



съюз на физиците
В БЪЛГАРИЯ

СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА

3'21

WORLD OF PHYSICS



С В Е Т Ъ Т Н А Ф И З И К А Т А

ТОМ XLIV, кн. 3, 2021 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, Игор Масляницын,

Михай Анастасеску,

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

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,

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

АДРЕС НА РЕДАКЦИЯТА:

Бул. „Джеймс Баучер“ №5,

1164 София

EDITORIAL OFFICE ADDRESS:

5, James Bouchier Blvd,

1164 Sofia

☎ 02 862 76 60

E-mail: worldofphysics@abv.bg

Предпечатна подготовка: Божидар Жеков

ISSN: 0861-4210

РЕДАКЦИОННО

От началото на 2020 г. обществото в цял свят преминава през един от най-сложните етапи в съвременната история. Пандемията от *COVID-19* постави множество неочаквани глобални предизвикателства пред обществото като цяло, пред институциите, и, в частност, пред учените, преподавателите, учениците и студентите. Много дейности бяха отменени или се наложи реструктуриране. След първоначалното стъписване осъзнахме, че за щастие тази криза дойде във важен момент от технологичното развитие. Имаме привилегията да живеем във взаимосвързано глобализирано общество, обединено чрез технологиите. Необходимостта от социалното дистанциране принуди учените, не само които се занимават с теоретични изследвания, но и тези, провеждащи сложни експерименти, да осъществяват управлението и контрола им от разстояние. Много от дейностите влязоха в нов ритъм. Научният живот продължава.

Преподавателите по света от всички нива преминаха към онлайн обучение, често при недостатъчна технологична поддръжка. Онлайн обучението изисква специални усилия, технически познания и практика, за каквато нямаше време. В научните списания и на конференции се обсъждат учебните планове и програми и прилагането на нови насоки за преподаване при преминаване към онлайн обучение.

В настоящия брой на „Светът на физиката“ публикуваме информация за проведената във Видин поредна 49 Конференция по въпросите на обучението по физика. Основна тема беше „Физиката в *STEM* образованието в средните и във висшите училища“. В материала за конференцията се говори за изнесени доклади и постери, проведени дискусии, направени заключения. Резултатите са публикувани в отделен пореден том, но там не се вижда огромната работа, труда и отдадеността на учителите и преподавателите, както и на организаторите на самата конференция, особено в условия на пандемия. Колегите от Видин осигуриха отличното провеждане в сложна програма на присъстващи и онлайн участници от цялата страна.

Според проф. Жан-Пиер Бургиньон (*Jean-Pierre Bourguignon*), Президент на Европейския научноизследователски съвет (*European Research Council*) от 2014 до 2019 г., „*Общоприета истина е, че технологичният прогрес изисква комбинация от фундаментални, т.е. породени от любознателност и инициатива изследвания, и приложни изследвания*“. Един истински пример в тази насока дава статията на акад. Н. Съботинов за реализацията на една физична идея от възникването ѝ, през етапите на развитие, ентузиазма и взаимодействието между учените, до практическите приложения и световната известност.

В разказа за постиженията в един от най-големите световни изследователски

центрове, основан преди 65 години, Обединения институт за ядрени изследвания в Дубна, член на който от самото му основаване е и България, освен мащабите и сложността на провежданите изследвания, прозират трудът, талантът и вдъхновението на учените от няколко поколения.

Знаете ли за времевите кристали, обекти, които проявяват свойства на кристали както в пространството (в трите му измерения), така и във времето? Самата идея за времеви кристали изглежда твърде екзотична, но от гледна точка на относителността е доста естествена: тъй като живеем в инвариантното пространство-време на Лоренц, защо да няма времеви кристали, както има обикновени кристали с подредба на атомите в пространството?

В настоящия брой ви представяме Филип Андерсън, гениален учен с основополагащи приноси в областта на квантовата теория на кондензираната материя, за което печели Нобелова награда през 1977 г. Негов принос е установяването на механизма, известен като механизъм на Андерсън-Хигс, който е ключов за Стандартния модел във физиката на елементарните частици. Андерсън е известен и с антиредукционистките си възгледи, които смело отстоява.

JEM-EUSO (Extreme Universe Space Observatory on Board Japanese Experiment Module) е международен проект, единствена по рода си космическа мисия за детектиране на гама кванти и неутрино с енергии до 10^{19} eV. Прочетете за проекта и за българското участие в него.

Обявени бяха Нобеловите награди по физика за 2021 г. За втора година в условията на пандемия няма да има официална церемония по награждаването в Стокхолм. Лауреатите ще получат отличия в своите страни.

В настоящия брой публикуваме извадки от есета на млади автори, както и две есета в пълен текст. В едно от тях се казва: „*Физиката е онова неопишимо приключение, което се стреми към пълно разбиране на връзките на цялото ни познато и все още непознато преживяване*“. Надяваме се участниците в Младежката сесия да запазят интереса си и може би един ден да станат наши колеги.

Приятни минути със „Светът на физиката“!

**ПОЗДРАВЯВАМЕ ПРОФ. НИКОЛАЙ ВИТАНОВ И
ПРОФ. АЛЕКСАНДЪР ДРАЙШУ
ЗА НОВИТЕ АКАДЕМИЧНИ ЗВАНИЯ**

Събранието на академиците избра чл.-кор. Николай Витанов за действителен член (академик) на Българската академия на науките.

Събранието на академиците избра проф. Александър Драйшу за член-кореспондент на Българската академия на науките.



Проф. Николай Витанов



Проф. Александър Драйшу

Проф. д.фз.н. Николай Витанов е водещ учен в света по квантова информатика и кохерентен контрол на квантови системи. Сред първите 2% на най-добрите учени в света според класацията на престижния Станфордски университет. В момента е заместник-ректор по научната и проектната дейност на Софийския университет. През 2014 г. е избран за член-кореспондент на БАН. Член е на Редакционния съвет на списание „Светът на физиката“.

Проф. д.фз.н. Александър Драйшу е водещ учен в областта на фотониката (нелинейна оптика, сингулярна оптика и оптика на свръхкъсите фемтосекундни импулси). Създава първата в България научна група по сингулярна оптика и школа по сингулярна и фемтосекундна фотоника. Ръководи Катедрата по квантова електроника във Физическия факултет на Софийския университет. Бил е декан на Физическия факултет два мандата. Председател е на Съюза на физиците в България.

Пожелаваме на избраните колеги здраве, енергия и ентузиазъм за по-нататъшни професионални постижения, творчески и лични успехи.

От Редакционната колегия на списание „Светът на физиката“

НОБЕЛОВИТЕ НАГРАДИ ПО ФИЗИКА ЗА 2021 Г.

**Кралската шведска академия на науките реши да присъди
Нобеловата награда по физика за 2021 г.**

„За новаторски принос към разбирането ни за сложни системи“,

като $\frac{1}{2}$ получават съвместно Шукуро Манабе от Университета в Принстън, САЩ, и Клаус Хаселман от Макс Планк Института по метеорология в Хамбург, Германия,

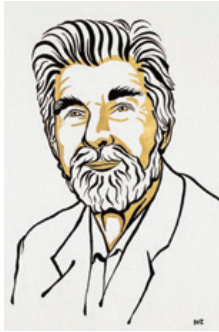
„За физично моделиране на климата на Земята, количествено определяне на изменчивостта и надеждно прогнозиране на глобалното затопляне“.

Другата половина получава Джорджо Паризи от Сапиенца Университета в Рим, Италия,

„За откриване на взаимодействието на безпорядъка и флуктуациите във физичните системи от атомни до планетарни мащаби“.



ШУКУРО МАНАБЕ
SYUKURO MANABE



КЛАУС ХАСЕЛМАН
KLAUS HASSELMANN



ДЖОРДЖО ПАРИЗИ
GIORGIO PARISI

През 60-те години на миналия век Манабе, занимавайки се с физика на атмосферата, ръководи работа по разработването на физични модели, които да включват вертикалния транспорт на въздушните маси поради конвекция както и скритата топлина на водни пари. За улесняване на тези сложни изчисления, той избира да редуцира мащабите до едномерен модел.

Десетина години след Манабе, Клаус Хаселман успява да свърже времето и климата, като намери начин да „надхитри“ бързите и хаотични климатични промени, които толкова затрудняваха изчисленията.

Около 1980 г. Джорджо Паризи представя своите открития за това, как привидно случайните явления се управляват от скрити правила. Започва да работи върху теория на фазовите преходи в твърди тела. Прилага методи на теория на полето от физиката на високите енергии до физиката на кондензираната материя, допринасяйки за развитието на теорията на спиновите стъкла. Неговата работа сега се счита за един от най-важните приноси в теорията на сложните системи.

На пръв поглед изследванията на Паризи са много различни от тези на Манабе и Хаселман. Общата нишка в тазгодишната награда е изследването на безпорядъка и флукуациите в сложните системи. При обявяването на наградата генералният секретар на Кралската шведска академия на науките Гьоран Хансон обясни: *„безпорядъкът, флукуациите и как безпорядъкът и флукуациите заедно, ако го разберем правилно, могат да доведат до нещо, което можете да предвидите“*.

Поради пандемията *COVID-19* няма да има церемония по награждаването в Стокхолм през 2021 г., а Нобеловите си медали ще бъдат връчени на лауреатите в родните им страни.

