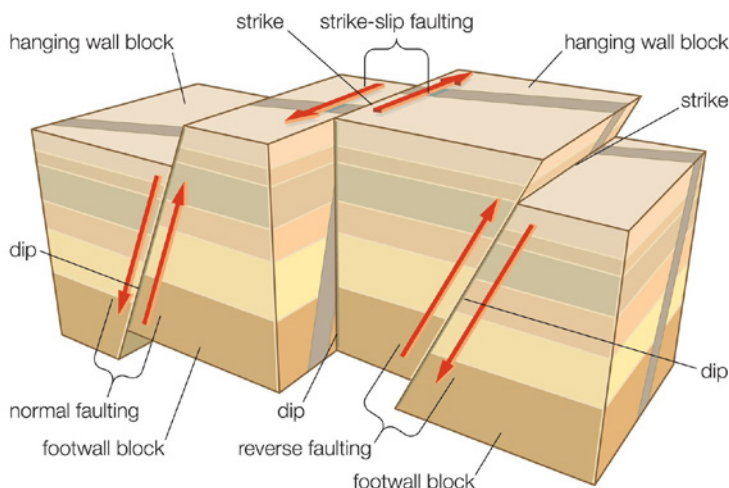
➤ Земетресенията на приливите и отливите – поради приливите и отливите на Земята, генерирани от

гравитационните ефекти Слънце – Луна върху твърдата земя. Обикновено са слаби и се проявяват с различна активизация.

➤ Метеоритни удари (ударни кратери – астроблеми) – предимно запазени древни кратери. Над 200 големи астроблеми са открити на повърхността на Земята.

➤ Предизвикани земетресения поради човешка дейност – пълнене на язовири, взривове (вкл. ядрени експлозии), извличане или изпомпване на течности, разрушаване на скали, хидравличен фракинг и др. – 3 – 4%.

Земетресенията условно се разделят по дълбочина в зависимост от възникването им на „плитки“ (дълбочини между 0 и 33 km – в земната кора), „междинни“ (дълбочини между 33 и 300 km) и „дълбоки“ (между 300 и 760 km) в земната мантия. Силата на земетресенията обикновено се измерва по магнитудната скала на Рихтер.



Фигура 2. Тектонски блокове, посоки на движение и разломи според международната класификация

Лунотресения

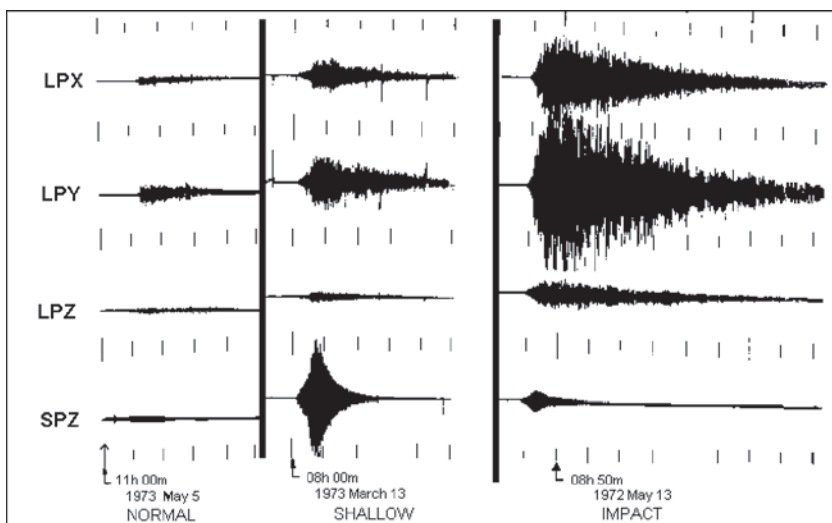
По време на мисиите „Аполо“ и сеизмичните регистрации на Луната са получени изненадващи резултати за лунотресенията [1]. Според дълбочината на възникване те са разделени на „дълбоки“ и „плитки“ лунотресения и според произхода си биват:

➤ Естествени лунотресения – дълбоки и плитки. Смята се, че дълбоките лунни земетресения (~700 km под повърхността) вероятно имат приливен произход. Плитки лунни трусове се наблюдават на дълбочина 50 – 220 km под повърхността, а някои от тях на дълбочина до 30 km. Трусовете настъпили в интервала на дълбочина 30 – 200 km са в горната част на мантията, но не и в кората на Луната. Произходът не е много ясен (учените предполагат, че се дължат на свиването на Луната по време на охлаждането на вътрешността на спътника). Съществува относително сходство с вътрешочовите земетресения

и тяхното възникване. Спадът на напрежението е огромен – най-вероятно поради разрушаването на скалното вещество в дълбоката вътрешност на Луната. Няма връзка между приливите и плитките лунни трусове.

➤ Термични лунотресения (хладната лунна кора се разширява, когато слънчевата светлина се върне след двуседмичната лунна нощ). Важна е термичната зависимост за термичните лунни трусове, дължащи се на изгрева и залеза. Температурните промени на повърхността са от порядъка на +120 °C до -130 °C. Сеизмичните събития, дължащи се на ефекта на нагриване – охлаждане, стават на много малки дълбочини, имат ниски магнитуди и нисък очакван интензитет. Излъчват сравнително краткотраен сеизмичен сигнал.

➤ Вибрации при удар на метеорит (генерирани от ударите на метеоритите върху повърхността на



Фигура 3. Сеизмограми на лунотресения с различен произход – термични (вляво), плитки (в средата) и ударни (вдясно)

Луната). Регистрирани са 11 удари на метеорити над 1 тон [3].

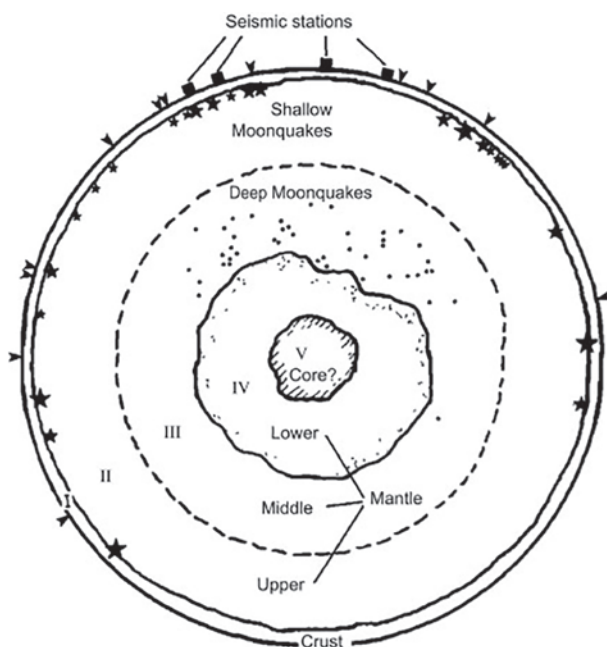
➤ Изкуствено генерирани сеизмични събития чрез взривове и човешки удари. Извършени са общо 9 активни изкуствени сътресения (удари от лунен модул, взривове или човешки удари). Изкуствено генерирани сеизмични вълни са направени в два специално проектирани активни експеримента на мисията „Аполо 17“. Единият от тях използва линейно разположение на 3 широколентови сеизмометъра на разстояния 45,7 m. Другият покрива зона с триъгълна форма от 4 геофона (скоростомери) с разстояния от 50 – 60 m между тях [4]. Важно е да се отбележи, че сеизмичните сигнали затихват в пъти по-бавно, отколкото в Земята (Фигура 3).

Това означава, че качественият фактор на лунната среда, характеризиращ затихването на вълните, е по-висок от този на Земята. Имайки предвид факта, че повърхностният минерален състав е доминиран от анортозит (богат на калций алумосиликат), това означава, че Луната звучи като гигантска стъклена сфера, резонираща на сеизмичните вълни много по-интензивно, отколкото това става на Земята. Ето защо сеизмичните вълни затихват по-малко, отколкото на Земята, а кода-вълните са много по-продължителни на сеизмограмите на лунотресенията. Силата на лунните трусове обикновено се из-

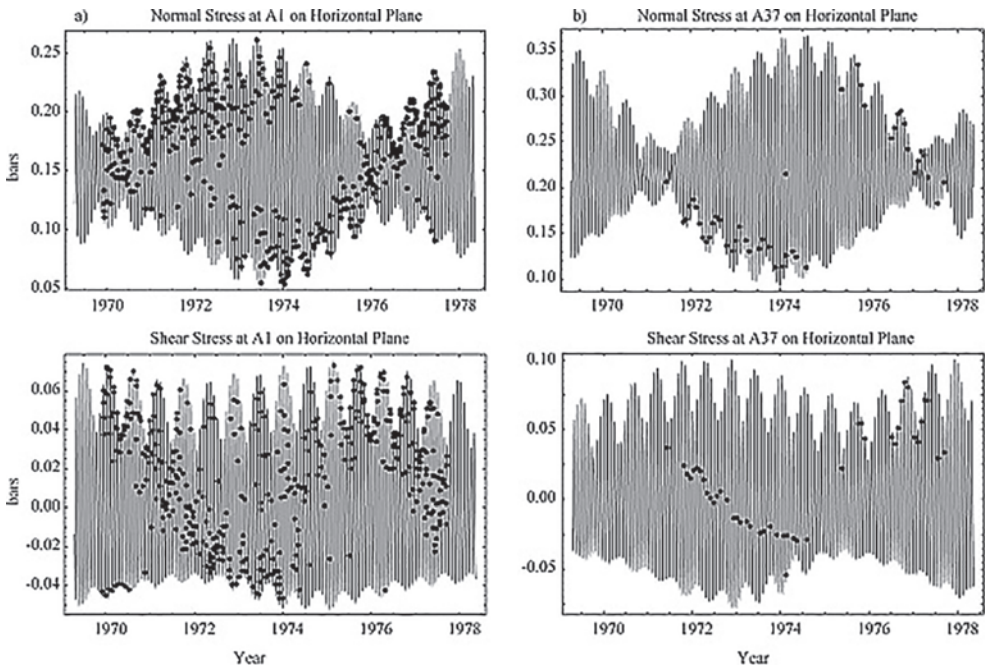
мерва по скалата на Рихтер, калибрирана спрямо земните условия. Наблюдаваните лунни трусове са били предимно под 3 по скалата на Рихтер; най-силните регистрирани сеизмични събития на Луната са с магнитуд между 5 и 5,7 (Mmax).

Плитките лунни трусове са регистрирани с магнитуд до 5,5. Между 1972 и 1977 г. са наблюдавани общо 28 плитски лунотресения – по-малко от всички останали (Фигура 4).

Дълбоките лунотресения обикновено стават в рамките на изолирани петна с километричен размер, понякога наричани гнезда или клъстери. Генерират се от слънчево-земните приливни деформации (Фигура 5). Мощностният спектър на вибрациите им е в честотната област 0,5 – 8 Hz. Високият скок при освобождаване на напреженията е типичен за всички видове лунотресения.



Фигура 4. Дълбочинна схема на лунотресенията



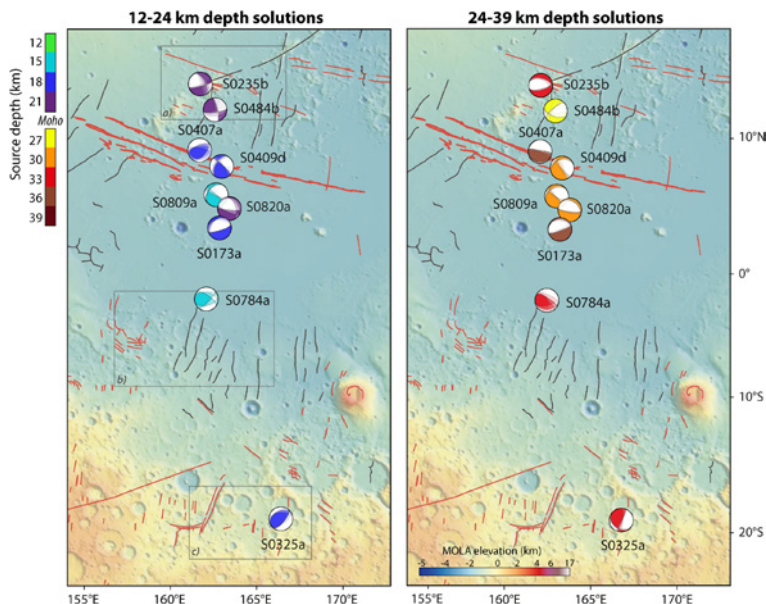
Фигура 5. Корелация между слънчево-земноприливните колебания и реализираните дълбоки лунотресения

Марсотресения

Марсотресенията са регистрирани основно от мисията на НАСА *InSight*. Има данни за над няколко стотици трусове, някои от тях с максимални магнитуди около 4 – 4,7. Регистрирани са общо над 1500 трусове. За сравнително краткия период на мисията *InSight* този брой сеизмични събития показват, че Марс е умерено сеизмично активна планета – много по-активна от Луната (с изключение на дълбоките лунни трусове), но по-малко активна от Земята. Като цяло честотната област на регистрираните сеизмични вълни е между 0,4 – 1,0 Hz и 0,2 – 0,4 Hz. Това означава доминиране на относително ниски честоти и бързо затихване на високочестотните сеизмични сигнали. До днес е регистрирана само се-

измичност, генерирана в кората на Марс. Тези сеизмични събития бяха използвани като цяло за да се докаже, че дълбоката вътрешност на Марс показва много подобна на земната марсодинамика – разтопено ядро, твърда мантия, активна кора с много бивши и активни вулкани.

Сеизмичните събития с висока честота обикновено са свързани с екстензионната марсодинамика и са по-плитки. Нискочестотните трусове най-често са свързани с компресионен режим. При всички земетресения се смята, че механизмът на генериране се дължи на охлаждащия ефект на планетата, който все още е в процес на развитие, а марсотресенията се привързват към видими разломи и разломни структури,



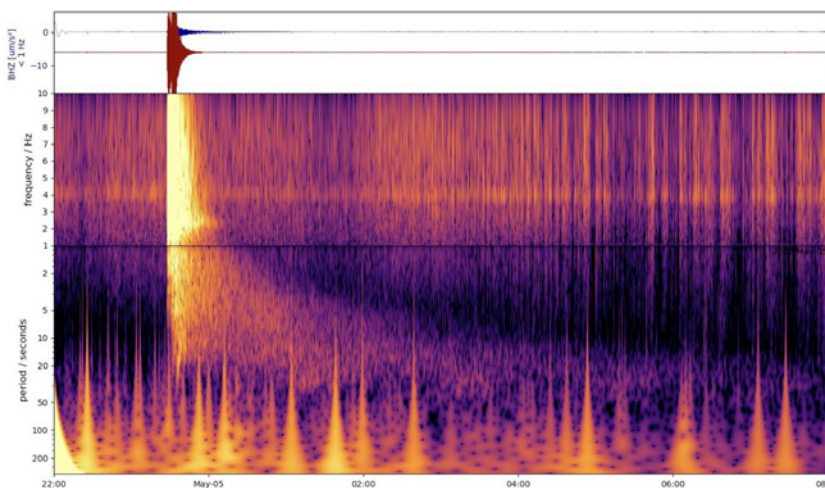
Фигура 6. Регистрирани марсотресения (кръгчетата) се привързват към екстензионни или компресионни зони

регистрирани на повърхността на Марс (Фигура 6).

Най-силното регистрирано до момента марсотресение е с магнитуд 4,7 по Рихтер и предизвика вибрации, отекващи през планетата в продължение на поне шест часа. То е записано от спускаемия апарат *InSight* на НАСА на 4 май

2022 г. (Фигура 7). Това сеизмично събитие се счита много силно за условията на Марс.