В разговор с журналисти минути след обявяването на наградата Паризи сподели, че в момента изучава динамиката на разпространението на *COVID-19*. Всъщност той е изследвал широк спектър от сложни системи и през 2007 г. е съавтор на публикация в *Nature Physics*, която идентифицира универсално поведение в динамиката на това как хората се регистрират за конференции и показва как може да се предвиди крайният брой посетители от ранните регистрации.



Церемонията по обявяване на Нобеловите награди.

БЪЛГАРСКИ НАУЧЕН ПРИНОС В РАЗВИТИЕТО НА ЛАЗЕРИТЕ С МЕТАЛНИ ПАРИ

Никола Съботинов

Лазерите с метални пари са клас газови лазери, които могат да генерират спектрални линии от ултравиолетовата, видимата и инфрачервената области на спектъра. Някои от този тип лазери излъчват много високи средни мощности в импулсен режим.

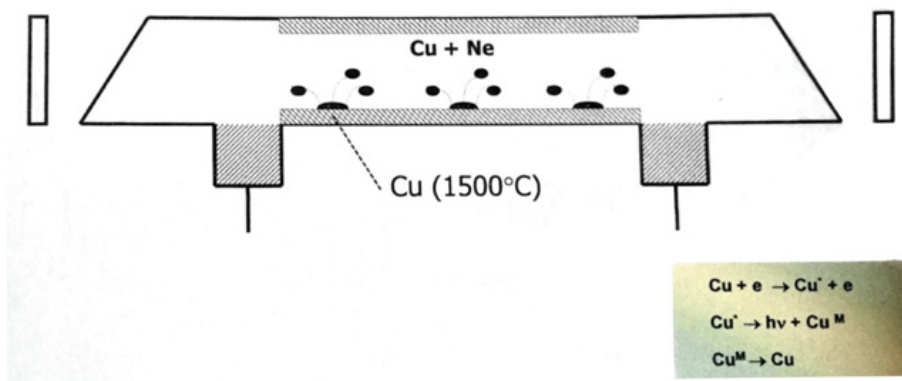
Началото на научните изследвания върху този вид лазери в България беше поставено през 1970 г., когато във Физическия институт на БАН Никола Съботинов пусна в действие хелий-кадмиев (He-Cd) лазер, генериращ линията 442 nm [1]. В Лабораторията по лазери с метални пари успешно бе реализирана генерация и на He-Se лазер. И двата лазера бяха създадени малко преди това от американски учени и ние продължихме тяхната дейност, водени от научни и технологични интереси. Изследвайки тези лазери, създадохме условия за получаване на комбиниран многовълнов синьозелен He-Cd-Se лазер. Добавяйки Ne в активната среда, реализирахме He-Cd-Se-Ne лазер, генериращ в синята, зелената и червената области на спектъра. Така бе пуснат в действие лазер на бяла светлина, с което предложихме едно ново решение за такъв лазер [2, 3]. До този момент от литературата ни беше добре известно за такъв „бял лазер“ при комбиниране на йонни лазери с благородни газове аргон и криптон.

Непрекъснатата лазерна генерация на йони на метали се реализира както в положителния стълб на тлеещ разряд, така и в отрицателното светене на разряд в кух катод и в напречен високочестотен разряд. И трите видове разряд бяха обект на наши научни изследвания за реализиране на лазерно действие на йони на Cd, Sn, Tl, Cu, Ag, Al, Hg, I. Като резултат от тези изследвания ние предложихме нов тип спирален високоволтов кух катод [4]. Този кух катод създава нова възможност за получаване на голяма концентрация на високоенергетични електрони, което води до ефективно възбуждане на йонните лазерни нива. Този катод използвахме за получаване на генерация на йони на Cd, Cu, Tl. В други лаборатории също проявиха интерес към този резултат и започнаха да използват спиралния кух катод [5].

По линия на проект на програмата на *NATO* „Наука за мир“ започнахме съвместни изследвания с учени от Германия и Полша върху He-Cd лазер, генериращ дължина на вълната 442 nm в условията на високочестотен напречен разряд [6]. Обект на научните ни изследвания бяха конструкцията на лазерната тръба, съгласуване на активната разрядна зона със захранващия високочестотен

генератор, оптимизиране на изходната мощност и получаване на генерация на линии на кадмиевите йони в синия, зеления и червения диапазони на спектъра. Проведени бяха изследвания за сравняване на условията на лазерна генерация в разряд с кух катод и напречен високочестотен разряд.

Един от най-известните лазери с метални пари – лазерът с медни пари (Фигура 1) е открит през 1965 г. от американския физик У. Уолтър (*W. Walter*). Той генерира във видимия диапазон на спектъра две линии – 511 nm и 578 nm [7]. Този лазер се утвърди като най-мощният и високо ефективен газов лазер във видимия диапазон на спектъра с големи възможности за разнообразни приложения.

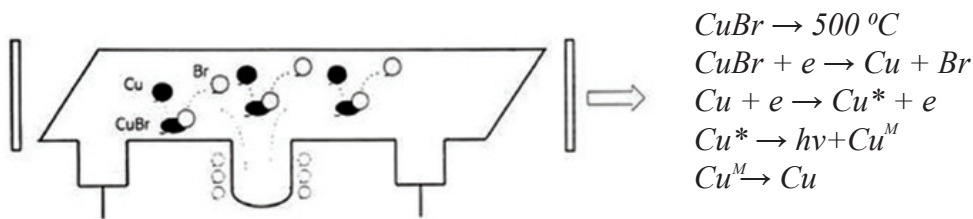


Фигура 1. Принцип на действие на лазера с медни пари

Един от основните проблеми за технологичното развитие на лазера с медни пари е високата температура на активната му среда – 1500 °C. Още в първата своя статия Уолтър изтъква това и предлага за неговото решаване да се използват съединения на медта, които се изпаряват при по-ниски температури, като в условията на импулсния разряд молекулите им дисоциират, а освободените медни атоми стават източници на лазерно излъчване. В тази насока през 1973 г. се появиха първите успешни експериментални резултати. Ц. Лио (*C. Liu*) и съавтори от лабораториите Уестингхаус (*Westinghouse Research Laboratories*) в САЩ докладват за лазерна генерация на медни атоми в пари на меден йодид [8]. Ц. Чън (*C. Chen*) и колеги от ракетната лаборатория *JPL (Jet Propulsion Laboratory)* в Пасадена, САЩ, съобщават за лазерна генерация в пари на меден хлорид [9].

В нашата лаборатория започнахме експерименти със съединението меден бромид. През април 1974 г. за пръв път реализирахме лазерна генерация в пари на меден бромид. В литературата не открихме съобщения от други автори за

лазерна генерация в такива условия и ние подадохме заявка за патентоване на резултата [10]. От този момент започнахме активни изследвания върху лазера с пари на меден бромид (Фигура 2).



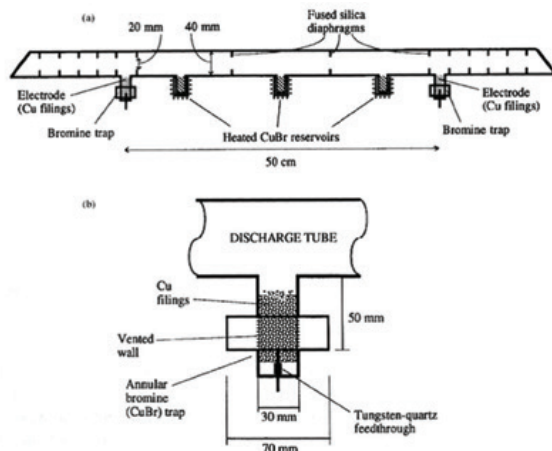
Фигура 2. Принцип на действие на лазера с пари на меден бромид

Лазерите с пари на медни халогениди се превърнаха в актуална теза за изследвания от учени в различни лазерни лаборатории по света като: К. Уеб (C. Webb) и Дж. Пайпър (J. Piper) от университета Оксфорд във Великобритания, Г. Петраш във Физическия институт на Руската академия на науките, проф. А. Мейтланд (A. Maitland) и Крис Литъл (Chris Little) от Университета Сейнт Андрюс, Шотландия. Израелски учени направиха сравнение между трите активни среди – меден бромид, меден хлорид и меден йодид. Резултатите показаха, че съотношението на изходните мощности между тях е 3:2:1 в полза на медния бромид [11].

Медният бромид се изпарява при 500 °C в кварцова разрядна тръба. Молекулите меден бромид дисоциират в условията на разряда с помощта на електронни удари. Освободените медни атоми също се възбуждат от електронни удари и се получава лазерно излъчване. За създаване на лазер с възможност за практическо приложение, нашите научни изследвания върху лазера с пари на меден бромид бяха насочени в три направления: 1. Повишаване времето на живот на лазерната тръба. 2. Стабилност на изходната мощност и 3. Висока изходна мощност.

По отношение на времето на живот ние проведохме много изследвания на причините, ограничаващи живота на тръбата. Установихме, че една от основните причини за съкращаване на времето на живот на затворена лазерна тръба е процесът на постепенно натрупване на свободен бром в нея. Отстранявайки тази причина, ние в различни експерименти постепенно постигнахме време на живот от 150 до 500 часа. Като краен резултат постигнахме рекордно време на живот на лазерната тръба от 1000 часа [12]. Тази конструкция на лазерната тръба (Фигура 3) е защитена с няколко международни патента. Максималната средна лазерна мощност при нея е 10 W, като е получена стабилност 1% на излъчената мощност в продължение на 8 часа работа.

В процеса на нашите изследвания подобрявахме непрекъснато условията, при които се получава лазерно действие. Това включваше по-чиста активна среда.

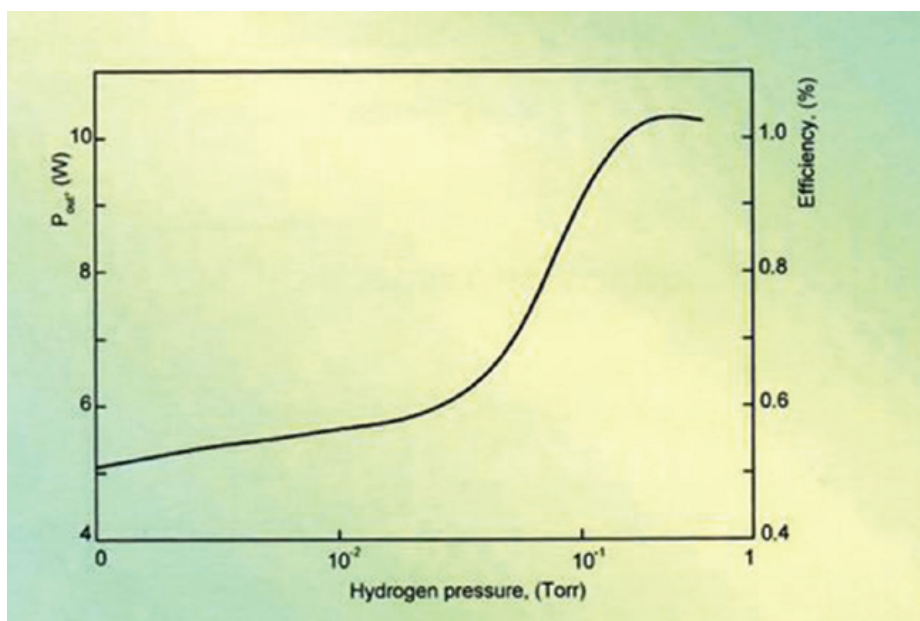


Фигура 3. Конструкция на газоразрядната тръба на лазера с пари на меден бромид, обект на международен и български патент

Колкото по-качествени правехме тръбите, като се стремяхме да направим по-чисти условия в газовия разряд, толкова повече лазерът намаляваше мощността си. Случваше се нещо, за което няхмахме обяснение. С дълбокото почистване на тръбата, за да живее по-дълго време, отстранявахме някакъв полезен примес в активната среда на лазера. При чисти условия, добавяйки малко примеси от водород с парциално налягане около 0,3 Torr, мощността на лазера скочи рязко – над 2 пъти. Ако лазерът е давал 5 W без нищо друго да променяме, добавяйки водород 0,3 Torr мощността се повишава до 10 W. Така открихме силния ефект на водорода в лазера с пари на меден бромид [13]. Проведените научни изследвания върху влиянието на водорода показаха промяна на неговите параметри на генерация. Най-същественото влияние е силното повишаване на мощността на лазера, както и на коефициентът на полезно действие – до 2 пъти. Постигната беше рекордно висока ефективност – близо 3,8%. Примесите от водород водят и до подобряване на радиалното разпределение на лазерното излъчване, което достига близо до Гаусовия профил. Наблюдава се увеличаване на честотата на повторение на лазерните импулси, която с лекота достига до няколко десетки килохерца. Един много важен момент, който бе установен, е че парциалното налягане на водорода има свой оптимум – около 0,3 – 0,4 Torr. Силният ефект на водорода (Фигура 4) има както практическо значение за създаване на мощни медни лазери, така и теоретично значение за изучаване на процесите на възбуждане на медните енергетични нива, участващи в процеса

на лазерна генерация. Нашите научни изследвания показаха, че с добавянето на водород значително нараства концентрацията на медните атоми в основно състояние и в същото време се понижава концентрацията на медните йони, което от своя страна води до по-ефективно заселване на горните лазерни нива.

След нашата първа публикация [13] за силния ефект на водорода през 1985 г. интересът към него нарасна. В Ливърморската лаборатория в САЩ например, където по него време се работи по един от големите проекти по използване на мощни медни лазери, прилагат открития при нас ефект на водорода [14]. За същите цели в Ядрения център в Тошиба, Япония, се използва този ефект на водорода.

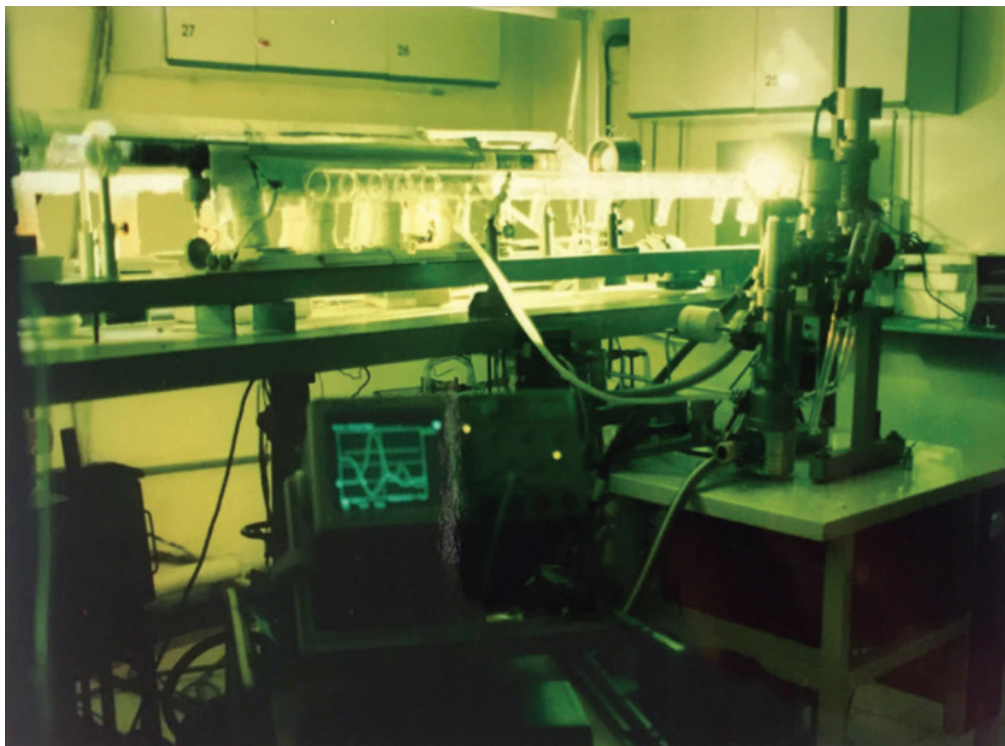


Фигура 4. Зависимост на средната изходна мощност на лазера с пари на меден бромид от парциалното налягане на примеси от водород в активната среда на лазера

Особено голям интерес към нашия резултат имаше от Университета в Сейнт Андрюс, Великобритания. В Лабораторията по медни лазери професорите Мейтлант и Литъл използват нашите резултати за генерация с меден бромид, както и за влиянието на примеси от водород в активната среда на лазера, и създават нов вариант на лазер, наречен „хибриден лазер“ (CuHyBrID). Този лазер е също нискотемпературен меден лазер и с него е достигната максимална средна изходна мощност до 300 W [15].

Нашите научни резултати по използване на медния бромид и силния ефект на водорода намериха също своето приложение и в работата на екипа от университета „Макуори“ (*Macquarie University*) в Сидни, Австралия, с ръководител проф. Джим Пайпър. Те получават меден лазер с висока мощност (над 150 W) и го наричат „кинетично обогатен меден лазер“ (*KECVL*) [16].

Откриването на ефекта на водорода създаде условие за изготвяне на мощен лазер с пари на меден бромид (Фигура 5). В началото на 90-те години, по финансиране на IV Рамкова програма на ЕС на тема: „Нова генерация за прецизна обработка на материали“ колектив от учени на България, Великобритания и Полша започна работа по създаване на мощен лазер. Така достигнахме рекордно висока мощност от 120 W [17]. По линия на програмата „Наука за мир“ на НАТО екип от наши учени и учени от Германия, Италия и Полша [18] създадохме мощна *MOPA* (*Master Oscillator Power Amplifier*) лазерна система с мощност 100 W. С помощта на тези проекти беше достигнат коефициент на полезно действие на лазера 3,8% при мощност на излъчването 100 W [19], също така беше получена рекордно висока специфична средна изходна мощност от 1,4 W [20].



Фигура 5. Експериментални изследвания върху мощни лазери с пари на меден бромид

При научните ни изследвания предложихме две нови електрически схеми (*IPC* и *IC*) за импулсно захранване на лазерната тръба. При тях се образуват взаимодействащи контури, в резултат на което се получава добро съгласуване между лазерната тръба и импулсното електрическо захранване. С помощта на тези схеми ние успяхме да реализираме висока средна изходна мощност и ефективност на CuBr лазера [21] (Фигура 6).