Натрупванията на напрежения се разглеждат като резултат от милиарди години планетарна еволюция; включително охлаждането и свиването на различни части на планетата с различна



Фигура 7. Най-силното марсотресение с М4,7 и спектрограма

скорост. Все още не е напълно ясно защо някои части на планетата изглежда имат по-висока концентрация на напрежения от други. Един ден тази информация може да послужи за да се разбере, къде би било по-безопасно за хората да живеят на Марс и кои райони би трябвало да избягват!

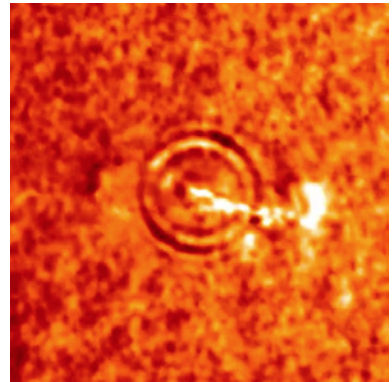
Два огромни удара от метеорити са

Слънцетресения

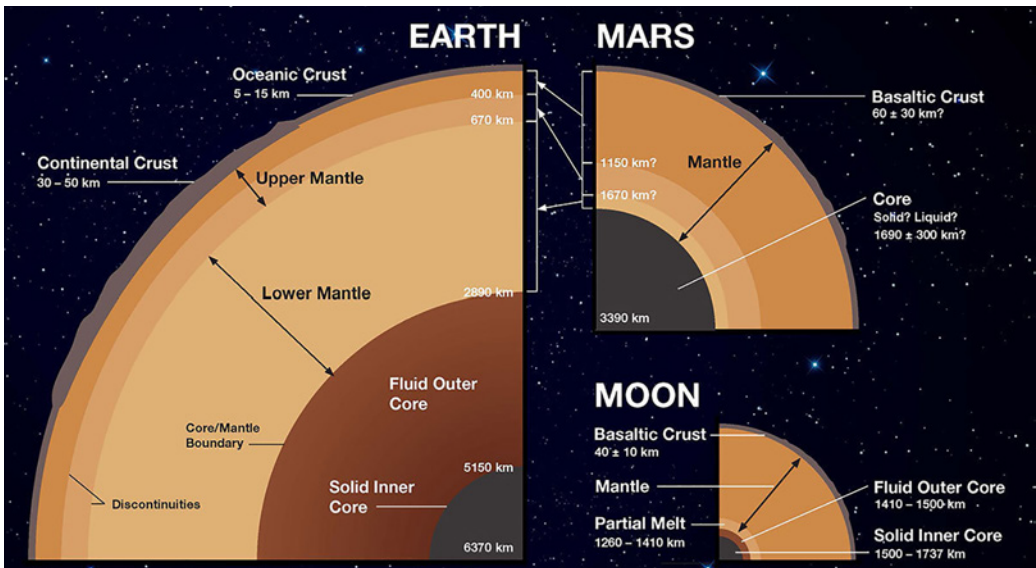
Няколко сеизмични явления са регистрирани на слънчевата повърхност. Те са свързани с мощни изригвания на слънчева плазма. Образуват концентрични сеизмични вълни подобни на тези, предизвикани от падащ камък във воден басейн например. Само че ударът идва отдолу, подобно на разпукващ се сапунен мехур (Фигура 8).

Концентричната структура на Земята, Луната и Марс, установена от

регистрирани от сеизмометъра *InSight* [8], доказвайки разпространението на повърхностните сеизмични вълни, които са за първи път документирани на друга планета [8]. Силата на марсотресенията обикновено се измерва по скалата на Рихтер, калибрирана спрямо земните условия.



Фигура 8. Типично слънцетресение, предизвикано от изригване



Фигура 9. Сравнителна схема на Земята (вляво), Марс (горе дясно) и Луната (долу дясно) показва вътрешния строеж на земеподобните тела с установена и регистрирана сеизмична активност

разпространението на сеизмичните вълни, и потвърдените различни обвивки на изследваните тела, разкриват структурата и заедно с другите естествени физически полета (като магнитни, гравитационни, радиоактивни и топлинни)

дават възможност за сравняване и изследване на формата на вътрешния строеж и по-подробно изучаване на динамиката в дълбочинната структура на телата (Фигура 9).

Особености в сеизмичната активност на телата от Слънчевата система

Много по-интересни са неочакваните разлики в сеизмичността на изследваните извънземни тела (в нашия случай Луна и Марс) при сравнение със сеизмичността на Земята. Като непосредствено свойство на геодинамиката, сеизмичността е най-съвременната част от геодинамиката и нейна най-активна съставка. Структурата и еволюцията на Земята предопределят високата сеизмична активност на нашата планета.

Тектоничната парадигма на плочите е мощен инструмент за изследване на съвременната геодинамика. Луната и лунните трусове са различни в много аспекти. Високата сеизмичност, дължаща се на промяната на нагриването ден – нощ и охлаждането на лунната кора, е основният източник на повърхностна сеизмична активност на спътника на Земята. Приливните ефекти от влиянието Слънце – Земя върху Луната са друга изненада за науката. Съвпадението във времето и фазите на гравитационните взаимодействия е друг мощен източник на сеизмичност на Луната и се случва в по-големите дълбочини. Плитките (50 – 240 km) земетресения, дори много малко на брой, все още са енигма и все още нямат ясно обяснение. Друго, много странно свойство са дълготрайните вибрации след всяко луннотресение. Те са 5 – 10 – 20 пъти по-продължителни

от земните. Вероятно това се дължи на химическия състав на лунната кора (с по-голямо съдържание на анортозит), но това все още не е потвърдено изрично.

По отношение на Марс и марсотресенията, те също имат изненадващи елементи [5, 6]. Дори ясно свързани със структурите на разломите (екстензионни и компресионни), марсотресенията демонстрират също дълготрайни кода-вълни и при сравнително малко сеизмично събитие (M4,7 от гледна точка на Земята) реверберацията на Марс за около 6 часа след земетресението е друг много изненадващ факт. Това показва, че подобни събития могат да бъдат отчитани като силни за околната среда на Марс. Липсата на доказателства за приливния ефект върху Марс е друга енигма. Като по-малко тяло от Земята, приливите и отливите, генерирани от Слънцето и Земята, се очаква да генерират приливи и отливи на Марс, но досега такава корелация не се наблюдава. Екстензионните и компресионните трусове също предполагат по-активна вътрешна динамика на Марс (вероятно подобна на геодинамиката на Земята). Това все още не е потвърдено и трусовете се считат за явления, свързани с разломи.

В перспектива при космически мисии и към другите планети може да се очаква сеизмична активност в земепо-

добните планети – Венера и Меркурий, както и на някои луни на другите планети. Газовите гиганти вероятно може да демонстрират съответно трусове, подобни на слънцетресенията.

В заключение и накратко – изненадите са неочаквани и бъдещите изследвания могат да донесат нови и интересни резултати по отношение на сеизмичността на извънземните тела.

Литература

- [1] C. Nunn et al., Lunar Seismology: A Data and Instrumentation Review, Space Sci Rev, 216:89, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11214-020-00709-3>.
- [2] <https://www.thoughtco.com/fault-types-with-diagrams-3879102>
- [3] M. Wieczorek., The Interior Structure of the Moon: What Does Geophysics Have to Say?., 2009. DOI: 10.2113/gselements.5.1.35.
- [4] T. Kawamura et al. Evaluation of Observation bias of Apollo Seismic Observation Network. 45th Lunar and Planetary Science Conference, 2014. <https://www.hou.usra.edu/meetings/lpsc2014/pdf/2564.pdf>
- [5] A. Jacob et al., Seismic sources of InSight marsquakes and seismotectonic context of Elysium Planitia, Mars., Tectonophysics 837 229434, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2022.229434>
- [6] M. Knapmeyer et al. Working models for spatial distribution and level of Mars' seismicity. J. OF GEOPHYS. RES., VOL. 111, E11006, 2006. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2006JE002708>
- [7] <https://mashable.com/article/mars-marsquake-earthquake-biggest>
- [8] <https://www.ox.ac.uk/news/2022-10-28-two-major-meteorite-impacts-reveal-new-insights-about-surface-mars>
- [9] <https://www.planetary.org/space-images/interior-structures-of-earth-mars-moon>

SEISMIC ACTIVITY IN THE SOLAR SYSTEM

Boyko Rangelov

The seismic activity of the Earth, Moon, Mars and Sun are under comparison. Even with a similar structure, the terrestrial bodies in the Solar system have different seismic behavior and dynamics. The Sun demonstrates only surface waves, but they also can be described as seismic activity.

СТРОИ СЕ НАЙ-МОЩНИЯТ ИЗТОЧНИК НА НЕУТРОНИ

Динко Динев

В Лунд, Швеция, се строи най-мощният в света източник на неутрони, т.нар. Европейски източник на спалационни неутрони (*European Spallation Source, ESS*). Експерименталните резултати, от своя страна, ще се обработват във втори център, който ще бъде разположен в Копенхаген, Дания. Това е един от големите европейски научни проекти. В неговото създаване, финансово и чрез създаването на апаратура, участват 13 европейски страни: Чехия, Дания, Естония,

Франция, Германия, Унгария, Норвегия, Полща, Испания, Швеция, Швейцария и Великобритания. Създаването на ESS ще струва 1,3 млрд. евро, като половината от тази сума се поема от страните домакини – Швеция и Дания. С помощта на генерираните в ESS неутронни потоци ще се провеждат изследвания на структурата на кристални и аморфни вещества и на течности с приложение във физиката, химията, геологията, биологията, медицината и др.



Фигура 1. Строящият се в Лунд, Швеция, Европейски източник на спалационни неутрони (ESS)

С помощта на спалационни източници на неутрони дългоживущите радиоактивни изотопи в отработеното гориво на ядрените електроцентрали може да се преработят до по-малко опасните краткоживущи радионуклиди, т.нар. трансмутация. Те също са в основата на подкритичните ядрени реактори, т.нар. *Accelerator Driven Systems, ADS*, например MYRRHA в Белгия.

ESS е разположен в непосредствена близост до източника на синхротронно лъчение от четвърто поколение Max IV.

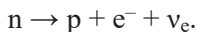
Това дава възможност за провеждането на комбинирани изследвания с помощта на методите на рентгеноструктурния анализ и на дифракцията на неутрони.

Едновременно със строителството на оборудването, необходимо за генериране на неутроните, се подготвя и апаратурата за провеждането на измерванията в 15 различни направления – рефлектometri, дифрактометри, спектрометри.

Очаква се първите експерименти да започнат в края на годината.

Свободните неутрони имат време на

живот ($879,6 \pm 0,8$) s. Те се разпадат на протон, електрон и неутрино:



Неутроните са електрически неутрални. При движението си във веществото неутроните взаимодействат с атомните ядра чрез силно взаимодействие. То е краткодействащо, с радиус на действие от порядъка на 1 fm. Това е много по-малко от дължината на вълната на Луи дьо Бройл на неутроните. При взаимодействието си с ядрата неутроните могат да се разсеят или погълнат от него. Разсейването, от своя страна, може да бъде кохерентно еластично, кохерентно нееластично, некохерентно еластично и некохерентно нееластично. Кохерентно означава, че при разсейването се запазва фазата на вълната, а еластично, че се запазва дължината на вълната (енергията). За изследване на атомната структура на веществото се използва кохерентно-

1. Неутронография

Неутронографията е неразрушаващ метод за изследване на атомната структура и динамика в кристали, аморфни вещества и течности чрез използването на техниката на дифракция на неутрони с ниска енергия (1 meV – 10 eV), т.е. с дължина на вълната на дьо Бройл (0,01 – 1) nm (кохерентно еластично разсейване на неутрони). Тези дължини на вълната са от порядъка на междуатомните разстояния в молекулите и кристалите.

Скоро след откриването на неутрона от Дж. Чадуик през 1932 г., е демонстрирано, че и неутронът, подобно на другите елементарни частици, притежава вълнови свойства.

Неутронните потоци дори от мощни-

то еластично разсейване на неутроните от ядрата. Поради краткодействието на силното взаимодействие то може да се разглежда като разсейване от точков потенциал. Чрез регистрирането на кохерентното нееластично разсейване на неутроните може да се изследва топлинното движение на атомите в молекулите и кристалите.

Неутроните притежават и диполен магнитен момент:

$$\mu_n = -1,913 \mu_N,$$

където: $\mu_N = e\hbar/2m_p$ е ядреният магнетон. Чрез регистриране на магнитното разсейване на неутроните могат да се измерят магнитните моменти в различни материали и да се изучава структурата и ориентацията на магнитните диполи.

Структурните изследвания с помощта на неутрони са предмет на отделен клон на физиката – неутронография.

те ядрени реактори са с няколко порядъка по-малки от потока рентгенови кванти, които излъчва една рентгенова тръба. Това прави неутронографията труден и изискващ много повече време (минути и часове) от рентгеноструктурния анализ експериментален метод. През 50-те години на миналия век се появяват ядрени реактори, създаващи достатъчно мощни неутронни потоци, за да може да се реализира този метод. За развитието на неутронографията голяма роля имат пионерските изследвания на Е. Ферми (*E. Fermi*), Е. Уолън (*E. G. Wallen*), К. Шал (*K. Shall*) и Б. Брокхаус (*B. Brockhouse*).

Една неутронограма представлява серия от максимуми на кохерентно раз-

сеяните неутрони на фона на дифузното разсейване. Положението на тези максимуми удовлетворява известното условие на У. Браг (*W. L. Bragg*):

$$2d\sin\theta = n\lambda,$$

където: d е разстоянието между атомните равнини в кристала, θ – ъгълът на разсейване, n – цяло положително число.

В теоретичното изследване на еластичното разсейване на неутрони от атомното ядро се разглежда плоска неутронна вълна e^{ik_ix} , падаща върху ядрото, където k_i е вълновото число на падащите неутрони, а x е направлението на неутронния поток. Разсеяната вълна е сферична:

$$\left(-\frac{b}{r}\right)e^{i\vec{k}_f\vec{r}},$$

където \vec{k}_f е вълновият вектор на разсеяните неутрони ($k_f = k_i$), а b има размерност $[b] = \text{m}$ и се нарича дължина на разсейване.

Доказва се, че диференциалното сечение на разсейване на неутроните е:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = b^2,$$

а пълното сечение на разсейване е:

$$\sigma_{tot} = 4\pi b^2.$$

Като източник на неутрони в неутронографията се използват ядрени реактори или ускорители на протони с висока енергия (GeV), които предизвикват т.нар. спалационна (*spallation*) ядрена реакция.

Ядреният реактор генерира стационарни неутронни потоци. Регистрира се зависимостта на интензитета на разсеяното неутронно лъчение от ъгъла на разсейване. За да се отберат неутрони-

те с определена дължина на вълната се използват кристални монохроматори, т.е. работи се при фиксирана дължина на вълната. Изследва се зависимостта на интензитета на разсеяните неутрони от ъгъла на разсейване, която чрез условието на Браг се преобразува в зависимост на интензитета на разсеяните неутрони от разстоянието между атомните равнини.