Фигура 6. Проф. Никола Съботинов показва в действие лазер с пари на меден бромид със средна мощност 40 W

В активната среда на меден бромид беше получена генерация в дълбокия ултравиолет на медните йонни линии: 248,6 nm, 252,9 nm, 260,0 nm и 270,3 nm в наносекунден импулсен надлъжен разряд. Постигната бе рекордно висока средна изходна мощност 1,3 W за четирите лазерни линии. За линията с дължина на вълната 248,6 nm беше получена максимална пикова мощност 3,25 W и максимална средна изходна мощност 0,85 W [22].

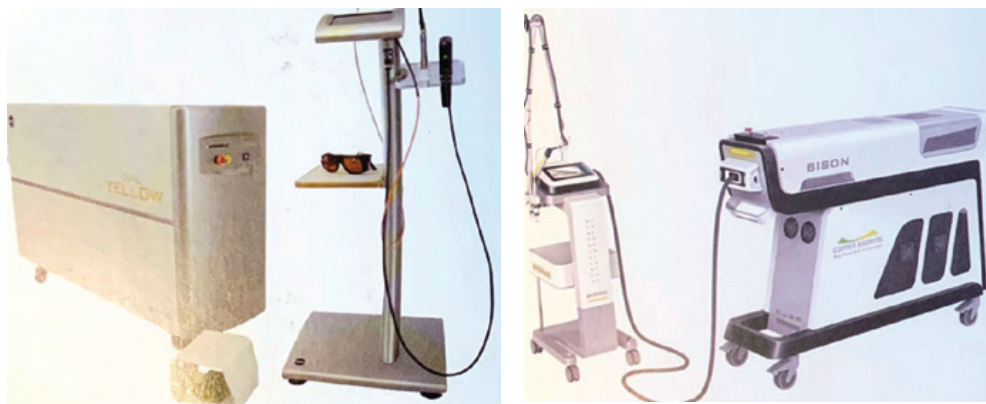
Първият трансфер за промишлено внедряване на лазера с пари на меден бромид е извършен през 1984 г. на основата на договор между ИФТТ – БАН и фирмата „Оптични технологии“ – Пловдив. През 1985 г. на Международния технически панаир в Хановер, Германия, беше демонстриран за първи път в чужбина българският лазер в действие. Втората българска фирма с основен предмет на производство лазера с пари на меден бромид е „Пулслайт“, основана през 1990 г. Фирмата „Пулслайт“, като резултат на сътрудничество с ИФТТ – БАН, започна производство на серия лазери с пари на меден бромид в диапазона от 1 W до 100 W. Фирмата извършва продажби на лазери в Европа, САЩ, Канада и др. страни по света.



Фигура 7. Промислена система за обработка на материали, производител „Пулслайт“ България

След успешно проведените научни изследвания в нашата лаборатория и патентоване на всички нови технически и конструктивни решения, ние предложихме лиценз на производство на CuVr лазера на някои световно известни фирми, производители на медни лазери. Най-успешни предварителни преговори бяха проведени с фирмата „Куентрон“ (*Quentron*), Австралия и „Метал Лейзър Текнолъджи“ (*Metal Laser Technology*), САЩ. Проведени бяха успешно предварителни експерименти и с двете фирми. И двете проявиха интерес за закупуване на лиценз за производство на лазера. Най-изгодни условия за производство на лазера ни бяха предложени от фирмата „Норселд“ (*Norseld*), Австралия, която се яви правоприменник на фирмата „Куентрон“. Впоследствие тя се наложи като най-мощният производител на лазера с пари на меден бромид за медицински и индустриални приложения. Впоследствие и

фирмата „Байсън“ (*Bison*) от Южна Корея предложи договор за производство на лазера с пари на меден бромид. Като резултат беше организирано съвместно производство между българската фирма „Пулслайт“ и южнокорейската „Байсън“.



Фигура 8. Медицински дерматологични системи на „Норселд“ – Австралия (а) и „Байсън“ – Южна Корея (б)

Лазерът с пари на меден бромид е една оригинална научна българска иновация, създадена в Института по физика на твърдото тяло към Българската академия на науките. Откриването на този лазер за първи път в света се осъществи през 1974 г. Лазерът с пари на меден бромид в Института по физика на твърдото тяло премина през всички етапи на неговото развитие: от изобретяването, през научните изследвания до индустриално производство в България и извън България. Лазерът с пари на меден бромид е оригинално постижение в областта на квантовата електроника и беше високо оценено от редица водещи учени от САЩ, Великобритания, Русия, Германия, Япония и Австралия [23].

И днес Лабораторията по лазери с метални пари продължава изследванията си на световно ниво, давайки нови ценни приноси по отношение на усъвършенстване на съществуващите и създаване на нови лазери. При лазера с пари на меден бромид е постигната рекордно висока средна изходна мощност – 140 W за линиите с дължина на вълната 510,6 nm и 578 nm [24]. Създаден е и нов лазер със стронциеви пари [25], генериращ в средната инфрачервена област със средна изходна мощност 29 W, която е над два пъти по-голяма от постигнатата до този момент при този тип лазери, включително и при тези с пари на стронциеви халогениди.

Литература

- [1] N. Sabotinov. Investigation of He-Cd Laser, operating at 4416 Å. Electrical Industry and Instrumentation („Electropromishlenost i Priborostroene“ – EP), 1, 1972, 21 (in Bulgarian).
- [2] N. Sabotinov and P. Telbizov. He-Cd-Se Gas Laser. IEEE Journal of Quantum Electronics, QE-9 (8), 1973, 857.
- [3] N. Sabotinov and P. Telbizov. Mixed gas laser of the three basic colors. Opto-electronics 6 (3), 1974, 185 (Letter).
- [4] M. Grozeva and N. Sabotinov. Coil hollow cathode for metal vapor lasers. Opt. Commun. 41 (1), 1982, 57.
- [5] H. Koch. Cu II laser with a helical hollow cathode discharge. J. Phys. E: Sci. Instrum. 16 (2), 1983, 122.
- [6] J. Mentel, N. Reich, J. Schulze, M. Grozeva, N. Sabotinov, and J. Mizeraczyk. Radio frequency excited CW gas ion lasers. Trans. IEE of Japan, 116-A (11), 1996, 964.
- [7] W. Walter, N. Solimene, M. Piltch, and G. Gould. Efficient pulsed gas discharge lasers, IEEE Journal of Quantum Electronics QE-2 (4), 1966, 474.
- [8] C. S. Liu, E. W. Sucov, and L. A. Weaver. Copper superradiant emission from pulsed discharges in copper iodide vapor. Appl. Phys. Lett., 23 (2), 1973, 92.
- [9] C. J. Chen, N. M. Nerheim, and G. R. Russel. Double-discharge copper-vapor laser with copper chloride as a lasant. Appl. Phys. Lett., 23 (9), 1973, 514.
- [10] N. V. Sabotinov, P. K. Telbizov, and S. D. Kalchev. Bulgarian Patent No: 28674, 1975.
- [11] S. Gabay, I. Smilanski, L. A. Levin, and G. Erez. Comparison of CuCl, CuBr, and CuI as lasants for copper-vapor lasers. IEEE Journal of Quantum Electronics, QE-13 (5), 1977, 364.
- [12] N. V. Sabotinov, N. K. Vuchkov, and D. N. Astadjov. Progress in CuBr lasers. CLEO'86 - Washington, DC, 1986, OSA Technical Digest (Optical Society of America) - Paper WE3, 1986, 160.

- [13] D. N. Astadjov, N. V. Sabotinov, and N. K. Vuchkov. Effect of hydrogen on CuBr laser power and efficiency. *Optics Commun.*, 56 (4), 1985, 279.
- [14] J. J. Chang, Pressure dependence of copper laser output characteristics. *Appl. Optics* 32 (27), 1993, 5230.
- [15] E. S. Livingstone, O. R. Jones, A. Maitland, and C. E. Little. Characteristics of a copper bromide laser with flowing Ne-HBr buffer gas. *Opt. Quantum Electron* 24 (1), 1992, 73.
- [16] M. J. Withford, D. J. W. Brown, and J. A. Piper. Effects of H₂ buffer gas additive on repetition rate scaling of a copper vapour laser. *Opt. Quant. Electron.* 26 (12), 1994, 1089.
- [17] D. N. Astadjov, K. D. Dimitrov, D. R. Jones, V. K. Kirkov, L. Little, C. E. Little, N. V. Sabotinov, and N. K. Vuchkov. Copper Bromide Laser of 120 W Average Output Power. *IEEE Journal of Quantum Electronics* 33 (5), 1997, 705.
- Project No. CIPA-CT94-0214: New generation lasers for high precision materials processing. Copernicus program of the European Community, 1995-1998.
- [18] Project No. SfP-972685: Development of a System Based on a High Power and High Efficiency Copper Bromide Laser for Precision Materials Processing, NATO Science for Peace program, 1999-2002.
- [19] N. Sabotinov, I. Kostadinov, H. Bergmann, R. Salimbeni, and J. Mizeraczyk. 50-Watt copper bromide laser, in XIII International Symposium on Gas Flow and Chemical Lasers and High Power Laser Conference, Proceedings of SPIE Vol. 4184, 2001, 203.
- [20] D. Astadjov, K. Dimitrov, C. Little, N. Sabotinov, and N. Vuchkov. A CuBr laser with 1.4 W/cm³ average output power. *IEEE J. Quant. Electron.*, 30 (6), 1994, 1358.
- [21] N. Vuchkov, D. Astadjov, and N. Sabotinov. Influence of the excitation circuits on the CuBr laser performance. *IEEE J. Quant. Electron.*, 30 (3), 1994, 750.
- [22] N. Vuchkov, K. Temelkov, and N. Sabotinov. UV lasing on Cu⁺ in a Ne-CuBr pulse longitudinal discharge. *IEEE J. Quant. Electron.*, 35 (12), 1999, 1799.
- [23] N. Sabotinov. *The Laser*. Prof. Marin Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, 2020.
- [24] I. Kostadinov, K. Temelkov, D. Astajov, S. Slaveeva, G. Yankov, and N. Sabotinov. High-power copper bromide vapor laser. *Optics Communications*, 501 (15), December 2021.
- [25] I. Kostadinov, K. Temelkov, S. Slaveeva, B. Ivanov, and N. Sabotinov. High-power single-tube Sr vapor laser oscillating in the mid-IR spectral range. *IEEE J. Quant. Electron.*, 57 (5), October 2021.

BULGARIAN SCIENTIFIC CONTRIBUTION TO THE DEVELOPMENT OF METAL VAPOR LASERS

Nikola Sabotinov

Metal vapor lasers are a class of gas lasers that can generate spectral lines in the ultraviolet, visible and infrared regions of the spectrum. Some of these types of lasers could emit at very high average powers in a pulsed mode. The present paper is focused on the history of studies and developments of that class of lasers in Bulgaria, noting the achievements of a Bulgarian scientific team in this field. The emphasis is put especially on the development of copper bromide vapor laser – an original Bulgarian invention which has passed all stages from the invention through research and development to its adoption in industrial production.

ВРЕМЕВИ КРИСТАЛИ: МИСТЕРИЯ ИЛИ РЕАЛНОСТ



Сашка Александрова

Във физиката не е нужно сами да си търсите проблеми – природата го прави вместо вас.

Франк Уилчек

При споменаване на „кристали на времето“ или „времеве кристали“, възникват асоциации със странни явления и възможности за обръщане на посоката на времето или пътувания в други загадъчни времена и светове. Наистина, времевите кристали ни предлагат пътуване, загадъчно и мистериозно, каквото само науката може да ни предложи.

Когато през 2012 г. се появи съобщението за това странно състояние на материята, фокусът на физичната колегия беше прикован към откритието на бозона на Хигс и Стандартния модел на елементарните частици и може би не всички учени и публиката му придадоха значението, което заслужава.

Учените са открили или създали различни екзотични състояния на материята, често носещи мистични и причудливи имена: свръхфлуиди, кондензати на Бозе-Айнщайн и неутронно-дегенерирана материя. Времев кристал може да звучи като важен детайл, който кара машина на времето да тиктака, някакъв футуристичен източник на енергия или може би артефакт на изгубена извънземна цивилизация. Но за учените времевият кристал всъщност е нещо по-специално: любопитство към законите на физиката.

Времевите кристали са обекти, които проявяват свойства на кристали както в пространството (в трите му измерения), така и във времето. Самата идея за времев кристали изглежда твърде екзотична, но от друга страна, е доста естествена от гледна точка на относителността: тъй като живеем в инвариантното пространство-време на Лоренц, защо да няма времев кристали, както има обикновени кристали с подредба на атомите (далечен порядък) в пространството?

За да разберем свойствата на времевите кристали, нека първо да забравим за четвъртото измерение – времето, и да разгледаме обикновения тримерен кристал. Какво представлява кристалът?

Кристалите в заобикалящата ни среда винаги са предизвиквали интереса на хората. Най-често ги свързваме с красивите им форми и блясък и най-вече с приложението им в бижутерията. Вероятно първото споменаване и описание на кристали е от времето на Древния Рим от Плиний Стари (I век от н.е.) в неговата „Естествена история“ (латинско заглавие „*Naturalis Historia*“), който

забелязал, че някои минерали имат определена форма. Други интересни кристали, описани отдавна от много учени от Алберт Велики до Йоханес Кеплер и Рене Декарт, са снежинките, които сякаш винаги са различни и никога не се повтарят. Алберт Велики ги описва като кристали, които се появяват, когато водата замръзва. През 1611 г. Кеплер дава първото математическо описание на кристалите в „Шестоъгълната снежинка“ (латинско заглавие „*Strena Seu de Nive Sexangula*“). Така работата му предшества фундаменталния за кристалографията „Закон за постоянството на ъглите“, формулиран през 1669 г. от Николаус Стено (*Niels Stensen*) и Роме д'Иле (*Romé de l'Isle*), според който в кристали от дадено вещество размерът и формата на стените, взаимните им разстояния и дори броят им могат да се променят, но ъглите между съответните стени и ръбове остават постоянни.

Понастоящем под кристали най-често разбираме термодинамично стабилни твърди вещества, чиято структура се формира чрез редовно повторение на градивните им елементи (атоми или молекули) в тримерен периодичен масив (кристална решетка). Ако плъзнем кристала на определено разстояние или го завъртим на определени ъгли, той съвпада сам със себе си. По този начин свързваме кристалите с подредена структура, като на пръв поглед изглежда, че са пример на възникваща симетрия. Всъщност е точно обратното. Кристалът възниква в резултат на нарушение на симетрията на пространството, атомите се подреждат в решетка под действието на заобикалящата среда – другите атоми или молекули.

Обикновено понятието „симетрия“ се свързва с равновесие и хармония. Във физиката и математиката симетрията има по-точно определение и играе важна роля в най-различни области на физиката от термодинамиката до света на елементарните частици. Може би най-поразителният пример за този ефект е самото съществуване на кристалните тела. Ако си представим хипотетична ситуация, когато атомите изобщо не си взаимодействат, тогава всяко вещество би било идеален газ, напълно хомогенен в пространството. Тази пространствена хомогенност е проява на факта, че законите, управляващи движението на атомите, имат симетрия: те не се променят с произволно преместване в пространството във всяка посока (транслационна симетрия). Между атомите обаче има взаимодействие и, ако то е достатъчно силно при сближаването им, то принуждава материята да се организира в периодична пространствена структура – кристал. Кристалът е симетричен по отношение на преместванията не на всяко разстояние, а само на съвсем определени стъпки в конкретни посоки. Можем да кажем, че първоначалната транслационна симетрия на пространството е била спонтанно нарушена и за това нарушаване е отговорно взаимодействието между атомите.

Пространството, заето от кристала, е станало периодично по някакъв алгоритъм. Кристалът е с нарушена пространствена симетрия, защото показва повтарящи се модели само в някои посоки. Ако отново разгледаме водата и снежинките, то ще видим, че преди водата да кристализира, пространството, което заема, е еднородно. Можем да вземем проба отдолу, отгоре или някъде в съда и да получим една и съща безформена маса, т.е. пространството проявява симетрия. Когато обаче водата кристализира, атомите образуват твърди предварително определени структури – снежинки.

Специфичните характеристики на кристалите пряко зависят от това как точно е нарушена симетрията: броят на електроните във външната обвивка на атомите, магнитните моменти, температурата – всичко това влияе върху взаимодействията между атомите и в крайна сметка определя свойствата на материала.

През 2012 г. лауреатът на Нобелова награда Франк Уилчек (*Frank Wilczek*) обобщава тези разсъждения за транслация във времето и разработва концепцията за **времени кристал**.

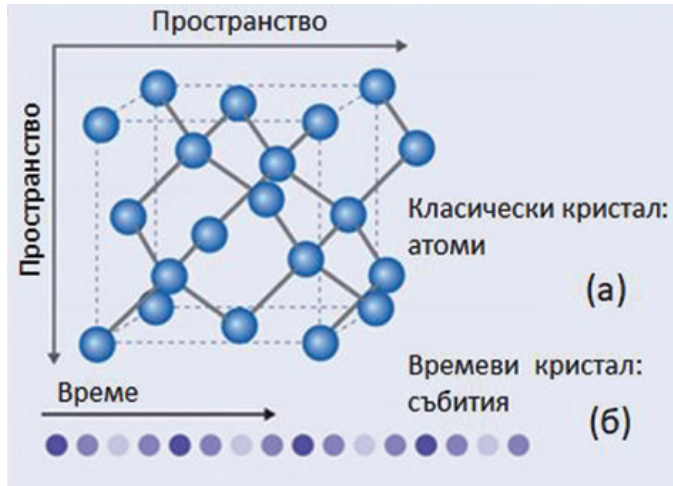
Дефиницията за кристал може естествено да бъде обобщена за четиримерното пространство, което изисква допълнителна инвариантност на системата



Франк Уилчек

при транслация във времето. За разлика от пространствените кристали, които повтарят своята структура при преместване в пространството, времените кристали периодично възпроизвеждат състоянието си с течение на времето. Отправна точка на това предположение е явлението **спонтанно нарушаване на симетрията**, което се среща често в природата. В този случай уравненията за движение са инвариантни, а симетрията се нарушава от най-ниското енергийно състояние на системата. Добре известни примери са класическите свръхпроводници, феромагнетиците, бозонът на Хигс (поради нарушаване на калибровъчните симетрии) и течните кристали.