При спалационните източници на неутрони неутронният поток е импулсен и това позволява да се използва техниката по времето на прелитане. Изследването се провежда при фиксиран ъгъл на разсейване. Неутронният поток съдържа неутрони, имащи дължини на вълната, лежащи в широк диапазон (0,05 – 1) nm. Първичният поток е от неутрони с висока енергия, от порядъка на 1 – 2 MeV. Те се пропускат през водородосъдържащи забавители (вода, течен метан, течен водород) за да придобият енергии от порядъка на meV, необходими за провеждането на неутронната дифракция (топлинни неутрони). Тъй като неутроните имат маса, то тяхната скорост зависи от енергията (дължината на вълната). По пътя си до детектора неутроните изминават относително голямо разстояние и се разделят пространствено – неутроните с по-висока енергия изпреварват, а тези с по-ниска изостават. Дължината на вълната на неутроните, съответстваща на дифракционните максимуми, се определя по времето на прелитане до детектора:

$$t = \frac{m_n L \lambda}{h}.$$

Регистрира се зависимостта на интензитета на разсеяните неутрони от времето на прелитане до детектора (при фиксиран ъгъл на разсейване). След то-

ва тя се преизчислява в зависимост от дължината на вълната, а чрез условието на Брак – в зависимост от разстоянието между атомните равнини.

Рентгеновите лъчи се разсейват от електронната обвивка на атомите и затова интензитетът на дифракционните максимуми е пропорционален на атомния номер на елемента (Z), т.е. рентгеноструктурният анализ е по-чувствителен към тежките елементи и трудно регистрира леките, особено водорода.

От своя страна, дължината на разсейване на неутроните от атомните ядра зависи нерегулярно от Z . Често леките елементи дават по-интензивни дифракционни максимуми от тежките.

При разсейването на неутрони от водородни атоми дължината на разсейване е $b = -3,74$ fm. Неутронографията позволява да се изучава структурата на хидриди, кристалохидрати, съдържащи

водород сегнетоелектрици, органични вещества. Съдържанието на водород в биологични структури достига до 50% от общото количество атоми. С помощта на неутронографията е определена структурата на голям брой органични съединения.

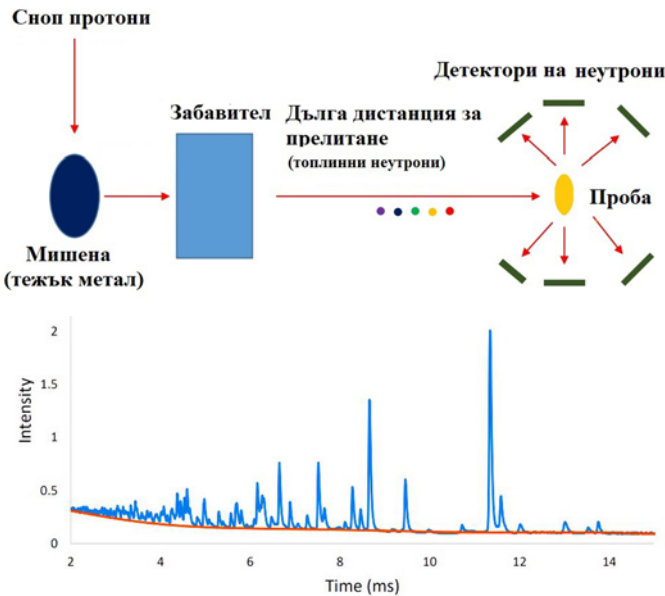
Неутроните са също много подходящи при изучаването на структурата на вещества, съдържащи кислород ($b = 5,80$ fm).

Неутронографията позволява да се изучава структурата на сплави и съединения на елементи с близки атомни номера, например FeCo (Co: $b = 2,49$ fm, Fe: $b = 9,45$ fm) и NiMn (Ni: $b = 10,3$ fm, Mn: $b = -3,73$ fm), в които електронната обвивка съдържа почти едно и също число електрони.

При големи ъгли на разсейване за рентгеновите лъчи дифракционните пикове имат много малък интензитет, докато при неутроните интензитетът им е почти еднакъв. Методът има висока разделителна способност, достигаща $\Delta d/d = 10^{-3}$.

Тъй като неутроните имат голяма проникваща способност, могат да се изучават големи проби, от порядъка на сантиметри.

Това, че неутроните притежават диполен магнитен момент, позволява да се реализира разсейване на неутроните от магнитните моменти на атомите. Магнитната неутронография е единственият метод, който позволява да се изу-



Фигура 2. Измерване по времето на прелитане – опитна постановка (горе) и неутронограма (долу)

чава магнитното подреждане в магнитни материали, в които има корелация в направлението на магнитните моменти. Може да се определи типа на магнитната структура и големината на магнитния

момент на атомите. Благодарение на магнитната неутронография бяха открити нови класове магнитни материали – антиферромагнетици и феримагнетици.

2. Спалационна ядрена реакция

Неутроните в спалационните източници на неутрони се генерират в резултат на спалационна ядрена реакция (реакция на отцепване на неутрони от ядрото). Английският термин е *spallation nuclear reaction*. При нея протони, ускорени до висока енергия от порядъка на 1 GeV, бомбардират мишена от тежък метал (живак, тантал, волфрам, обеднен уран). За ускоряването на протоните до висока енергия се използват линейни ускорители (ESS), комбинация от линеен ускорител и синхротрон (ISIS) или циклотрон (SINQ/PSI). Реакцията протича на два етапа.

През първия етап протоните взаимодействат с нуклоните в ядрото. Възниква вътрешноядрен каскад от протони, неутрони и пиони. Някои от тези частици могат да напуснат ядрото. Те имат висока енергия ($E > 20\text{MeV}$), движат се по направлението на движение на първичния сноп протони и могат, от своя страна, да взаимодействат с други ядра на мишената. Основната част от енергията на първичния протон обаче остава в ядрото

и то преминава във възбудено състояние.

През втория етап на спалационната реакция ядрото се връща обратно в основно състояние, изпарявайки частици с ниска енергия ($E < 20\text{MeV}$) – p, n, α . Голямата част от тези изпарени частици са неутрони. От всеки налитащ протон в резултат на спалационната реакция се раждат от 20 до 30 неутрона.

Терминът спалационна ядрена реакция е даден от Г. Сиборг (*G. T. Seaborg*) през 1947 г.

Процесът е некритичен, в смисъл че не възниква верижна реакция.

Изпарените неутрони са с висока енергия, 1 – 2 MeV. За да добият енергия, подходяща за изследване на структурата на веществото, те се пропускат през водородосъдържащ забавител.

Тъй като първичният протонен сноп е импулсен, то и потокът от спалационни неутрони също има импулсен характер. Това е важно предимство на спалационните неутрони пред реакторните. Импулсният характер на спалационните неутрони, от една страна, увеличава пиковия интензитет, а от друга – позволява да се използват неутронни спектрометри по времето на прелитане. Този метод дава възможност за прецизно определяне на енергията на неутроните; избягва се необходимостта от използването на кристален монохроматор, в който се губят над 80% от реакторните неутрони.



Фигура 3. Спалационна ядрена реакция

3. Европейски източник на спалационни неутрони

Първият импулсен източник на неутрони, базиран върху ускорител, е ZING-P в Аргоновата национална лаборатория на САЩ в Чикаго (ANL). Други знакови източници на спалационни неутрони са ISIS (неутронен поток с мощност

160 kW) в Ръдърфордската национална лаборатория на Великобритания (RAL) и SNS (неутронен поток с мощност 1,4 MW) в Националната лаборатория на САЩ Оук Ридж (ORNL).

Европейският източник на спалационни неутрони ESS е разположен в Лунд, Швеция. При него за придаване на протоните на необходимата висока енергия от 800 MeV ще се използва линеен ускорител, в който се използват свръхпроводящи обемни резонатори. Той е така конструиран, че в бъдеще тази енергия може да се повиши до 2 GeV.

Ускорените протони бомбардират волфрамова мишена, която представлява въртящ се диск с диаметър 2,6 m, охлаждан с хелий. Генерираният поток спалационни неутрони е с мощност 2 MW, с възможност тя в бъдеще да се увеличи до 5 MW. Очаква се на ESS да се провеждат над 800 експеримента годишно.



Фигура 4. Схема на Европейския източник на спалационни неутрони (ESS)

THE MOST POWERFUL NEUTRON SOURCE IS UNDER CONSTRUCTION

Dinko Dinev

In Lund, Switzerland, the most powerful source of neutrons in the world – the European Spallation Source (ESS) is being built. The ESS consists of an 800 MeV superconducting linac, a tungsten rotating target and 15 experimental points. The power of the neutron flux will be 2 MW. The paper also provides some knowledge on neutron diffraction and the nature of spallation nuclear reaction.



Съюзът на физиците в България

обявява провеждането на

ЧЕТВЪРТИ НАЦИОНАЛЕН КОНГРЕС ПО ФИЗИЧЕСКИ НАУКИ

7 – 9 октомври 2024 г.

ИнтерЕкспоЦентър, София

ОРГАНИЗАТОРИ:

Съюз на физиците в България, Българска академия на науките,
Софийски университет „Св. Климент Охридски“,
Министерство на образованието и науката, Съюз на учените в България

Медийни партньори:

Българска телеграфна агенция



Списание „Светът на физиката“, Национално издателство



Четвъртият Национален конгрес по физически науки има за цел да направи актуален преглед на научните изследвания в областта на физическите науки в България, а също и на трансфера на иновациите в индустрията, произтичащи от постигнатите научни резултати.

Конгресът е трибуна за решаване на проблемите, изясняване на перспективите и задачите пред физиката в сегашния период от развитието на страната ни. Фокусът на форума ще бъде върху приноса на българската наука в иновационния процес и нейното популяризиране.

Конгресът ще е най-голямото събитие през 2024 г., което е посветено на провъзгласеното от Общото събрание на ООН с резолюция A/77/L.100 **Международно десетилетие на науките за устойчиво развитие (2024 – 2033)**.

В 12-те секции, представляващи отделни симпозиуми, ще бъдат докладвани и обобщени резултатите от научните изследвания по физика у нас, а също така и изследвания с участие на български учени, работещи в чужбина и/или в сътрудничество с чуждестранни учени. Конгресът ще открие най-важните насоки на бъдещите изследвания у нас, в международните научни организации и по международни проекти.

По-подробна информация за секциите, техните председатели и координатори, указания за подготовка на резюметата на докладите, линк към заявката за участие, както и за таксите за право на участие и сроковете, които трябва да бъдат спазени, можете да намерите на адрес: <http://upb.phys.uni-sofia.bg/conference/4kongres/index.html>.

ЛАЗЕРА С ПАРИ НА МЕДЕН БРОМИД – 50 ГОДИНИ ОТ ИЗОБРЕТЯВАНЕТО МУ

На 24 май 2024 г. в зала „Проф. Марин Дринов“ на БАН Институтът по физика на твърдото тяло отбеляза 50 годишнината от създаването на лазера с пари на меден бромид, който през 1979 г. е признат за „изобретение на годината“.

шава изходната мощност на излъчването на лазера и коефициента му на полезно действие до два пъти. Публикуваните резултати са високо оценени и намират не само приложение в редица лаборатории по света, но и влизат в студентските



курсове за обучение по лазерна физика. Всичко това открива пред ръководения от акад. Съботинов научен екип възможност за участие в редица международни проекти, финансирани от Европейския съюз и НАТО, което води до постигане на рекордната мощност от 125 W и подобро качество на лазерното лъчение с разработената МОРА лазерна система.

В рамките на събитието акад. Съботинов и учените от екипа му представиха отделните етапи от идеята до внедряването на лазера с пари на меден бромид в индустриалното производство и постигнатите резултати от изследванията през този дълъг и нелек път. При проведените експерименти за създаването на прототип за промишлено приложение е конструирана кварцова тръба с време на живот над 1000 часа, открит е ефектът на водорода, който пови-

През 1984 г. започва производство на лазера с пари на меден бромид от СО „Оптични технологии“ в Пловдив и през 1985 г. той е представен като промишле-



но изделие на Световното индустриално изложение в ХанOVER, Германия. Днес най-мощният и високоефективен газов лазер във видимия диапазон на спектъра се произвежда от българската фирма Пулслайт, австралийската Норселд за дерматологични цели и от Байсън в Република Корея.

Приложението на лазера с пари на меден бромид в медицината бе представено от доц. Огнян Съботинов, доц. Маргарита Грозева разказа за използването му в археометрията, доц. Николай Минковски и доц. Михаил Илиев – съответно за експлоатацията му за микрообработка и структуриране на материали и при изследване на фини прахови частици. Фокусът на презентацията на проф. Красимир Темелков бе върху изследванията, които се провеждат днес в лаборатория „Лазери с метални пари“ и амбицията на учените да продължат да създават най-мощните и с най-качествено лъчение лазери с пари на меден бромид, а доц. Екатерина Йорданова очерта перс-

пективите в развитието на лазерните технологии в ръководения от нея Институт по физика на твърдото тяло на БАН.

Участниците в тържественото честване имаха възможността да разгледат изложбата пред зала „Проф. Марин Дринов“, която показваше на постери както пълния цикъл от физични изследвания, разработки и участия в български и международни проекти, така и експонати на произведените днес лазери от фирмите Пулслайт, Норселд и Байсън.

По време на презентацията си и при откриването на изложбата акад. Съботинов изтъкна, че лазерът с пари на меден бромид е добър пример за младите хора, които трябва да са уверени в своите възможности.

От името на Института по физика на твърдото тяло доц. Екатерина Йорданова връчи на акад. Никола Съботинов специална награда „Плакет по повод 50-годишнината от изобретяването и пускането в действие на лазера с пари на меден бромид“.



ЛАБОРАТОРИЯ ПО ЕЛЕКТРОННА МИКРОСКОПИЯ И ЕЛЕКТРОНОГРАФИЯ (ЛЕМЕ)

Мария Калицова

Въведение

Електронната микроскопия е направление от физиката, посредством което се изучава реалната структура на твърди тела. Терминът „електронна микроскопия“ е използван за първи път през 1932 г. от Макс Кнол и Ернст Руска (Нобелов лауреат за 1986 г.) в една публикация в списанието *Annalen der Physik*. С тази публикация се дава и първото експериментално потвърждение на теоретичните изводи на Ханс Буш относно възможността да се използват магнитните полета с ротационна симетрия за получаване на електроннооптични изображения при работа с параксиални лъчи.

Още в зората на електронната микроскопия се формират две основни направления: инструментално, в което главна роля играят постиженията на електронната оптика, и методично, което се занимава с физическите закономерности, свързани с взаимодействието на електроните с веществото. Методиката на електронната микроскопия включва голямо разнообразие на техники за препариране на обекти за наблюдение и микроскопиране, а също така – няколко основни подхода за коректна интерпретация на получените при различни режими на работа електронни изображения. В методично отношение електронната микроскопия започва да се развива бързо

едва след появата на първите, колкото и несъвършени да са били, лабораторни прибори. След построяването през 1939 г. на първия истински електронен микроскоп от Ернст Руска и Бодо фон Борис, създаден по договор с фирмата „Сименс“ в Берлин, започва важен период в историята на тази значима за физиката изследователска техника. В последвалите 10 – 15 години двата основни клона на електронната микроскопия, в резултат на силната обратна връзка помежду им и с мащабното участие в процеса на научни и производствени центрове не само в



Фигура 1. М. Калицова пред електронния микроскоп на фирмата Jeol – JEM 100С в Института по физика и електронна микроскопия в град Хале, Германия, на който са работили и сътрудници от ЛЕМЕ в ИФТТ

Европа, но и в САЩ и Япония, изграждат стабилна научна основа, върху която продължава да се развива нейната силно разклонена структура. Усъвършенстването на електронномикроскопската техника и компютъризацията на управлението ѝ достига до такова ниво, че електронният микроскоп все повече добива облика на една своеобразна „черна кутия“ (Фигура 1).

С развитието на приборостроене-

Историческо развитие на ЛЕМЕ в ИФТТ

Началото на Лабораторията по електронна микроскопия и електронография (ЛЕМЕ) е поставено от научните сътрудници Николай Пашов и Михаил Михайлов още през втората половина на 50-те години на миналия век, когато те са служители във Физическия институт (ФИ) на Българската академия на науките с директор академик Георги Наджаков (Фигура 2). След построяването на сградата на ФИ и на реактора в началото на 60-те години на ХХ в. ЛЕМЕ започва да

на преден план излизат методичните проблеми на електронномикроскопската практика. Реализацията на много изследователски програми се ограничава вече не от възможностите на прибора, а от недостатъчно бързото развитие на методичните основи и главно от несъвършенствата на препаративната техника при изучаване на реалната структура на твърди тела.

функционира в новата сграда и, след разделянето през 1972 г. на Института по физика на Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика (ИЯИЯЕ) и Институт по физика на твърдото тяло (ИФТТ), тя става част от научноизследователската инфраструктура на ИФТТ. Основната част от научните изследвания на колектива са насочени към различни режими на работа на трансмисионната електронна микроскопия (ТЕМ).

В началото на 60-те години на ми-



Фигура 2. Н. Пашов, М. Борисов, А. Стригачев, Е. Ватева, Р. Зайков, Е. Карамихайлова, Д. Калицин във ФИ (таванските помещения на ЦУ – БАН в края на 50-те години на ХХ в.)

налия век е закупен и монтиран в сградата на ръководения от акад. Наджакков институт трансмисионен електронен микроскоп на фирмата *Hitachi* с максимално ускоряващо напрежение 100 keV. Монтажът и пускането му в действие се осъществява с помощта на японски специалист от фирмата производител. Към работната група на ЛЕМЕ са включени още физикът Евгения Кантарджиева и техническият помощник Мария Георгиева. Акад. Георги Наджакков изпраща Николай Пашов на дългосрочна специализация в Института по физика на твърдото тяло и електронна микроскопия на Академията на науките на ГДР в гр. Хале, където по това време електронната микроскопия е най-силно развита от всички страни в социалистическия лагер. При престоя си в ГДР Николай Пашов създава стабилни научни връзки с немските колеги акад. Бетге и проф. Хайденрайх. По-късно, през 70-те години, в Хале е създаден Организационен комитет по електронна микроскопия, който се ръководи от акад. Бетге и проф. Хайденрайх, а проф. Николай Пашов е негов член като представител на България. Организационният комитет има за цел усъвършенстване на специалистите от социалистическия блок. Той периодично организира школи, които се провеждат в Немския институт по физика. Изтъкнати специалисти от цял свят в областта на електронната микроскопия изнасят лекции, съпътствани от лабораторни упражнения за изучаване на най-съвременните за времето си техники на електронната микроскопия (ЕМ) и електронната дифракция (ЕД).

Към средата на 70-те години към ЛЕМЕ се присъединяват и научните съ-

трудници Стефан Симов и Мария Калицова, работещи дотогава в лабораторията „Научна апаратура и специални проблеми“, която е ръководена от акад. Георги Наджакков (Фигура 3).



Фигура 3. Сътрудниците на ЛЕМЕ в планината (отляво надясно: Ст. Симов, Н. Пашов, М. Калицова и М. Георгиева)

Проф. Николай Пашов, като ръководител на ЛЕМЕ в ИФТТ (1973 – 1994) и член на Организационния комитет по ЕМ, редовно изпраща своите сътрудници М. Михайлов, С. Симов и М. Калицова на школите, провеждани в Хале, и така допринася за повишаването на тяхната научна квалификация. На школите се създават международни връзки, които спомагат учените от ЛЕМЕ да развиват научна дейност на съвременно ниво. През 1987 г. Николай Пашов защитава хабилитационен труд „Върху някои приложения на електронната микроскопия при изучаване на реалната структура на твърди тела“, след което е избран за професор в ИФТТ. Ст. Симов е изпратен в началото на 80-те години на дългосрочна специализация в Реймс, Франция. Там се насочва към определен

тип изследвания, които са в основата на защитената от него през 1989 г. докторска дисертация със заглавие „Един подход за тримерна реконструкция от двумерни изображения на електронномикроскопски обекти“. В резултат на съвместната му работа с колеги от Реймския университет се установява дългосрочно научно сътрудничество между България и Франция. По това време научен сътрудник, М. Калицова е изпратена на едномесечна специализация върху проблеми на йонната имплантация и взаимодействието ѝ с твърдо тяло в Римския университет, Италия. На тази основа е установено сътрудничество между БАН и Римския университет, а тя защитава докторска дисертация на тема „Дефектна структура в германиеви кристали, имплантирани

с Te^{+} йони“. Тези три сътрудничества допринасят за постигането на значими на международно ниво научни резултати в ЛЕМЕ. След пенсионирането на проф. Николай Пашов за ръководител на Лабораторията е назначена доц. Мария Калицова. Тя успява да привлече на работа две млади физички – Анита Пеева и Теменужка Телбизова. Установените научни връзки с Германия позволяват както на Пеева, така и на Телбизова, да започнат редовна докторантура в гр. Хале, която всяка от тях завършва успешно, и двете остават на работа там. Лабораторията по електронна микроскопия и електронография продължава да съществува до оттеглянето на доц. Калицова от активна дейност.

Основни научни резултати, получени в ЛЕМЕ

Основните научни постижения на учените от Лабораторията по електронна микроскопия и електронография могат да бъдат групирани в няколко направления:

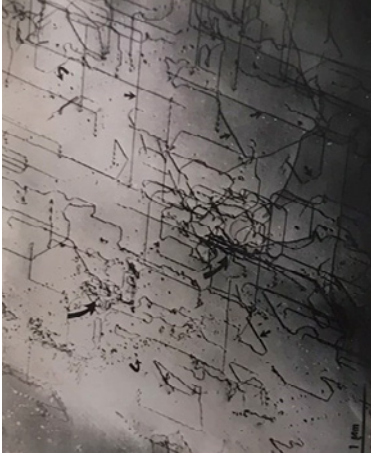
- Развиване на ефективна методика за получаване на тънки кристали Ge и LiF при кристализация на разтопени течни фази от тези материали и тяхното изследване с конвенционална електронна микроскопия [1, 2].

С помощта на получените по този метод Ge кристали са установени неочаквани от гледна точка на тогавашните представи ефекти на аномално силна вторична електронна емисия и са изследвани нейните зависимости от работното напрежение и дебелината на кристала. Изследвани са също причините, довели до генерация на дислокации в тях. Показано е, че в образци с променли-

ва дебелина от съществено значение са процесите на масова генерация на дислокации в клиновидните зони на кристала. На базата на тези представи е предложен модел за образуване на дислокационните системи (Фигура 4) и на сплитания в решетката на Ge (Фигура 5).



Фигура 4. Зони на образуване на дислокационни системи, означени с А и В, $E=65$ kV



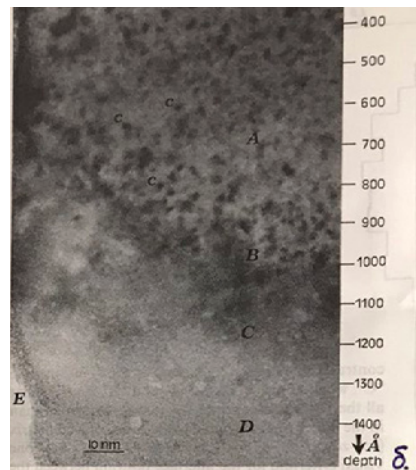
Фигура 5. Сплитания и зони с висока концентрация на точкови дефекти, означени със стрелки, $E = 1 \text{ MV}$

Тази тематика е разработена главно от основателя на Лабораторията по електронна микроскопия и електронография проф. Николай Пашов (1929 – 2008). Неговите научни приноси и разработки са разнообразни и включват не само изследване на различни химични съединения и на радиационни дефекти в различни типове кристали, но и на тънки метални и полупроводникови слоеве, на дисперсни системи, прах в атмосферата, на обекти в микробиологията и вирусологията. Многобройни са неговите анализи и експертизи в различни области на индустрията. Той е автор на 70 научни публикации в наши и международни списания, цитирани многократно, на над 30 научнопопулярни статии, на монографията „Електронна микроскопия“ (ДИ „Наука и техника“, София, 1961). Бил е ръководител на шест договора по проблеми на електронната микроскопия – три у нас и три в чужбина, на две докторски дисертации у нас и консултант на три докторски дисертации у нас и в чужбина.

За своята научноизследователска, приложна и научноорганизационна дейност е отличен с редица наши и чуждестранни награди и отличия – медал „100 години БАН“ (1969); Златна значка на БАН (1973); медал на АН ГДР „20 години научно сътрудничество с БАН, 1957 – 1977“ (1977); орден „Кирил и Методий“, II ст. (1980); Златна значка на СНРБ (1981), медал „Готфрид Вилхелм Лайбниц“ на АН на ГДР (1993) и др.

В резултат на установеното от доц. Мария Калицова научно сътрудничество на ИФТТ и Римския университет, както и с помощта на действащото вече сътрудничество между ЛЕМЕ и Германия, започват изследвания с високоразделителна трансмисионна електронна микроскопия (ВРТЕМ) на радиационно повредени структури в елементарни и комплексни полупроводници.

- Изучена е в дълбочина дефектната структура на имплантирани със Si^+ йони кристали от GaAs чрез използ-



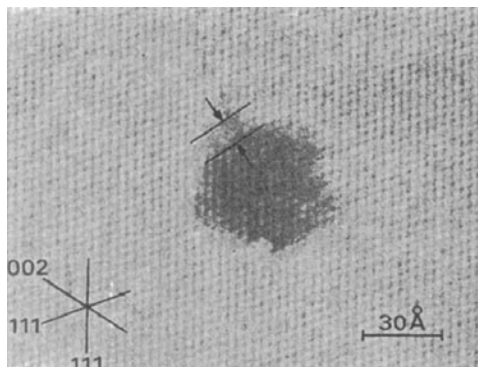
Фигура 6. Микрофотография от ВРТЕМ на $\langle 110 \rangle$ напречно сечение на $\langle 100 \rangle$ GaAs, имплантиран със Si^+ йони. Дифузната зона е отбелязана с С

ване на метода на напречни сечения във ВРТЕМ [3]. Установено е наличието на дифузна (сива) зона с протяжност 200 – 300 Å при използваните експериментални условия, която е разположена между имплантираната и неимплантираната част на кристала (Фигура 6).

- При изследването на елементарни имплантирани полупроводници са използвани шайби от монокристален Si и Ge, от които са приготвени образци за ВРТЕМ [4, 5].

- Извършено е едно от първите в света директни наблюдения на атомната структура на изолирани клъстери от точкови дефекти, индуцирани от йонна имплантация на Te^{+} в Ge. Получените резултати са сравнени с числено моделираното с код MARLOWE разпределение на дефектите в кристала и е постигнато съществено уточняване на научната информация относно реалната структура на радиационното повреждане на твърдо тяло. Потвърдена е експериментално валидността на предложен в литературата механизъм за създаване на локален радиационен безпорядък. Установени са три типа клъстери на радиационни повреждания: с добра кохерентност с матрицата, с нарушена кохерентност и с аморфна зона. Предложен е феноменологичен модел за обяснение на атомната структура, който се базира на разглеждане на плътността на отложената в мишената енергия, свързана с различна концентрация на ваканциите в различните типове клъстери. Наблюдаван е добре изразен интерфейс на границата клъстер – ненарушена кристална матрица (Фигура 7). Показано е, че моделът на енергетичния спайк дава по-добро обяснение в сравне-

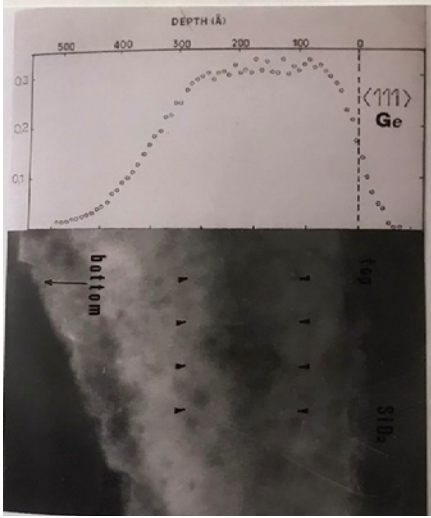
ние с модела на линейната колизионна каскада за възникването на локален радиационен безпорядък в Ge, имплантиран с тежки йони. Спайковите области възникват при плътност на отложената енергия на порядък по-ниска от стойността на специфичната топлина на топене на Ge, с което е потвърден предложението от *Thompson* и *Walker* механизъм на енергийния спайк, според който във възбудената кристална решетка възниква локализиран атермален колапс.



Фигура 7. Тъмнополево трилъчево ВРТЕМ изображение на клъстер на повреждане с добре изразена интерфейсна област на границата на клъстера с ненарушената кристална матрица (показана със стрелки) в $\langle 110 \rangle$ Ge

Установено е влияние на ефектите на каналиране в кристалната решетка върху степента на йонноиндуцирания безпорядък при определена имплантационна доза за три кристалографски направления $\langle 100 \rangle$, $\langle 111 \rangle$ и $\langle 110 \rangle$. Установено е, че най-ниската степен на повреждане на Ge кристал отговаря на най-малката числено пресметната плътност на отложената енергия в най-отвореното кристалографско направление $\langle 110 \rangle$.

- Използвайки метода на напречно сечение при ВРТЕМ, е получена директна информация на атомно ниво за дълбочинното разпределение на имплантационното повреждане като интегрален ефект (Фигура 8).



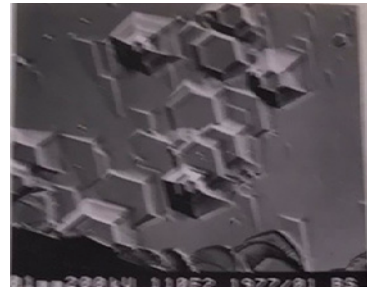
Фигура 8. ВРТЕМ на имплантиран <111> Ge, ($1.3 \times 10^{12} \text{Te}^+ \text{cm}^{-2}$, 46 keV), профил на подреждането, получен от Ръдърфордско обратено разсейване (RBS)/каналирание

- Изследван е близкият порядък на създадената при йонно бомбардиране аморфна фаза в германия посредством Фурие анализ на радиалното разпределение на интензитета на електронната дифракционна картина. Установени са фини изменения на близкия порядък в аморфната фаза при вариране на имплантационната доза в интервала $10^{12} - 10^{16}$ йони/ cm^2 . Обяснението на дозовата зависимост на близкия порядък се свързва с изменението на параметрите на елементарния тетраедър в кристалната решетка на Ge.

● Разработена е проблематика на тримерна реконструкция – определя-

не на обемната структура и размера на обекти от техните двумерни електронномикроскопски изображения, където водеща роля има доц. С. Симов [6, 7]. Тя е продиктувана от изискванията на металознанието, микроелектрониката, микробиологията и др. и отговаря на тенденциите в електронната микроскопия за извличане на максимална информация чрез методите за количествена интерпретация на електронномикроскопските изображения.

- Разработени са алгоритми за пресмятане на пространствените координати на дискретни точки, способ за оценка на текстури и намиране на параметричните уравнения на криволинейни електронномикроскопски обекти.