Големите открития често се свързват със събития, които често се превръщат в легенди. За времените кристали историята е следната. Откривателят е Франк Уилчек, професор по физика в Масачузетския технологичен институт, носител на Нобелова награда по физика за 2004 г. „за откриването на асимптотичната свобода в теорията за силното взаимодействие“. През лятото на 2011 г. той подготвя курс лекции на тема „Приложение на симетрията във физиката“. Като най-добър пример възнамерява да говори за кристалите, когато го осенява идеята дали може да се създаде фаза на материята, в която атомите ѝ да се



Нарушаване на симетрията. (а) Обикновените пространствени кристали, като диамант, нарушават пространствената симетрия, тъй като не всяко положение е еквивалентно с всяко друго. Ако отместим решетката на произволно разстояние, тя няма да съвпадне с оригиналната решетка. (б) Кристалите на времето, от друга страна, нарушават симетрията при трансляция във времето.

Системата се променя, ако я отместим с произволно време, но се връща в първоначалното състояние на периодични интервали

движат по модел, който се повтаря във времето, а не просто в пространството. По-късно той разказва тази история: „Замислих се какви ли биха могли да бъдат възможните форми на кристали в повече от три измерения“. Обмисля идеята около година и през лятото на 2012 г. по време пътешествие през лятната ваканция споделя със съпругата си размислите си върху такива кристали. „Една вечер съпругата ми, Бетси Дивайн (*Betsy Devine*), ме помоли да обясня върху какво мисля и аз ѝ дадох малко храна за размисъл, преди да кажа „Те са като кристали, но във времето“. Тя каза: „Тогава трябва ги наречеш **времени кристали!**“. В края на разходката се почувствах достатъчно уверен в идеите и че мога да напиша нещо смислено и това и направих“.

През същата година той публикува 2 статии [1, 2]. Първата статия – „Квантови времеви кристали (*Quantum Time Crystals*)“, е посветена на възникването на спонтанно нарушение на симетрията при трансляция във времето в квантовата механика. Във втората статия – „Класически времеви кристали (*Classical Time Crystals*)“, се разглежда възможността класическите динамични системи да показват движение в състояние с най-ниска енергия, образувайки времеви аналог на кристален пространствен порядък.

За разлика от пространствените кристали, които повтарят структурата си при пространствени трансляции, „времевите кристали“ периодично възпроизвеждат

състоянието си с течение на времето. В пространствените кристали обикновено се питаме как системата се държи или как е структурирана в пространството в даден момент от времето. Във времевите кристали ни интересува как се държи системата във времето, когато се фокусираме върху нейния външен вид в дадена позиция в пространството. Пространствените кристали могат да притежават множество много различни и полезни свойства: те могат да бъдат изолатори, проводници и дори свръхпроводници. Можем ли да осъзнаем еквивалента на такива явления във времевото измерение?

Статиите на Уилчек предизвикаха вълна от изследвания и бурни спорове. Идеята е повече от странна и почти никой не я разбира. Всъщност предложеният модел се оказва грешен. Това е така, защото в термодинамиката в ансамбъл от голям брой частици, за да се сведе до минимум енергията, квантовите частици предпочитат да спрат, вместо да се движат. Така е трудно да се разбере как частиците могат спонтанно да проявяват периодично движение във времето чрез процес на самоорганизация, както правят в пространството, докато остават в равновесие в състояние с възможно най-ниска енергия, т.е. не се движат.

Оказа се, че за съжаление не е възможно да се създаде „времеви кристал“ в равновесна система. Три години след статията на Уилчек от 2012 г. теоретичите Харуки Ватанабе (*Haruki Watanabe*) и Масаки Ошикава (*Masaki Oshikawa*) [3] доказват теорема, съгласно която създаването на времеви кристал в основно състояние с най-ниска енергия е невъзможно. Ако една система попадне в състояние с минимална енергия, тя остава в него неограничено време, а ако го напусне, губи своята периодичност във времето. Такъв феномен може да съществува само в небалансирана, неравновесна система. Въпросът изглежда приключен.

Въпреки че първоначалната концепция на Уилчек за времевите кристали като материали, които показват спонтанна времева периодичност, не се потвърждава, се оказва, че е възможно да се създаде вариант на това, което той е имал предвид, като системата се изведе от равновесие.

Странната концепция за времевите кристали понастоящем от 2017 г. е отново на мода вече и от експериментална гледна точка.

Времевите кристали притежават свойства, които не се проявят в нито едно друго вещество и противоречат едновременно на няколко фундаментални физични закона – във всеки случай така изглежда на пръв поглед.

Обикновената материята, когато е неподвижна в състояние на покой, има потенциална енергия, само докато тя не се превърне в кинетична енергия. Например, една топка в покой има „потенциална енергия“, а при падане тази енергия се превръща в „кинетична енергия“, енергията на движение. Времевите кристали в действителност се движат в „състояние на покой“ или „основно

състояние“, когато атомите имат най-малко количество енергия. Те са като топка, която винаги е в движение. С други думи, те винаги са нестабилни чак до атомно ниво. Това е **първата неравновесна материя**, създавана някога! На практика това означава, че те демонстрират така наречената времева периодичност, колебаеща се между една и друга енергийна конфигурация, като часовник. Най-простият аналог на такъв кристал би могло да бъде идеално махало, ако трептенията му не затихват с времето. При часовника стрелките консумират енергия и спират, когато батерията се изтощи или пружината се разви. Времевият кристал на Уилчек не изисква енергия и движението продължава безкрайно, тъй като системата е в своето най-стабилно равновесно състояние.

Тогава връщаме ли се към идеята за перпетуум-мобиле? Както знаем съществуването на вечен двигател науката официално признава като невъзможно още в XVIII в. Парижката академия на науките престава да приема и разглежда проекти за такъв двигател в 1775 г. „поради очевидната невъзможност за неговото създаване“.

Дали противоречието с законите на запазване е само илюзорно, както неведнъж се е случвало с нови открития? Да си спомним откритието на неутрино, когато експериментални факти при изучаването на бета-разпада са могли да бъдат интерпретирани като нарушение на закона за запазване на енергията, който е основен закон във физиката. Изходът от този парадокс изглеждал разрешим, ако се предположело, че от ядрото излита още някаква частица, която не се регистрира от уредите и която отнася част от енергията при разпадане на атомното ядро. Волфганг Паули изказва такава хипотеза през 1931 г., но тя изглеждала толкова невероятна, че той дори не я публикува до 1934 г. Той нарича частицата „неутрон“, но по предложение на Енрико Ферми е наречена „неутрино“ след открития вече неутрон.

При времевите кристали има преход от едно състояние в друго и обратно без при това да се губи енергия. Въпреки че кристалът показва вечно движение, това движение не произвежда енергия. Вечното движение има прецеденти в квантовия свят. Свърхпроводниците могат да поддържат електричен ток без никакво приложено напрежение вечно без да среща съпротивление. При тях обаче пространствената симетрия не е нарушена и те не съответстват на определението за времеви кристали.

Времевите кристали поставят и една друга загадка. Те са едновременно стабилни и непрекъснато променящи се. Отклоняват се от Втория закон на термодинамиката [4, 5], съгласно който в затворени системи безпорядъкът винаги нараства. Такъв кристал представлява многочастична система във възбудено състояние, която не се връща в стабилно състояние с най-ниска енергия на атомите за съответната среда (не достига до термично равновесие с максимална

ентропия), но остава стабилна и строго подредена на високоенергетично ниво.

Освен несъмнената концептуална стойност, времевите кристали, реализирани на практика, ще бъдат полезни за изучаване на многочастични проблеми и други квантови явления. Засега за приложения говорим в бъдеще време. Те могат да се използват например в метрологията за създаване на по-точни измерителни устройства и подобряване на атомните часовници, жироскопите и *GPS*. Също така се предполага, че кристалите на времето могат да се използват за квантова обработка на информация и създаване на мощни квантови компютри. Всичко е в рамките на надеждите и мечтите и може би ще отнеме десетилетия.

Изследванията обаче си струват. „Нещо толкова стабилно като кристалите на времето, е необичайно. А необичайните неща стават полезни“, счита професор Родерих Моеснер, (*Roderich Moessner*) директор на Макс Планк Института по физика на комплексните системи в Дрезден, Германия (*Roderich Moessner, Max Planck Institute for the Physics of Complex Systems in Dresden, Germany*). Освен това според Ксяо Ми от Гугъл Изследователския център в Маунтън Вю, Калифорния, САЩ (*Xiao Mi, Google Research, Mountain View, CA, USA*) явлението „времеви кристали“ е толкова невероятно, че самото то заслужава изследване без всякаква практическа цел“, уверява той. „Все още толкова малко е известно за състоянията, в които веществото може да излезе извън термично равновесие“.

Може би изследванията на нарушената симетрия при времевите кристали ще дадат отговори и на фундаментални въпроси във физиката. Така например, според Четан Наяк, директор на *Microsoft Station Q* в *Santa Barbara, California*, и професор във Факултета по физика в *University of California, Santa Barbara*, кристалите на времето хвърлят светлина върху самата природа на времето [6]. Айнщайн вплете тримерното пространство и времето в четириизмерна тъкан – пространство-време. Но колкото и да се опитваме да третираме времето просто като едно от измеренията, със своята еднопосочност то си остава като нещо различно, аутсайдер в четворката. Едва сега, с нарушението на симетрията във времето, както става с нарушението в пространствените кристали, времето се поставя наравно с другите 3 измерения. Може ли постулираната циклична еволюция на Вселената да се разглежда като проява на спонтанна нарушена симетрия, подобна на тази на кристала във времето? [7].