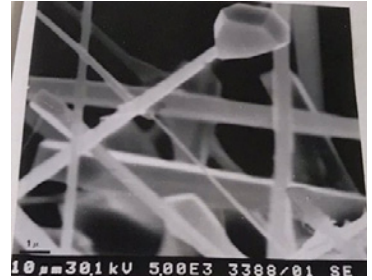


Фигура 9. Микрофотография от сканиращ електронен микроскоп (PHILIPS SEM 505) на повърхност на епитаксиален слой от CdS, нанесен върху <111> Ge

- Развит е геометричен метод за тримерна реконструкция на електронномикроскопски обекти от техните двумерни изображения, като са разглеждани всички възможни варианти както при ортогонална, така и при централна проекция с дефинирани условия и точност при прехода между тях. Методът е програмно осигурен и това го прави лесно приложим за решаване на конкретни задачи като контрол на обекти за микро-

електрониката: анализирани формата на V-образни ями на ецване върху (100) Si, предназначени за сензори, определяне на геометричните параметри на контактни Al шини за MOS интегрални схеми. Той е приложен също за морфометрия на микрорекристали върху епитаксиални слоеве и на кристални образувания върху уискери с индексирани на хабитусните им кристалографски плоскости (Фигура 9). Извършен е оригинален анализ на текстури на тънки слоеве, както и на формата на огънати уискери (Фигура 10).

Представените резултати са получени от проведените съвместни изследвания на сътрудниците от Лабораторията по електронна микроскопия и електронография в Института по физика на твърдото тяло и изследователи от Академията на науките в ГДР, гр. Хале, Департамента по енергетика на Римския университет, Италия, и Университета в гр. Реймс, Франция. Те са докладвани на редица международни конференции, конгреси и симпозиуми,



Фигура. 10. Микрофотография от сканиращ електронен микроскоп – микрорекристално образувание на върха на уискер от кадмиев оксид

проведени в България, Унгария, Германия, Япония и САЩ. Публикувани са в международни научни списания с голяма научна тежест като: *Physica Status Solidi*, *Journal of Crystal Growth*, *Kristall und Technik*, *Journal of Materials Science*, *Journal of Applied Crystallography*, *Journal of Microscopy*, *Philosophical Magazine A*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, *Japanese Journal of Applied Physics*, *Thin Solid Films*, *Applied Physics A*.

Литература

- [1] N. Paschoff, *Wachstum und structur dünner, aus schelz-flüssigen filmen auskristallisierter germanium kristalle*, Phys. Stat Sol. **22**, 83 (1967)
- [2] P. Metreveli, N. Pashov, *Observations of LiF foils grown from the melt*, Journal of Crystal Growth **6**, 314 (1970)
- [3] M. G. Kalitzova, N.K. Pashov, G. Vitali and M. Rossi, *About some peculiarities in defect appearance in elemental and III-V compound semiconducting materials*, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. **128**, 683 (1989)
- [4] M.G. Kalitzova, D. S. Karpuzov and N.K. Pashov, *Radiation defects in Te⁺ implanted germanium. Electron microscopy and computer simulation studies*, Phil. Mag. **A 51**, 373 (1985)
- [5] M. Kalitzova, et al., *Ion-beam-assisted nanocrystal formation in silicon implanted with high doses of Pb⁺ and Bi⁺ ions*, Jpn. J. Appl. Phys. **40**, 5841 (2001)
- [6] S. Simov, E. Simova, B. Davidkov, G. Mechenov, *A geometric method incorporated with a computer program for indexing crystal faces of microcrystallites*, J. Appl. Cryst. **16**, 559 (1983)
- [7] S. Simov, E. Simova, B. Davidkov, *Electron microscope study of surface topography by geometrical determination of metric characteristics of surface elements*, J. Microsc. **137**, 47 (1985)

Рубриката „Млади изследователи“ се осъществява с финансовата подкрепа на фондация „Еврика“



ЗНАЧЕНИЕ НА ЛУННИТЕ ЛАВОВИ ПЕЩЕРИ ЗА БЪДЕЩИ КОСМИЧЕСКИ МИСИИ*

Мария Тотева

През последното десетилетие интересът към изследването на Луната значително нараства, като се публикуват множество трудове, базирани на данни от спътници и роувъри. Луната е била вулканично активна в миналото, но днес няма активни вулкани, въпреки че под повърхността ѝ има магма. Вулканизмът е вторият най-доминиращ процес след метеоритните удари при формирането на лунната кора. Лунните лавови пещери, образувани от древна вулканична дейност, могат да бъдат стабилни убежища за човешки местообитания, предпазващи от космическа радиация и микрометеоритни удари. Необходими са проучвателни мисии за оценка на структурната цялост на тези пещери и управление на ресурсите. Области с активен вулканизъм като *Marius Hills*, са потенциални места за откриване на лавови пещери. Представена е формула за изчисляване на дълбочината на лавовите пещери. С напредъка в космическите технологии изследването на лунните лавови тръби се очертава като важна част от бъдещите човешки мисии, предлагаща значителни научни открития и възможности за устойчиви лунни местообитания.

Ключови думи: Луна, вулканизъм, лунни лавови пещери, човешки местообитания, космически мисии

1. Въведение

През последното десетилетие се наблюдава засилен интерес в изследването на Луната. Биват публикувани множество трудове, свързани с лунната геология, базирани на изображения и данни, получени от спътници или по време на мисии на роувъри. Въпреки това, много малко е информацията за наличието на различни структури и образувания

под повърхността на нашия естествен спътник.

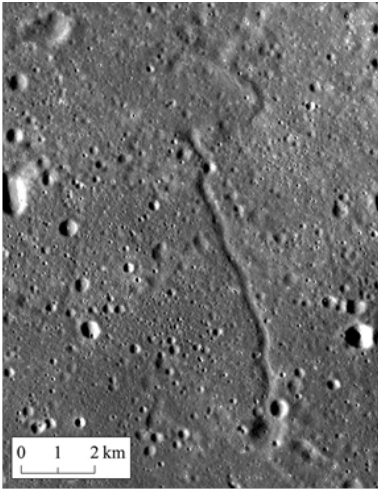
Луната е била вулканично активна през голяма част от своята история, като първите вулканични изригвания са се случили преди около 4,2 милиарда години. Вулканизмът е бил най-интензивен между 3,8 и 3 милиарда години, през което време са създадени голяма

*Текстът на статията се базира на отличен проект на Младежката научна сесия „Физиката и светът на технологиите“, 2024, Сливен. Научен ръководител: проф. д-р Алексей Стоев.

част от лунните лавови равнини. Днес на Луната няма активни вулкани, въпреки че има значително количество магма под лунната повърхност.

След ударите от метеорити, вулканизмът представлява най-доминиращият процес във формирането на лунната кора. Голяма част от тези модификации са запазени поради липсата на тектоника на плочите на Луната, така че лунната повърхност се е променила незначително през годините. С вулканичен произход са лунните морета, някои кратери и лавовите тръби (пещери).

Още преди повече от петдесет



Срутени лавови тръби под повърхността на Луната.

Фотография: NASA/GSFC/Arizona State University

години планетарни геолози са идентифицирали особени морфологични структури, подобни на понори, които понеже са се намирали върху потоци от лава или по стените на вулканични конуси, много бързо са били свързани с предполагаемото присъствие на „лавови тръби“ (морфологична структура, също характерна за Земята).

Лунните лавови пещери са останки от древна вулканична дейност, образувани са преди милиарди години по време на периоди на интензивни вулканични изригвания на повърхността на Луната. Тези тръби са били издълбани от течаща лава, оставяйки след себе си продълговати тунели под лунната кора. Докато лавата е текла, външният слой се е охлаждал и впоследствие втвърдявал, създавайки защитна обвивка, която е обвивала течащата разтопена скала. След като лавата се оттича, тя оставя след себе си кухи тунели. Тези подземни проходи могат да варират по размер (от няколко метра до няколко километра в диаметър). Тяхната форма може да бъде кръгла, елипсоидна или неправилна в зависимост от геоложките условия по време на образуването им. Стените на тръбите от лунна лава обикновено са гладки, образувани от постепенното охлаждане и втвърдяване на лавата, докато тече през тунелите.

2. Потенциални области за откриване на лунни лавови пещери

Съществуването на лунни пещери (тръби) понякога се разкрива от наличието на „отвор“, място, на което покривът на тръбата се е срутил, оставяйки кръгла дупка, която може да се наблюдава от лунни орбитални апарати. Области, носещи белези на активен вулканизъм, са

потенциални райони за откриване на лавови пещери. Пример, подкрепящ тази теза, е регионът *Marius Hills* (Хълмовете „Мариус“), който се намира в Океана на бурите. Той представлява набор от вулканични куполи със средна височина около 200 – 500 m. Хълмовете „Мариус“

носят името си от близкия кратер „Мариус“ с диаметър 41 km. Тези хълмове представляват най-голямата концентрация на вулканични елементи на Луната. През 2011 г. Лунният разузнавателен орбитър на НАСА прави снимка на 65-метрова яма, дълбока около 36 m в региона *Marius Hills*. Предполага се, че това е отвор на лавова тръба. Наличието на други такива пещери е възможно и в Морето на яснотата.

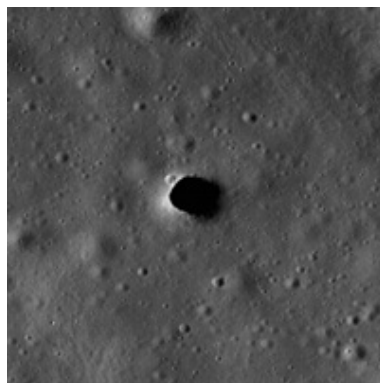
Група учени от Вашингтонския университет в Сейнт Луис са разработили специален алгоритъм *PitScan*, който полуавтоматично търси пещерни отвори на повърхността на Луната, като в хода на наблюденията чрез него са били открити повече от двеста от тях. Те могат да бъдат разделени на три условни групи:

- повреди на канали от лава,

3. Проследяване на лунната геоложка активност

Въпреки че лунните лавови пещери са обещаващи за научно изследване и потенциално човешко обитаване, те също така се свързват с редица опасности, които трябва да бъдат изследвани. Разбирането на тези опасности е от съществено значение за планирането на безопасни и успешни мисии за изследване и използване на тези интригуващи геоложки образувания.

Лунните лавови тръби, подобно на техните земни аналози, може да бъдат структурно нестабилни. С течение на времето таваните и стените на тези тунели могат да отслабнат поради гравитационни процеси или сеизмична активност. Решение на този проблем би могло да бъде намерено, ако се проведат проучвателните мисии, които да оценят структурната цялост на лавовите



Лунната пещера в района на *Marius Hills*.
Фотография: NASA/GSFC/Arizona State University

изтичаща по време на вулканични изригвания;

- кухни от лава, образувани от стопилка, появила се в големи кратери от падането на големи астероиди върху повърхността на Луната;
- кухни в лунната кора.

пещери. Ако по време на тях бъдат установени сериозни рискове, би могло да се премине към монтиране на поддържащи постройки, които да намалят вероятността от срутвания или пропадания, застрашаващи обитателите на лунната база и самите постройки. Проследяване на лунната сеизмична активност също би могло да предотврати нежелани последици.

Освен това ниската гравитация на Луната и параметрите на лавовата тръба въвеждат предизвикателства, свързани с мобилността на астронавтите из тунелите.

Въпреки че лунните лавови пещери предлагат естествена защита от суровите условия на нашия естествен спътник, те също могат да породят проблеми по отношение на наличността на ресурси.

Достъпът до вода, кислород и други основни ресурси в тунелите е ограничен, което изисква внимателно планиране на

управление на ресурсите за продължителни лунни мисии.

4. Параметри на вероятна лунна лавова пещера, отговаряща на изискванията за експлоатация по време на бъдещи космически мисии

Лунните лавови тръби потенциално могат да служат като заграждения за човешки местообитания. Възможно е съществуването на тунели с диаметър по-голям от 300 метра, лежащи под 40 или повече метра базалт. По този начин пещерите биха осигурили естествена защита от космическата радиация, слънчевата радиация и ударите на метеорити или микрометеорити. Дебелината на лунния реголит, необходима за осигуряване на адекватна защита от космическа радиация, зависи от различни фактори, включително енергията и вида на радиацията, както и от състава и плътността на самия реголит. Изследвания, проведени от НАСА и други космически агенции, показват, че поне два до три метра лунен реголит ще гарантират значително намаляване на радиационното облъчване на астронавтите в лунната база. Тази дълбочина на реголита ефективно отслабва по-голямата част от космическата радиация, включително високоенергийни

частици като галактически космически лъчи и слънчеви енергийни частици. Въпреки това радиацията все още би могла да премине през отвора на лавовата пещера. Затова, за да може да се намали излагането на радиация на космонавтите, би било препоръчително всякакви постройки да се намират във вътрешността на тунела, на няколко метра от пещерния вход. Това разстояние може да варира в зависимост от фактори като интензитета на радиацията. Допълнителни предпазни мерки също биха могли да бъдат имплементирани.

Както земните лавови пещери, лунните също поддържат стабилни температури. Оптимална среда би била такава от -20°C . Така лунната база би била изолирана от екстремните температурни амплитуди на лунната повърхност, породени от липсата на атмосфера – денем температурата се вдига до 220°C , а нощем пада до -180°C .

5. Формула за намиране на дълбочината на отвора на лунната лавова пещера

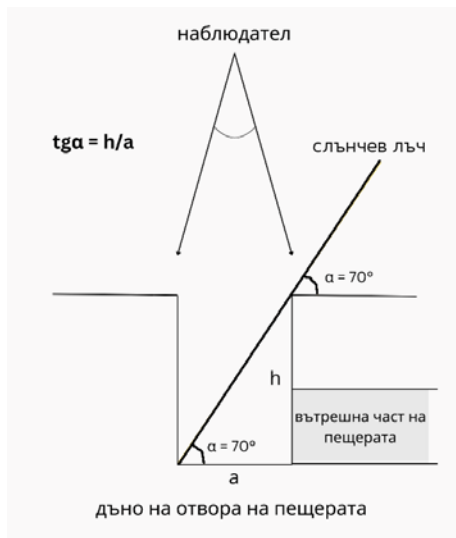
В тази част на статията ще представя формула за намиране на дълбочината на отвора на лунната лавова пещера. Позволявам си да приема, че условията за наблюдение са оптимални: зрителният лъч се намира перпендикулярно на отвора на тръбата (на лунната повърхност), а Слънцето се намира под такъв ъгъл, че

огрява цялото ѝ дъно (70°).

Лунният диаметър е приблизително 30 дъгови минути (1800 дъгови секунди, 1 800 000 дъгови милисекунди), а в километри – 3475 km. Следователно на една дъгова секунда се падат 1,9 km от лунния диаметър, а на една дъгова милисекунда – 0,0019 km или 1,9 m.

Нека означим дължината на отвора с „ a “. Знаейки колко дъгови милисекунди е резолюцията на окуляра на телескопа, който използваме, може да се изчисли параметъра a . Да приемем, че разполагаме с телескоп, оборудван с окуляр с чувствителност 2 дъгови милисекунди. Поставяйки отвора на пещерата в центъра на окуляра, чрез линейната му скала отчитаме ъгловия размер на отвора. Взимаме го с размер 25". За да намерим линейния размер на отвора, умножаваме по 1,9 m (разстоянието от лунната повърхност, отговарящо на 1 дъгова милисекунда). Като резултат получаваме 47,5 m.

Както вече беше уточнено, Слънцето при ъгъл 70° огрява така дъното на отвора на пещерата, че то е напълно видимо за наблюдател, чиито зрителен лъч е перпендикулярен на него. Тангенсът на ъгъл 70° е приблизително 2,7475. Той може да се получи като се раздели височината на



отвора на неговата дължина, която вече знаем. Така може да се определи дълбочината на пещерата. Следователно, замествайки във формулата $\text{tg} \alpha = h/a$, за параметъра h получаваме приблизително 130,5 m. Използвайки този метод може да се намери дълбочината на всяка лунна лавова тръба, видима с телескоп.

6. Перспективи

Отворени сегменти от лавови тръби биха могли да осигурят стабилни убежища за човешките местообитания, защитени от космическа радиация и микрометеоритни удари върху Луната. Тези кухни могат да имат размери, подходящи за постоянна лунна база, осигуряваща потенциален достъп до няколко ресурса, включително летливи вещества и евентуално воден лед, уловен в пещерни седименти. Тръбите от лунна лава обикновено се намират по границите между лунните морета и високопланинските райони. Това би осигурило лесен достъп до: високи региони – за комуникации; базалтови равнини – места за кацане и

събиране на реголит.

Докато тръбите от лунна лава остават до голяма степен неизследвани, скорошният напредък в технологията за изследване на Космоса предизвиква интерес към изследването на тези енигматични структури. Роботизираните мисии, оборудвани с усъвършенствани апарати и сензори, биха могли да картографираат и изследват лунни лавови тръби, предоставяйки важни данни за бъдещи човешки мисии (като тази, проведена от Европейската космическа организация през 2019 година). Освен това тези мисии биха могли да проучат потенциалното наличие на воден лед или

други ресурси в тунелите, като допълнително засилват значението им за бъдещи местообитания на Луната. Прототипът „Деадалус“, дело на няколко университета в Германия и Италия, е програмиран да сканира лавови пещери и да им прави 3D карти.

Лунните лавови пещери представляват една от най-интригуващите геоложки характеристики на Луната, предлагайки изкушаващи перспективи за научни открития и бъдещи човешки изследва-

ния. Отключването на мистериите на тези подземни проходи може не само да задълбочи разбирането ни за лунната геология, но също така да проправи пътя за устойчиви лунни местообитания и разширено човешко присъствие отвъд орбитата на Земята. Докато човечеството продължава да се впуска в дълбините на Космоса, изследването на лунните лавови тръби обещава да бъде вълнуващо събитие в стремежа ни да разгадаем мистериите на Вселената.

Литература

- Technologies Enabling Exploration of Skylights, Lava Tubes and Caves NASA Innovative Advanced Concepts (NIAC) Phase I, Final Report for Contract # NNX11AR42G
- Tomasi, I., Massironi, M., Meyzen, C. M., Pozzobon, R., Sauro, F., Penasa, L., et al. (2022). Inception and evolution of La Corona lava tube system (Lanzarote, Canary Islands, Spain). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 127, e2022JB024056
- Lunar lava tube sensing, York, C. L., Walden, B., Billings, T. L., & Reeder, P. D.; In *Lunar and Planetary Inst., Joint Workshop on New Technologies for Lunar Resource Assessment* p 51-52 (SEE N93-17233 05-91); Bibliographic Code: 1992nlr.work...51Y
- De Angelis G, Wilson JW, Cloudsley MS, Nealy JE, Humes DH, Clem JM. Lunar lava tube radiation safety analysis. *J Radiat Res.* 2002 Dec;43 Suppl:S41-5. doi: 10.1269/jrr.43.s41. PMID: 12793728.
- Saunders, R. S., Haines, E. L., & Conel, J. E. (1970). Morphology and origin of lunar craters. Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research & German Society of Polar Research.
- Zhao J, Qiao L, Zhang F, Yuan Y, Huang Q, Yan J, Qian Y, Zou Y, Xiao L. Volcanism and Deep Structures of the Moon. *Space Sci. Technol.* 2023;3:Article 0076. <https://doi.org/10.34133/space.0076>
- Heinicke C, Foing B. 2021 Human habitats: prospects for infrastructure supporting astronomy from the Moon. *Phil. Trans. R. Soc. A* 379: 20190568. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2019.0568>
- Stevenson DJ, Halliday AN. 2014 The origin of the Moon. *Phil. Trans. R. Soc. A* 372: 20140289. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2014.0289>
- https://www.esa.int/Enabling_Support/Preparing_for_the_Future/Discovery_and_Preparation/ESA_plans_mission_to_explore_lunar_caves
- <https://web.archive.org/web/20121023152520/http://news.discovery.com/space/moon-lunar-lava-skylight.html>
- <https://www.lroc.asu.edu/images/202>

СТРАНСТВАНИЯТА НА ВЪГЛЕРОД-14*

Филип Фролошки

Живот. Всеки ден е истинско изпитание. Дългове, принуди, обещания, молби, желания. Работа, работа и винаги се оказва, че има още и още. Няма измъкване! Някои отиват на екскурзии, за да забравят своето житие-битие. Завръщайки се, откриват само още от същото. Тежко и сложно е. Но има и някои хубави неща, които компенсират бремето на поминуването: любов, вяра, надежда, цели, чувство на принадлежност и отдаденост – в крайна сметка, всички се справят. Някои по-добре, други – не съвсем. Но всички постигат и научават тяхното НЕЩО, докато настъпи и последният им ден.

Докато хората са заети със своите скърби и радости тук, на Земята, то картинката изглежда по съвсем различен начин горе, в небесата. В горните слоеве на атмосферата на Земята ежесекундно се водят ожесточени междуатомни войни. Те са между слънчевите лъчи (идващи много отдалеч, но пренасящи огромно количество енергия) и невинните блуждаещи атоми във висините. Безпощадните слънчеви фотони като стрели разкъсват и отделят протони, неутрони и електрони от всеки атом, изправил се пред тях. Една от най-зловещите гледки в тези батални сцени е, че осакатените нуклони биват отскубвани с такава сила, че прелитайки, са способни да раздробят друг атом, намиращ се наблизо. С други думи – можеш да бъдеш разсечен от

откъснат крайник на ближния. Въпреки всички жертви и ранени атомите продължават да се изправят гордо и безстрашно като дивизии в авангард. Така е сега, така е било преди 4,5 милиарда години, така ще бъде и още дълго време. Толкова гибел и горест, но защо? За кого проливаха кварките си? Може би за никого. Може би просто трябваше да го правят и те просто го правеха...

Така е то!

По същия начин преди 28 500 години се зароди следната история.

Близо до същинското бойно поле се намери един азотен атом. На пръв поглед изглеждаше същия, като 78% от всички атоми в атмосферата на Земята, но беше специален. Беше единственият, който се запита какво е и какво прави. Случи се за миг, но пак бе много повече, отколкото събратята му бяха достигнали за милиарди години.

Прогони тези мисли. Знаеше, че много други азотни атоми са загубили живота си на бойното поле, беше негов ред, беше негов дълг. Затова той го направи. Стрелна се все нагоре и по-нагоре. Вече нямаше толкова много атоми пред него, които да го пазят с ядрата си. Слънчевите стрели прелитаха и жулеха яростно събратята му. Беше много бърз, същински Ахил. Със своите движения умело преминаваше по бойното поле, а лъчите все го пропускаха. Летеше напред с добре преценени лупинги. Кварковата

*Отлично есе във възрастовата група 9 – 12 кл. в Националния конкурс за есе „Физиката в моето бъдеще“.

му мъзга лумваше като огън, а духът му укрепваше като закалено желязо. Стигна авангарда и застана отпред. Изправи се с изпънати протони пред врага и беше готов да посрещне всичко от него.

Изведнъж усети, че беше пронизан. Хлъцна и след миг видя как негов протон се отдели от ядрото му. От гледката припадна. Той всъщност не беше пронизан от острието на фотонова стрела на Слънцето. В него дълбоко се беше забил неутрон, осакатен по-рано от друг клет атом.

Така е то!

Остана жив! Когато се свести, бе в доста по-долни слоеве от атмосферата на Земята. Тука нямаше заплаха от смъртоносните фотони на Слънцето, но това беше заслуга на милионите ломения на частици по-нагоре. Усети лека утеха от това, че все още е жив и в безопасност, но се почувства различен. Огледа поражението на ядрото си, тъй като видимо нямаше промяна в електроните, които обикаляха около него. Оглеждайки се, видя цял чужд неутрон, забит право в ядрото му. Той отклони поглед. Гледката беше тежка за него. Предпочете да не го вади, защото не знаеше дали е опасно. Продължи прегледа си. Забеляза, или по-скоро си припомни, че наистина беше загубил цял протон. Преди беше чел за подобни случаи в някакви стари книги по атомна физика – медицинските четива за частици. Спомняше си, че при подобни обстоятелства се наблюдава коренна промяна на личността. Притесни се за състоянието си, защото той наистина не се чувстваше като азот.

Придвижването му вече не бе така лека задача както преди, но трябваше да потърси лечение. Другите атоми бясно

се стрелкаха и апатично го подминаваха. На нито един не му направи впечатление, очевидно поради лошото му състояние. Знаеше, че трябва да стигне до Земята. Там имаше купища атоми, работещи като екип, изграждащ нещо внушително. Все някоя от всички тези частици трябваше да разбира от атомна физика...

Стигайки до първия подобен атомен полис, започна да разпитва дали някой познава атомфизик. Най-накрая откри сектора на физиците, където го приеха топло. Разказа им прежеждията си. След прегледа физикът атом прецени, че забитият неутрон не вреди на ядрото му, освен че го прави по-нестабилен. Съответно от време на време може да залита, но травмата не е с нужната сериозност за оперативно лечение. После дойдоха по-тежките новини – осакатеният протон наистина влияе сериозно на атомите. Физикът атом обясни на пациента си, че тази загуба ще доведе до коренна промяна на личността му. От тип азот към тип въглерод. Нашият герой беше шокиран и не можа веднага да възприеме това, което предстои.

От ден на ден се чувстваше като съвсем по-различен атом отпреди. Вече нямаше интерес към старите си хобита. Някогашните приятели му отмиляха и за сметка на това започна да проявява интерес към нови.

В културата на въглеродите е прието мъжките атоми да имат по 2 жени (кислородни атоми). Съвсем естествено, той се влюби в две такива и получи взаимност. Венчаха се в официален химичен съюз от тип „въглероден диоксид“. Бяха щастливи, но не бе за дълго, защото нямаха никакъв принос към обществото, а за атомите това беше важно.

Кандидатстваха за работно място в компания на име „Татул“. Приеха ги, тъй като фирмата беше нова и имаше силна нужда от работна ръка. Мениджърът на „Татул“ обясни, че съединението им може да продължи в компанията, стига да работят. Бяха доволни. Изпратиха ги на стаж при екип, наречен „Рибулозодифосфат“ (РБФ). Сдружаването им обаче се оказа твърде неустойчиво на постоянните одумки на ензима рибулзобифосфаткарбоксилаза (РубисКо). След всичките инсинуации беше нужно да влязат интригите на само една водна молекула и членовете на РБФ се разпаднаха на два отделни екипа фосфоглицеринова киселина (ФГК).

Последваха още множество промени. По едно време екипът се ребрандира на „Бифосфоглицерат“, след като бяха спонсорирани с цяла фосфатна група от щедрия Сър Аденозинтрифосфат (АТФ). Но след този благополучен момент бързо последва покрусата за нашия въглерод. Едната му съпруга го напусна. Тя се захласна по един наперен коензим с цели четири префърцунени имена: някакъв си Лорд Никотинамид-Аденин-Динуклеотид-Фосфат (НАДФ). Той допълнително редуцира целия им екип до глицералдехидфосфат (ГАФ), след като дезертъорката му помогна да откъдне дарената им фосфатна група от Сър АТФ. Тежки времена настъпиха за екипа ГАФ.

Така е то!

Въпреки всичко, може би точно тези изпитания бяха нужни, за да направят сдружението по-крепко. Последваха още няколко трансформации и ГАФ вече не бяха такава грешка. Най-накрая уседнаха в стромата на хлоропласт в едно голямо дружество, наречено „Скорбяла“. Тамош-

ната идеология беше просто да седят и да чакат.

Тези атоми най-накрая успяха да почувстват уют и спокойствие след толкова време на премеждия. Но това не продължи дълго. Компанията „Татул“ беше купена с всичката ѝ продукция, точни линии, капитал и служители от компанията „Овца“. Всички атоми, които работиха в „Татул“, всъщност бяха обнадеждени от поглъщането. След трудовия си стаж бяха убедени, че няма по-лоши работодатели от фирмите – тип „Растение“.

Поради хилядите възможности сдружението „Скорбяла“ се разцепи на малки глюкози още при влизането си във фирмата. Новите екипи се насочиха към различни цехове в предприятието. Нашият въглерод беше силен под тази си обединена форма до момента, в който бяха финансирани от две заможни АТФ молекули. Породиха се размирици и те отново станаха един голям ГАФ. Последва друго падение, когато екипът стана пирогроздена киселина.

Ведно с амбициите на нашия въглерод за успешна и единна група умря и фирмата. Това беше голям шок за всички служители. Настъпи разпад. След време капиталът на фирмата се оказа под нивото на Земята. Беше хаос и в този безпорядък, въпреки реформите, настъпи деградация. Нашият въглерод и неговата изгора – кислороден атом, заедно с няколко близки, успяха да се включат в едно по-пасивно откъм промени дружество с импозантното име „Бедрена кост“.

Запозна се с околните. Вече имаше за първи път нужната продължителна уседналост, за да вникне в личностите на други въглероди. След известно раз-

питване на различни атоми установи, че единици споделят почти или абсолютно същата участ като него. Имаше и други, чието ядро е белязано с чужд неутрон; такива, които са били азот преди много време; други, загубили втората си съпруга по същия начин; атоми с подобен неуспех в сдруженията и намирането на стабилен екип. Той не беше сам! Чувстваше се за първи път част от нещо специално. Той имаше много истински близки приятели, които бяха същите като него.

След 5700 години обаче половината от неговите приятели се бяха променили. Имаше нещо по-различно в тях. Започнаха да се държат някак си... по-азотски. Така близостта им прекъсна. След още 5700 години половината от останалите му приятели също се промениха. Те го напуснаха. След същия времеви порядък половината от верните му другари вече не му бяха такива. Предадоха го. След още 5700 години загуби още от тях. Забравиха го. А накрая се сбогува и с половината от най-драгоценните и насъщни свои приятели в рамките на още почти 6 хилядолетия. Дори тези, в които беше убеден, че винаги ще останат до него. Нашият въглерод бе съкрушен. Загуби толкова много близки. После си припомни, че до него все още гордо стои вярната му съпруга – кислороден атом, и около него все още има шепа верни приятели.

Отхвърли тъгата. Осъзна, че има прекалено много за какво да живее, за да се подава на някаква си скапана ядрена нестабилност. Продължи напред.

Неочаквано капиталът на отдавна умрялата фирма беше извлечен от подземията. Бяха отново на повърхността. Нещо висше ги намери, прецени, че са специални, и реши да възстанови изгубената им история, взимайки ги със себе си. След няколко дни мощен, ярък лъч прониза дружеството „Бедрена кост“. На един монитор се изписа „28 500 години“ и нашият въглерод и съпругата му, бяха освободени да се пенсионират в околното пространство. Това продължи, докато отново не се почувстваха самотно и изпитаха желание да станат част от нов импозантен проект.

Такава е тя, атомната амбиция!

А, ти?

Твоят живот все още си е сложен, съгласен съм. Дългове, принуди, обещания, молби на всеки ъгъл. Неспирна работа и винаги се оказва, че има още. Сложно и тежко е. Но май не е толкова смазващо това бреме. Защото всичко, което те заобикаля, изгражда и поддържа, си струва, за да даваш най-доброто от себе си.

Понякога най-големият смисъл е скрит там, където ти се струва, че няма никакъв смисъл.

Помисли!



ПОСЕТЕТЕ НАШИЯ САЙТ
wop.phys.uni-sofia.bg

НАНОТЕХНОЛОГИЯТА**

Наталия Колева
Научен ръководител: Нонка Байлова,
Национална търговско-банкова гимназия – София

Представката „нано“ означава една милиардна част, следователно един нанометър е равен на една милиардна част от метъра. Технологиите, които се занимават с наноразмерни обекти, се наричат нанотехнологии. Те се занимават с изследването на материали, които са незабележими за невъоръженото око.