През 2017 г. за първи път структури на кристали на времето бяха получени експериментално на базата на неравновесни системи [8]. Оттогава изследванията продължават с неотслабващо темпо. Няколко статии се появиха и в последните месеци. Засега на арената остават фундаменталните изследвания.

Понякога се случва физична идея да възникне на „върха на перото“ като теоретично предсказание и да се потвърди експериментално след години. Такъв

е случаят с кондензата на Бозе-Айнщайн, описан през 20-те години на ХХ век и открит 70 години по-късно, получавайки Нобелова награда за 2001 г. Друг известен пример е първата античастица – позитронът, предсказана от Пол Дирак през 1930 г. и открит още през 1931 г. от Карл Андерсън, за което той е удостоен с Нобелова награда по физика за 1936 г. Съвсем скоро се случи историята с Франк Уилчек, който през 2012 г. предположи съществуването на кристалите на времето. Експериментални потвърждения вече има. Дали откритието на времевите кристали ще му донесе втора Нобелова награда?

Кой е Франк Уилчек?

Франк Уилчек е физик-теоретик, автор и интелектуален авантюрист. Той е получил много награди за своята работа, включително Нобелова награда по физика през 2004 г. Уилчек е направил основополагащи приноси към физиката на елементарните частици, космологията и физиката на материалите.



Неговите теоретични изследвания понастоящем включват работа по аксиони (хипотетична елементарна частица, постулирана теоретично през 1977 г. за разрешаване проблем на зарядовата четност в квантовата хромодинамика, те са от интерес като евентуален компонент на студената тъмна материя), аниони (*anyons* идва от *anything-goes*) – трета категория частици след бозоните и фермионите, отнасят се само за двумерни системи) и времеви кристали. Това са концепции във физиката, които той пръв въвежда. Всяка от тях даде направления и се превърна в основен фокус на световните изследвания.

Той е автор на няколко известни книги и има ежемесечна рубрика „Вселената на Уилчек“ за *Wall Street Journal*. Неговата последна книга „Основите“ (*Fundamentals*) излезе през януари тази година.

През 2004 г. Франк Уилчек печели Нобелова награда за откриването на асимптотичната свобода в теорията на силното взаимодействие. Атомното ядро се държи заедно чрез мощно силно взаимодействие, което свързва протоните и неутроните, които се съдържат в ядрото. Силното взаимодействие също задържа кварките, които съставляват протоните и неутроните. Това взаимодействие е толкова силно, че не са наблюдавани свободни кварки. Въпреки това, през 1973 г. Франк Уилчек, Дейвид Грос, и Дейвид Полицер развиха теория, постулирайки, че когато кварки се приближават близо един до друг, привличането отслабва и те се държат като свободни частици. Това се нарича асимптотична свобода.

Литература

- [1] Frank Wilczek, Phys. Rev. Lett. 109 160401 (2012)
- [2] Alfred Shapere, Frank Wilczek, Phys. Rev. Lett. 109 160402 (2012)
- [3] Haruki Watanabe, Masaki Oshikawa, Phys. Rev. Lett. 114 251603 (2015)
- [4] Xiao Mi et al., arXiv:2107.13571v2
- [5] Vedika Khemani, Roderich Moessner, S. L. Sondhi, arXiv:1910.10745v1
- [6] Norman Yao, Chetan Nayak, Physics Today 71 40 (2018)
- [7] Jakub Zakrzewski Physics 5, 116 (2012)
- [8] J. Zhang, P. Hess, A. Kyprianidis, et al., Nature 543, 217 (2017).

Допълнителна литература

<https://www.quantamagazine.org/first-time-crystal-built-using-googles-quantum-computer-20210730/>

<https://konkir.ru/articles/tehnologii/chetvertoe-izmerenie-cto-takoe-kristally-vremeni>

<https://medium.com/the-infinite-universe/heres-how-time-crystals-really-work-b487fbc03523>

TIME CRYSTALS: MYSTERY OR REALITY

Sashka Alexandrova

Temporal crystals are objects that exhibit the properties of crystals both in space (in its three dimensions) and in time. The very idea of time crystals seems too exotic, but on the other hand, it is quite natural in terms of relativity: since we live in Lorentz invariant space-time, why not have time crystals, as there are ordinary crystals with an arrangement of atoms (distant order) in space?

НАЦИОНАЛНА НАУЧНА ПРОГРАМА ЗА КОСМИЧЕСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ, ТЕХНОЛОГИИ И ПРИЛОЖЕНИЯ

През 2019 г. група ентузиазирани изследователи предложи на Министерство на образованието и науката проектно предложение за Национална научна програма за Космически изследвания, технологии и приложения. Проектът така и не получи зелена светлина по политически съображения, но в резултат на усилията които положихме тогава възникна клон „Космос“ към Съюза на физиците в България, чиято целта е да съхрани и реализира идеите на Програмата. Тази година клон „Космос“ организира за втора поредна година Националният форум за съвременни космически изследвания (НаФСКИ). Проведохме и Първото международно докторантско училище за Космически изследвания, технологии и приложения – инициативи, които бяха залегнали в проектното предложение за Националната научна програма. За двете събития може да прочетете в настоящето издание, рубрика „Новини“. В този и следващите няколко броеве на Светът на физиката ще представим дейностите от работните пакети на ННП „Космически изследвания, технологии и приложения“.

Серията от работи ще започнем с описание на проектните предложения за детектиране на високоенергетични гама кванти с космически произход.

СТА: В ПРЕСЛЕДВАНЕ НА НАЙ-ВИСОКОЕНЕРГЕТИЧНИТЕ СЪБИТИЯ ВЪВ ВСЕЛЕНАТА

Стефан Лалковски, Евгени Овчаров

СТА (Cherenkov Telescope Array или „Масив от Черенковски телескопи“) е модерна наземна обсерватория от ново поколение, която ще бъде използвана за изследване на високоенергетично космично лъчение. Понастоящем обсерваторията е в процес на изграждане от многонационален консорциум, в който участват над 1500 изследователи от 200 институции в повече от 30 страни, в т.ч. и от България. Бюджетът за реализирането на проекта надхвърля 300 млн. евро и когато изграждането бъде завършено в Северното и Южното полукълба ще бъдат разположени над 100 Черенковски телескопи. По идея *СТА* ще бъде най-голямата и най-чувствителна обсерватория за високоенергетични космични гама-кванти в света, способна да регистрира лъчение с енергия от 20 GeV до 300 TeV. Всъщност концептуалният дизайн на обсерваторията е направен още през 2005 г. и е базиран на технологиите на настоящите наземни детектори за

високоенергетични гама кванти *MAGIC*, *HESS* и *VERITAS*. Обсерваторията е в процес на изграждане и се очаква да бъде напълно построена до 2025 г., но научни наблюдения с прототипи и демонстратори на детекторната система са планирани още за 2022 г.



Принципът на действие на обсерваторията се базира на детектиране на Черенковски фотони. Високоенергетичните гама кванти, които *СТА* ще наблюдава, не достигат земната повърхност. При навлизане във високите слоеве на атмосферата те взаимодействат с нея, което поражда порой от субатомни частици, които се движат със скорости, по-високи от скоростта на светлината в тази среда.

Ефектите, които се наблюдават при движение в среда на заредени частици със свръхсветлинни скорости, са отдавна известни и изучени. Възможността за проникването на високоенергетични заредени частици в атмосферата е съпроводено с излъчване на синкава светлина, подобна на сиянието, което се излъчва във водните басейни около ядрените реактори на електрическите централи. Това лъчение се нарича Черенковско лъчение и е открито от съветския учен Павел Черенков през 1934 г. Поради ултрависоките скорости пороят от космически заредени частици се развива за около 1 милиардна от секундата и е твърде блед, за да бъде забелязан от човешкото око, но не и за *СТА*. Детекторите на *СТА* не само ще могат да наблюдават Черенковското лъчение, но с помощта на получените данни ще може да бъде реконструирано всяко събитие. Това ще позволи определяне на енергията на лъчението и неговия произход. Обсерваторията ще наблюдава гама-кванти, излъчени от едни от най-високоенергетичните събития във Вселената.

Тъй като *СТА* ще работи в широк енергетичен диапазон, ще бъдат използвани три вида детектори с различен диаметър. *LST* телескопите (*Large-Sized Telescope*) ще са с диаметър на огледалото 23 m и ще служат за регистриране на гама-кванти в нискоенергетичната част на обхвата на обсерваторията. Огледало с параболична форма и диаметър от 23 m ще фокусира Черенковските фотони в

матрица от фотоумножители. Един *LST* телескоп с цялата крепежна структура тежи 50 t. Въпреки това, телескопът ще може да бъде насочван към даден обект и преориентиран за 20 секунди. Основният тип телескопи в *CTA* ще бъдат със средни размери – това са т.нар. *MST (Medium-Sized Telescope)* с диаметър на огледалото 12 m. Телескопите *SST (Small-Sized Telescope)* пък ще детектират най-високоенергетичните гама-кванти с произход извън нашата галактика и енергии до 300 TeV.