Нанотехнологията представлява революционен напредък в науката и технологиите, който има потенциала да промени значително множество области на човешкия живот, включително медицината и електрониката. Тя предоставя възможности за създаване на иновативни материали, устройства и системи с невиджани до момента характеристики и функционалности, които могат да донесат значителни ползи за обществото. Въпреки този потенциал съществуват и предизвикателства и етични въпроси, свързани с развитието и приложението на нанотехнологиите.

Едно от най-страшните заболявания със сигурност е ракът, известен и като злокачествен тумор, който за съжаление не винаги е лечим. Злокачествените тумори се разпространяват в тялото и причиняват сериозни увреждания на клетките, като резултатът може да бъде фатален. Досега лечението на рака включваше терапии със значителни странични ефекти, които поставят

пациентите пред сериозни предизвикателства. Затова учените намират вариант за лечение, който предоставя желаните резултати без значителни увреждания върху субектите. Този съвременен вариант са умните хапчета.

Умните хапчета са капсули, оборудвани с наноразмерни устройства, проектирани да унищожават единствено раковите клетки, като избягват увреждане на здравите клетъчни структури в човешкия организъм. Това става благодарение на интелигентната конструкция на наночастиците, които имат способността да се свързват с туморните клетки по-ефективно, отколкото със здравите клетки, както и на техния специално програмиран алгоритъм, който ги насочва към раковите клетки, тъй като те имат специфични генетични аномалии или мутации, които също ги отличават. Това насочване се извършва чрез магнити извън тялото на пациента. След като капсулите достигнат до местоположението на тумора, те освобождават химичните вещества, съдържащи се в част от тях, които унищожават злокачествените клетки. Въпреки че този метод за лечение на рака все още е в процес на развитие, вече има публикувани научни изследвания с резултати от частично или напълно излекувани пациенти, подкрепяйки ефективността на този метод.

**Отлично есе във възрастовата група 9 – 12 кл. в Националния конкурс за есе „Физиката в моето бъдеще“.

Умните хапчета предоставят възможност за третиране на пациентите без необходимостта от пробождање или отваряње на тялото, което помага за избягване на следоперативни рани. Едни от тези рани са срастванията. Те представляват вътрешно неестествено сливане на кожа и органи. Тъй като те биват болезнени и не могат да бъдат премахнати, човек трябва да живее с постоянна болка до края на своя живот въпреки консумацията на болкоуспокоителни медикаменти, защото след време организмът се приспособява към съдържанието им и тяхното действие спира да му влияе. Използването на този вид лечение спомага за по-бързото възстановяване на страдащите от онкологичното заболяване, защото няма пряк достъп с кожата, съответно няма и кожно увреждане или слепвания. Ако при диагностициране на злокачествен тумор бъде предписана терапия, която включва операция и химиотерапия, пациентът би бил изправен пред решението да изтърпи болката, свързана с постоперативните травми, както и със страничните ефекти от химиотерапията, които включват гадене, косопад и постоянна умора, или да се примири с трагичния си край.

Естествено, при приема на капсулите биха се проявили странични ефекти като кожни обриви, проблеми с кръвното налягане или епистаксис, но те биха били свързани по-скоро с неудобството на движението на магнита около тялото, както и с отхвърлянето на чуждото тяло от организма. Също така биха се възприели по-лесно от пациентите, тъй като нямат физическо увреждане върху човешкото тяло за разлика от операциите и химиотерапията, която може да доведе

също и до трайни психологични проблеми на заболялия.

Въпреки своите положителни страни, умните хапчета имат и недостатъци. Единият от тях е начинът, по който те биват насочвани към туморните клетки чрез магнитно управление. Във всеки един момент присъства риск капсулата да бъде изпусната от магнита и да се насочи към здравите клетки, което може да предизвика ненужно увреждане на здравата тъкан. Другият недостатък се състои във възможността за погрешно програмиране на наноразмерното устройство, което може да доведе до неумишлено унищожение на здрави биологични единици.

Нанотехнологиите представляват революционен напредък не само в медицината, но и в ежедневието на хората. Всеки е гледал поне един филм за роботи и е мечтал да разполага с един. В близкото бъдеще тази мечта може да стане реалност благодарение на наноботите – технологични устройства или роботи с размери до десет микрометра. Съществуват теории, които предвиждат вграждането на тези „роботчета“ в ежедневни предмети, което би дало на хората неограничен достъп до киберпространството.

Една от вълнуващите идеи е вграждането на наноботи с камери и достъп до Интернет в контактните лещи. Въпреки че това може да изглежда като фантастика, вече е реалност в процес на развитие. Досега съществуващите изобретения включват очила със скрити камери, които записват с един допир до рамката, но все още не разполагат с възможността да се свързват към глобалните мрежи.

Лещите с вградени нанотехнологии

носят потенциал за използване в разузнавателни мисии или операции под прикритие. Вътрешният или разузнавателен агент би могъл да извлече полза от тях, когато трябва да предава информация на правителството или военните, без да бъде забелязан от врага. Освен това такива лещи могат да бъдат от полза и в областта на картографирането и военната стратегия, като предоставят цялостен образ и дават възможност за достъп до карти за местоположение или разпределение на военни сили. Това би представлявало известно предимство за държавите, които имат възможност да закупят или произведат такива устройства.

Въпреки своите положителни страни неограниченият достъп до виртуалното пространство може да бъде опасен. Вградените камери биха могли да записват всеки лик, който засегне окото, а наноботите да го качват мигновено в мрежовото пространство, където всяка една личност е застрашена от неправомерно използване. Това е така, защото всяко едно изображение, което бъде качено в Интернет, може да бъде използвано като оръжие само чрез няколко клика. Всеки пиксел от снимката съдържа данни, които чрез съвременният изкуствен интелект могат да бъдат манипулирани така, че да бъдат използвани за кражба на самоличността, изнудване или разпространение на фалшиви твърдения. Това би довело не само до световно недоволство и психични увреждания, но и в някои слу-

чай до физически.

Друг иновативен проект е вграждането на нанотехнологични сензори в дрехите с цел те да измерват физическите показатели на човешкото тяло и да дават съвременен статус за здравословното състояние на личността. Това изобретение би могло да има множество положителни аспекти, като например факта, че при използването му ще могат да бъдат засичани болести още в тяхното начално развитие и да се предприеме ранно лечение за по-надеждни резултати.

От друга страна, използването на технология за постоянно наблюдение на здравословното състояние на хората, може да породи етични дилеми относно личната свобода, правата на човека и конфиденциалността на медицинската информация. Също така навлизането на тези сензори в ежедневието може да бъде съпроводено със злоупотребяване с данните на личностите, като например изнудване, дискриминация или неправомерно следене.

В заключение, развитието на нанотехнологиите отваря нови хоризонти за иновации и научни открития. Въпреки потенциалните предимства, внимателното преценяване на етичните и социалните последици е от съществено значение. Необходимо е да се отдели специално внимание на защитата на личната неприкосновеност и конфиденциалността на данните при развитието и използването на тези технологии.

Източници:

- 1) Мичио Каку. Физика на бъдещето. Изд. БАРД, 2011.
- 2) <https://bg.wikipedia.org/wiki/Нанотехнология>
- 3) <https://percenta.bg/nanotechnology>
- 4) [https://bg.wikipedia.org/wiki/Пак_\(болест\)](https://bg.wikipedia.org/wiki/Пак_(болест))
- 5) <https://bg.wikipedia.org/Химиотерапия>

- 6) <https://petct.bg/razliki-mezhdu-rakovite-kletki-i-normalnite-kletki/>
- 7) <https://www.google.com/search?q=side+effects+from+smart+drugs+against+cancer&order=side+effects+from+smart+drugs+against+cancer&gs>
- 8) https://www.youtube.com/watch?v=F4WZ_k0vUDM&ab_channel=DeutscheTelekomArchiv

ФИЗИКА НА СВЕТЛИНАТА ***

Боряна Стоянова

Научен ръководител: Стоянка Хаджиева,
СУ „Гео Милев“ – Раднево, обл. Стара Загора

Кой от нас не намира красота в природата? И кой може да открие изкуството в звука на струните, в движението на атомите, в света на светлината, звездите, галактиките? Оказва се, че знанията, които имам по физика, могат да са ми от полза в ежедневието. Тази наука може да помогне на всеки да разбере света около себе си и да се реализира успешно в своята практика. Това е наука, която обича да отговаря на въпросите „Защо?“. *Защо небето е синьо? Защо Земята се върти? Защо се привличат и отблъскват заредените тела и магнити?* Всичко около нас е физика. Звучите са физика. Мълниите, безжичния интернет... Светлината също е физика. Но как се разпространява светлината и какви са нейните свойства, защо е съставена от различни цветове... – любимата тема! Защото светлината е едно невероятно явление, което прониква през всичко и всички и ни осветява всеки ден. Светът на светлината е необятен. Това е едно електромагнитно излъчване, зад което се крият много тайни и вълшеб-

ства. Ако се потопим в него, ще открием какво всъщност е светлината и какво можем да научим от нея. Великият учен Исаак Нютон първи прави опит за разлагане на светлината. Интересен опит: разлага сноп слънчева светлина, като я насочва към стъклена призма. В резултат бялата светлина се разлага на ивици с различни цветове. А причината за това е пречупването на светлината. В прозрачна среда (например стъкло) скоростта на светлината зависи от нейния цвят. Затова лъчите на различните цветове се пречупват различно. Така се образува и спектърът на светлината. Всъщност цялата Вселена е пронизана от светлината на милиарди звезди, галактики и други обекти. Ние обаче долавяме с очите си само една малка част от електромагнитните лъчения, които достигат до нас. Това е видимата светлина със своите седем цвята, всеки с различна дължина на вълната. Така най-впечатляващи се оказват явленията, свързани със свойството на светлината да се представя пред погле-

***Отлично есе във възрастовата група 5 – 8 кл. в Националния конкурс за есе „Физиката в моето бъдеще“.

да ни в различни краски. Впечатляващо! Любими за мен са светлинните явления, свързани с пречупване и отражение на светлината, нейното разлагане и способността и да претърпява пълно вътрешно отражение. Все процеси, които наблюдаваме ежедневно. Ето например, ако виждаме предмет под вода на езеро и с ръка искаме да го извадим, почти сигурно е че няма да го улучим, защото светлината се пречупва, а предметът ще изглежда по-близо, отколкото е в действителност. Опитите, които провеждаме в час по физика ме мотивират и ми дават възможност да разбера как протичат редица природни процеси. И днес пред мен са няколко колби, пълни с разтвори в различни цветове. Поставям ги на пътя на светлината. Подреждам ги така, че на белия лист да се образува красива дъга. В хода на експеримента променям ъгъла под който падат лъчите. Резултатът е впечатляващ! Едновременно с пречупването наблюдавам и разлагане на светлината на различни цветове. Фактът, че разтворите пред мен са обагрени, го свързвам със свойството им да поглъщат и отразяват светлина с точно определена дължина

на вълната.

Докосвам светлината! Тази енергия е жизненоважна и неизменна част от живота на първобитния човек, още с откриването на огъня. От древността тя е символ на доброто.

Знаем, че Слънчевата светлина е основен източник на енергия за екосистемите, най-вече при процеса фотосинтеза. А скоростта, с която се разпространява във вакуум, е най-голямата възможна скорост в природата, приблизително равна на 300 000 km/s.

Светът на светлината е наистина мащабен, интересен и полезен. А физиката може да бъде една учебна лаборатория, в която се поставят практически задачи, правят се интересни опити и се достига до изводи за значението и приложението на проведените експерименти. И ученето на физика ще ни помогне да си отговорим на много въпроси, свързани с новите технологии и устройства, които наблюдаваме ежедневно, и ще използваме на практика. А защо не и да постигаме успехи и да се гордеят всички, някой ден, с нашите постижения и открития в тази област!

СТАНЕТЕ НАШИ АВТОРИ

Може да изпращате статии за публикуване в списанието като прикачени файлове на адрес worldofphysics@abv.bg.

Броевете на списанието можете да намерите на сайта ни

wop.phys.uni-sofia.bg

Цвят и СВЕТЛИНА*

Боряна Стоянова

Поглъщане, отражение и пречупване на светлината. Още от малки се сблъскваме с тези явления. В часовете по физика научаваме, че при взаимодействие с вещество тя се и разсейва. Като различните среди разсейват по различен начин лъчите с различна дължина на вълната. Опитно в кабинета по химия подредих колби с цветни разтвори. Поставих ги на пътя на светлината. Резултатът е впечатляващ. Получи се красиво цветно съчетание. Но защо веществата имат различни цветове? Светлината която идва от Слънцето е смес от лъчения с различни дължини на вълната. Преминавайки през разтвор със син цвят се поглъщат жълтите, зелените и червените цветове, а до нас достига смес от останалите цветове. Червения цвят отразява червената светлина и поглъща останалите цветове. Ние виждаме отразената червена светлина. Разтворът на KMnO_4 поглъща зелените и жълто-зелените лъчи. Ние наблюдаваме виолетов и червено-виолетов цвят, които дават характерно оцветяване на KMnO_4 . Така че, цветовете на веществата се определят и от цвета на светлината, която те отразяват.

<http://upb.phys.uni-sofia.bg/conference/NK/52NK.html>

<http://upb.phys.uni-sofia.bg/conference/NK/52NK/24ФК-резултати.pdf>

*Снимка на корицата – класирана на първо място в Национален фотоконкурс'24 „Физика, хармония и феномени в природата“ според критерия „Описание с физични знания на заснетия обект“.

БЪЛГАРСКИ ИДЕИ ЗА ПРЕПОДАВАНЕ НА НАУКА, ТЕХНОЛОГИИ, ИНЖЕНЕРСТВО И МАТЕМАТИКА В ЕВРОПА

Ана Георгиева

Как можем да вдъхновим днешните ученици за важните теми на утрешния ден?



Десет учители от България ще дадат своите отговори на този въпрос по време на Европейския фестивал *Science on Stage* в Турку, Финландия, в средата на август. Събитието е най-голямото в Европа по рода си и очаква повече от 450 учители от цяла Европа.

В епоха, в която технологичният напредък продължава да оформя всеки аспект на развитие на обществото, значението на вдъхновяващото образование по наука, технологии, инженерство и математика (STEM) никога не е било по-ясно изразено. Признавайки ключовата роля, която учителите по STEM играят в това, инициативата с нестопанска цел *Science on Stage Europe* отбелязва най-отдадените преподаватели и техните изключителни идеи за преподаване по време на Европейския фестивал „Наука на сцената“. Фестивалът ще се проведе във финландския град Турку между 12 и 15 август 2024 г. и ще посрещне учители от начални и средни училища от 35 страни.

Участващите учители от България се класираха за фестивала със свои иновативни проекти в състезателна проява миналата година. В Турку те ще представят на другите участници своите ориентирани към практиката идеи чрез интерактивни щандове, семинари и акцентни сесии. Обхватът на техните проекти обхваща от:

„Зелена енергия от вода“ на Красимира Томева и Дияна Николова, учители по биология и химия в Професионалната гимназия по механоелектротехника (ПГ-МЕ) „Ген. Иван Бъчваров“ в гр. Севлиево, с водеща тема „STEM образование за устойчиво развитие“. Проектът засяга водородната икономика като екологична икономика. Неговата цел е да демонстрира използването на процеса на електролиза като възможност за получаване на водород и преобразуване на химическата енергия в електрическа. Той включва различни експерименти за производство на водород и експерименти с горивни клетки. Проектът е избран измежду 60 други предложения за представяне като работилница на Международния фестивал в Турку.

през

„Магическа лаборатория“ на Силвия Тодорова и Цанка Ненчева от детска градина „Радост“, Севлиево, с водеща тема „STEM за най-малките“. В рамките на проекта са използвани научни експерименти, които са лесни, достъпни и интересни за децата от детската градина.

Правят се експерименти с мляко, вода, светлина, използвани са ежедневни продукти и предмети, за да се демонстрира ефектът на статичното електричество, въвличат се децата в света на екологията и опазването на околната среда чрез изграждане на малка пречиствателна станция с подръчни материали. По лесен, забавен и интересен начин децата емпирично доказват наличието на примеси, определят качествения състав на млякото и млечните продукти. Така се получават знания за свойствата на водата и нейното взаимодействие с веществата и се показва как отразената светлина влияе на нашето възприятие.

до

„Оптични явления с евтини материали“ на Никола Каравасилев – учител по физика и астрономия в Първа частна математическа гимназия, с водеща тема **„Евтини експерименти в STEM обучението“**. Проектът е насочен към демонстриране на редица експерименти, илюстриращи различни оптични явления, преподавани в училищния курс по физика. Всички тези експерименти могат да бъдат извършени като се използват сравнително евтини и достъпни материали, които всеки може да намери.

Гордеем се с одобрения за представяне **съвместен проект „Микрохимията без граници“** в направление **„Евтини експерименти в STEM образованието“** на двама българи – Наско Стаменов от НПМГ „Никола Обрешков“ в София и Златина Иванова, понастоящем преподавател в началното училище „*Dragon School*“ в Оксфорд, Обединеното кралство. Златина беше член на нашата делегация на предишния Международен фестивал в Прага. Ето накратко съдържа-

нието на проекта: „Микрохимията без граници“, произтичащ от сливането на фокусирания върху учениците подход на Обединеното кралство и стратегическото използване на микромащабни експерименти, надхвърля националните граници, предлагайки модел за европейските преподаватели. Сравнителният анализ между образователните системи на България и Обединеното кралство служи като микрокосмос, разкриващ предизвикателствата и представящ гъвкава рамка за научно образование в международен мащаб. В основата му е неговата адаптивност към различни контексти, справяне с общи предизвикателства, пред които са изправени училищата с ограничени ресурси в цяла Европа. Изследването в микромащаб, изискващо минимални ресурси, се превръща в ръководство за преподаватели, които търсят ефективни стратегии, съобразени с ресурсите.

Най-добрите представени проекти ще получат Европейската награда за учители в STEM – „Особено изключителен проект“, и по-късно ще бъдат разпространени в международен план като курсове за обучение или учебни материали. По този начин *Science on Stage Europe* гарантира успешното международно разпространяване на идеите, така че възможно най-много преподаватели да могат да се възползват от тях.

Тази година фестивалът е под патронажа на г-жа Илиана Иванова, Европейски комисар по въпросите на иновациите, научните изследвания, културата, образованието и младежта, и се организира от *Luma-Centre Finland* и *Science on Stage Finland* в сътрудничество със *Science on Stage Europe*.

ГОЛЯМАТА НАУКА ПРЕЗ 21 ВЕК

IOP Publishing обяви издаването на нова електронна книга със заглавие „Голямата наука през 21 век: влияние върху икономиката и обществото“ (*Big Science in the 21st Century: Economic and societal impacts*).

Книгата е посветена на съществената роля, изключителните резултати и глобалното въздействие на голямата наука върху обществото и новите перспективи, които тя отваря при оценката на ползите за обществото.

Книгата разделена на 5 части:

Част I. За големите европейски научни организации.

Част II. Икономическо и иновационно въздействие на големи научни проекти.

Част III. Исторически погледи към голямата наука.

Част IV. Голямата наука в културата и образованието.

Част V. Картографиране на глобална перспектива за ролята на големите научни организации.



Есетата в тази книга са общо 58 на брой, като някои от тях са на свободен достъп. Целта е да се разгледат характера, механизмите и степента на въздействието на голямата наука върху различни сфери на обществото, както и да очертаят сложните реалности, които могат да се използват като насоки за вземане на решения за финансиране на съоръженията за голямата наука и възможностите за постигане на максимален ефект от използването им. Тъй като самата наука се е превърнала в обект на изследване и дебат отвъд научната общност, тези събрани есета имат за цел да подпомогнат диалога със съответните заинтересовани

страни (като учени, политици, изследователски мениджъри и индустрия) и да подчертаят сложната роля, която науката играе в съвременното общество.

Списъкът на авторите включва световноизвестни експерти с богати познания в областта и пряк опит в съоръженията на *Big Science*. В един-единствен том са включени множество гледни точки за социално-икономическите въздействия на Голямата наука. Специално внимание е отделено на възможностите за използване на най-добрите практики, извлечени от работата на големи научни организации, с цел да се вдъхновят изследователските мениджъри, както и

служителите по комуникациите, и за популяризиране на други големи научни проекти. Представеният преглед на различните начини, по които Голямата наука въздейства на нашето общество, отваря нови перспективи в мисленето за оценка на нейните ползи за обществото.

Колекцията от есета има също така за

цел да стимулира интердисциплинарни дискусии, с перспективата да предостави нови изследователски инструменти за измерване на въздействието на Голямата наука и създаване на връзки между икономисти, историци и тези, които работят в областта на науката и технологиите.

„Голямата наука“ е термин, използван от учени и историци на науката, за да опише промените в организацията и характера на много изследвания във физиката и астрономията, а по-късно и в биологичните науки, настъпили в индустриалните държави по време на и след Втората световна война. Голямата наука се характеризира с широкомащабни проекти и съоръжения, обикновено финансирани от националните правителства или международни агенции, в които изследванията се провеждат от екипи или групи от учени и техници. Някои от най-известните големи научни проекти включват съоръжението за физика на високи енергии CERN, космическия телескоп Хъбъл и програмата Аполо.

Терминът „Голяма наука“ се появява за първи път в статия от 1961 г. в списание *Science*, озаглавена „Въздействието на широкомащабната наука върху Съединените щати“ (*Impact of Large-Scale Science on the United States*), от физика и директор на Националната лаборатория в Оук Ридж Алвин Уайнбърг (*Alvin Weinberg*).

Литература

Big Science in the 21st Century: Economic and Societal Impacts, Editors Panagiotis Charitos, Theodore Arabatzis, Harry Cliff, Günther Dissertori, <https://iopscience.iop.org/book/edit/978-0-7503-3631-4.preview.pdf>

<https://www.britannica.com/science/Big-Science-science>

Alvin M. Weinberg, "Impact of Large-Scale Science on the United States". *Science*. 134 (3473): 161–164 (1961) doi:10.1126/science.134.3473.161

ХАРЕСАЙТЕ СТРАНИЦАТА НА СПИСАНИЕТО ВЪВ FACEBOOK
<https://www.facebook.com/world.of.physics.bg/>

Доц. д-р Валери Голев (1951 – 2024)

На 6 юни 2024 г., след кратко боледуване, почина доц. д-р Валери Голев – известен български астроном, дългогодишен преподавател, учен и популяризатор на науката.



Доц. Валери Голев е роден през 1951 г. в София. Част от екипа е на катедра „Астрономия“ от 1975 г. Ръководител на Катедрата е от 2003 до 2011 г. и заместник-декан на Физическия факултет на СУ – в периода 2011 – 2015 г.

Автор и съавтор на над 80 научни публикации в областта на извънгалактичната астрономия и виртуалната астрономическа обсерватория, доц. Голев публикува работата си в някои от най-престижните научни журнари. Участва в проекта *HyperLeda* на Лионската астрономическа обсерватория, съорганизатор е на Международна конференция в София по въпросите на виртуалните обсерватории, бил е участник и съорганизатор в десетки научни прояви, сред които са и ежегодните Национални конференции по въпросите на обучението по физика, организирани от Съюза на физиците в България. Автор и съавтор е на множество учебници по физика и астрономия, както и на научно-популярни статии и студии. До пенсионирането си през

2016 г. е бил председател на Комисията на олимпиадата по астрономия. Той е един от основателите и много години един от стожерите на лагер-школата по астрономия „Белите брези“ за любители-астрономи, ученици от цялата страна. Ментор на десетки млади астрономи, той беше един от запалилите най-много искри на желание за знание и постижения сред астрономическата общност.

В сътрудничество с Националния политехнически музей доц. В. Голев беше инициатор и съавтор на редица публикации и изложби, популяризиращи историята на Астрономическата обсерватория на нашата Алма Матер.

Бил е заместник-председател на Специализирания научен съвет по ядрена физика и астрономия на Висшата атестационна комисия. Участва в редколегиата на списание „Светът на физиката“, изда-



ние на Съюза на физиците в България, от 2002 до средата на 2014 г. Бил е заместник-председател на Съюза на физиците в България и член на Управителния съвет на Съюза на астрономите в България. В периода 2003 – 2006 г., когато проф. Иван Лалов е председател на Балканския физически съюз, доц. Валери Голев изпълнява функциите на неформален секретар на Съюза. Запален любител на научната фантастика, той е един от седемте основатели през 1974 г. на Клуба по фантастика и прогностика „Иван

Ефремов“ – сдружение на писатели фантасти и любители на фантастиката.

Беше етичен, позитивен, широко скроен човек, прекрасен медиатор в различни ситуации. За него приемствеността и общността значеха много.

Със своя аналитичен ум, ерудиция и последователност, със своите научни постижения, в които вложи труд и отдаденост, доц. Валери Голев вдъхнови няколко поколения български астрономи и остави значима следа в историята на българската астрономия.

Поклон пред светлата му памет!

Управителен съвет на Съюза на физиците в България

НА ВНИМАНИЕТО НА БЪДЕЩИТЕ ВЕЛИКОДУШНИ И ЩЕДРИ
СПОМОЩЕСТВОВАТЕЛИ НА „СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА“

Банкова сметка на СФБ:
IBAN: BG91FINV91501215737609
BIC: FINVBGSF
ПЪРВА ИНВЕСТИЦИОННА БАНКА

Корица: Цвят и светлина, автор: Боряна Стоянова, 8 кл., Средно училище „Гео Милев“, гр. Раднево – първо място в Национален фотоконкурс’24 „Физика, хармония и феномени в природата“ според критерия „Описание с физични знания на заснетия обект“. Описание на стр. 123.

НАШИТЕ АВТОРИ:

Сашка Александрова – проф. д.т.н., Технически университет, София;

Евгения Вълчева – проф. д.фз.н., Софийски университет „Св. Климент Охридски“;

Бойко Рангелов – проф. д-р, Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“;

Динко Динев – доц. д-р, Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика, Българска академия на науките;

Мария Калицова – доц. д-р, Институт по физика на твърдото тяло, Българска академия на науките;

Мария Тотева – 11 кл., Гимназия с преподаване на чужди езици „Ромен Ролан“ – Стара Загора;

Филип Фролошки – 12 кл., СУХНИ „Константин Преславски“ – Варна;

Наталия Колева – 9 кл., Национална търговско-банкова гимназия – София;

Боряна Стоянова – 8 кл., СУ „Гео Милев“ – Раднево, обл. Стара Загора;

Ана Георгиева – проф. д.фз.н., Съюз на физиците в България.

Фондация „Еврика“ е основана през 1990 година за подпомагане на даровити деца и млади хора при реализирането на проекти в областта на науката, техниката и управлението; подкрепа на младите новатори и предприемачи, разпространение на научни, технически и икономически знания; усъвършенстване на материалната база за научно и техническо творчество; подпомагане на обучението и специализацията, на международното сътрудничество в областта на науката и техниката.

Фондацията осъществява пет програми:

Таланти – Програмата има за цел издирването и развитието на надарени млади хора в областта на науката, техниката, технологиите и управлението. Чрез нея се подпомага обучението на талантливи младежи, подкрепя се участието им в научно-технически изяви, стимулира се провеждането на школи, летни университети и др.

Научни изследвания – Програмата има за цел да подпомага научните изследвания на младите учени във фундаменталните области на науката и по този начин да осигурява възможност за научна изява и развитие. Подкрепя финансово публикации на млади учени в реферирани списания с импакт фактор.

Информация, издания, изяви и международно сътрудничество – Чрез програмата „Информация, издания, изяви и международно сътрудничество“ се организират дейностите на фондацията, свързани с информационното осигуряване и разпространението на научно-технически знания сред младежта и децата, организирането на изяви за наука и техника, технологии и управление – конкурси, симпозиуми, семинари, кръгли маси, школи, научно-технически състезания, олимпиади, изложби, да насърчава международното сътрудничество на младите хора и техните организации в областта на науката, техниката, технологиите и управлението, както и да подпомага деловите им контакти със сродни организации в други страни.

Насърчаване на стопански инициативи – Чрез програма „Насърчаване на стопански инициативи“ се насочва и координира дейността на фондацията за стимулиране на създаването и внедряването на научно-технически идеи и разработки и други стопански инициативи на младежки колективи и търговски дружества на млади хора, както и на отделни младежи на възраст до 35 години.

Развитие – Програмата има за цел да подпомага ускореното развитие на съвместни дейности на програмна и проектна основа с международни, чуждестранни и национални организации и институции, в рамките на целите и предмета на дейност на фондацията.

За делови контакти: София 1000, бул. „Патриарх Евтимий“ No1
Тел: (02) 9815181; тел/факс: (02) 9815483
E-mail: office@evrika.org

СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА 2'2024 СЪДЪРЖАНИЕ

РЕДАКЦИОННО

НАУКА

- Е. Вълчева – Квантовите точки – десетилетия наред квантовите явления в наносвета бяха само предсказание
- Б. Рангелов – Сеизмична активност в Слънчевата система

НОВИНИ

- Д. Динев – Строи се най-мощният източник на неутрони

ГОДИШНИНА

- Лазера с пари на меден бромид – 50 години от изобретяването му
- М. Калицова – Лаборатория по електронна микроскопия и електронография в ИФТТ при БАН

МЛАДИ ИЗСЛЕДОВАТЕЛИ

- М. Тотева – Значение на лунните лавови пещери за бъдещи космически мисии
- Ф. Фролошки – Странстванията на въглерод-14
- Н. Колева – Нанотехнологията
- Б. Стоянова – Физика на светлината

ФИЗИКА И ОБЩЕСТВО

- А. Георгиева – Български идеи за преподаване на наука, технологии, инженерство и математика в Европа
- Голямата наука през 21 век

IN MEMORIAM

- Доц. д-р Валери Голев (1951 – 2024)

THE WORLD OF PHYSICS 2'2024 CONTENTS

EDITORIAL 65

SCIENCE

- E. Valcheva – Quantum Dots – for Decades, Quantum Phenomena in the Nanoworld Were just Predictions 67
- B. Rangelov – Seismic Activity in the Solar System 81

NEWS

- D. Dinev – The Most Powerful Neutron Source is Under Construction 91

ANNIVERSARY

- 50 Years since the Invention of the Copper Bromide Vapour Laser 98
- M. Kalitzova – Laboratory of Electron Microscopy and Electronography at ISSP – BAS 100

YOUNG RESEARCHERS

- M. Toteva – Importance of Lunar Lava Caves for Future Space Missions 108
- Ph. Froloshki – The Wanderings of Carbon-14 114
- N. Koleva – Nanotechnology..... 118
- B. Stoyanova – Physics of Light.... 121

PHYSICS AND SOCIETY

- A. Georgieva – Bulgarian Ideas for Teaching Science, Technology, Engineering and Mathematics in Europe 124
- Big Science in the 21st Century 126

IN MEMORIAM

- Assoc. Prof. Valeri Golev 128