Към момента българското участие в проекта *CTA* е подкрепено от Националната пътна карта за научна инфраструктура. През следващия програмен период се очаква да бъдат предоставени нови възможности за развитие, така че България да има шанс да заеме видима позиция в рамките на проекта *LST*, който е част от *CTA*. Плановите на българския екип от катедра „Астрономия“ на Физическия факултет на СУ „Св. Климент Охридски“ са свързани с участие в наблюдения и анализ на данни от *CTA*, както и с изграждане на нов оптичен телескоп на Плана, който ще бъде синхронизиран със *LST/CTA*. Географското разположение на България предоставя уникална възможност. Тъй като страната се намира на изток от *CTA*, новият оптичен телескоп може да бъде използван като един от тригерите на Черенковската обсерватория. Това ще позволи данните от САО „Плана“ да бъдат използвани като съществен елемент от редовните наблюдения с *LST/CTA*. По този начин българската астрономична общност ще продължи активно своето участие в една от водещите наземни обсерватории на бъдещето.



Поколение, което твори!

<https://photonics.bg/>

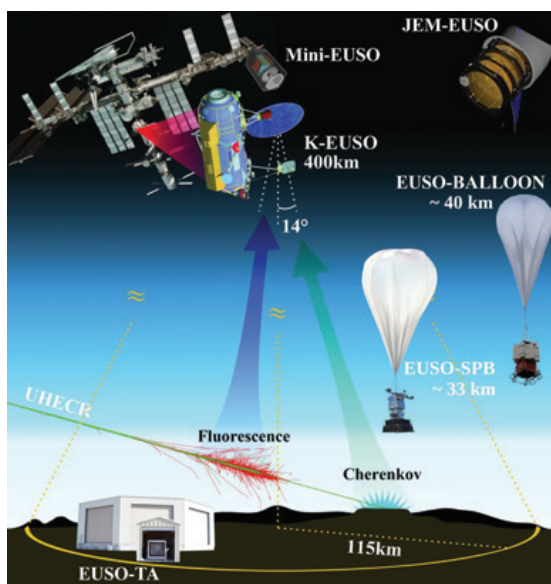
JEM-EUSO България

Галина Ванкова-Крилова, Стефан Лалковски

JEM-EUSO (*Extreme Universe Space Observatory on Board Japanese Experiment Module*) е международен проект на японската космическа агенция *JAXA* и Националната японска лаборатория за ядрени изследвания *RIKEN*, в които участват над 300 учени от 97 институции в 16 страни, сред които и България.

JEM-EUSO е единствена по рода си космическа мисия за детектиране на гама кванти и неутрино с енергии до 10^{19} eV (екзаелектронволт). Това са екстремно високи енергии, които е трудно да бъдат постигнати в наземните лаборатории. За сравнение, достигнатите енергии в ЦЕРН, са милион пъти по-ниски, а *СТА* – наземната черенковска обсерватория, ще регистрира събития с десет хиляди пъти по-ниски енергии. *JEM-EUSO* ще допълва неутринната обсерватория *ICE Cube*, която работи в екзаелектронволтовия обхват, но тя има способността да детектира само неутрина, но не и гама кванти. Принципът на действие на *JEM-EUSO* е сходен на този на *СТА*. При навлизане в земната атмосфера високоенергетичното лъчение създава порои от заредени частици, които се движат в атмосферата със скорости по-високи от скоростта на светлината в нея. Забавянето на релятивистките частици в атмосферата е свързано с излъчване на специфично фосфоресциращо лъчение, наречено Черенковско. Идеята на проекта *JEM-EUSO* обаче е флуоресценцията да бъде регистрирана от Международната космическа станция (МКС), което позволява покриването на по-голяма територия и детектиране на по-високоенергетични фотони от тези детектирани от *СТА*. За целта ще бъдат използвани три големи френелови лещи, всяка от които ще е с диаметър 2,65 m. Сигналите от лещите ще бъдат четени от 137 модула от 48x48 матрици от фотоумножители. Детекторите ще работят в ултравиолетовия и синия обхват или в диапазона от 350 до 450 nm. Фотоните ще бъдат корелирани във времето с точност от 2,5 μ s.

Идеята за този експеримент се заражда преди около 20 години.



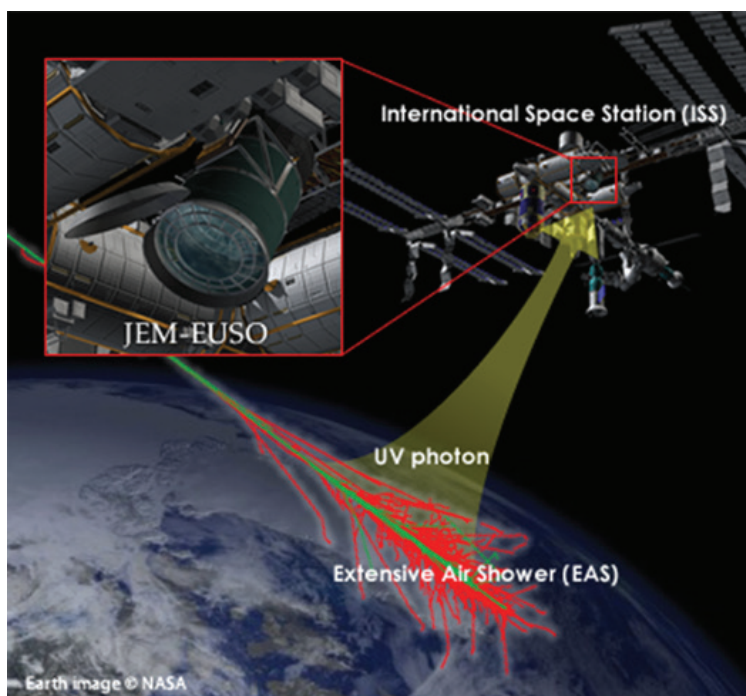
EUSO е европейски експеримент за МКС, който е бил предназначен за европейския експериментален модул *Columbus*. През 2004 г. обаче въпреки успешното постигане на фаза „А“ Европейската космическа агенция (ЕКА) прекратява работата по проекта поради програмни и финансови ограничения. Тогава мисията е преориентирана към японския експериментален модел *JEM* (*Japanese Experimental Module*) на МКС, поради което проектът е преименуван на *JEM-EUSO*. Контрактор за изпълнението му са *Mitsubishi Heavy Industries* – японска мултинационална компания, занимаваща се с инженеринг и произвеждане на електроника и електрически компоненти. Тя е една от основните компании в *Mitsubishi group*.

Експериментът *JEM-EUSO* ще идентифицира източници на ултрависокоенергетични частици и ще позволи провеждането на спектроскопични изследвания, които ще разкрият повече за природата им. В нискоенергетичния режим на работа експериментът ще допълва високоенергетичния диапазон на *CTA*, което ще позволи прецизна калибровка на детекторите на *JEM-EUSO* с данните от *CTA*. В рамките на проекта ще бъдат изследвани галактичното и извънгалактичните магнитни полета. Експериментът ще е чувствителен и към земни атмосферни явления. Ще бъдат наблюдавани метеори и метеорити в земната атмосфера. Детекторите ще могат да локализират и космически боклук. Всъщност *JEM-EUSO* ще бъде чувствителен към тела с размери 1 – 10 cm, каквито не могат да бъдат наблюдавани от наземните оптични системи. Познаването на орбитите на тези обекти е от съществено значение, тъй като се движат с високи скорости, от порядъка на 36 000 km/h, и представляват сериозна заплаха за системите в орбита. В ниска околоземна орбита се намират около 3000 t космически боклук, а повече от 700 000 къса са с размери по-големи от 1 cm. Но може би най-важното е, че този експеримент ще отвори високоенергетичен портал, който потенциално би довел до развитие на високоенергетичните физични теории, каквито са теорията за квантова гравитация, теория на струните и др.

Всъщност, *JEM-EUSO* е кулминацията на серия от експерименти, в които колаборацията тества концепцията. През 2013 г. детекторът *EUSO-TA* е инсталиран в наземна обсерватория в Юта, САЩ. През август 2014 г. *EUSO-Balloon* лети на стратосферен балон. От 24 април до 7 май 2017 г. *EUSO-SPB* лети отново на балон. Повторението на експеримента *EUSO-SPB2* е в конструкционна фаза. Полетът е планиран за 2022 г. На 22 август 2020 г. прототипът на един *JEM-EUSO* детектор *mini-EUSO* е изстрелян от Байконур. На 22 август *mini-EUSO* е скачен със „Звезда“, руския експериментален модул на МКС. Датата на извеждането на *JEM-EUSO* предстои да бъде определена, като очакванията са това да е през 2025 г. Междувременно *NASA* стартира американския проект *POEMA* (*Probe of Extreme Multimessenger Astronomy*), аналог на *JEM-EUSO*.

Сега *POEMA* е в проучвателна фаза.

В рамките на колаборацията *JEM-EUSO* българският екип, под ръководството на гл. ас. д-р Галина Ванкова-Кирилова, разработва софтуер за симулации на отклика на детектора в различни режими на работа, участва в разработването на софтуер за онлайн и офлайн анализ на данни, работи върху оптимизиране работата на детектора за регистриране на ултрависокоенергетични неутрина, участва и в тестването на детектора, който наскоро беше качен на МКС. Към момента българският екип няма българско финансиране за участието си в *JEM-EUSO*.



49-ТА НАЦИОНАЛНА КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ВЪПРОСИТЕ НА ОБУЧЕНИЕТО ПО ФИЗИКА

Поредната конференция, организирана за 49-ти път от СФБ, се проведе от 4 – 6 юни 2021 г. в град Видин. Темата на конференцията, „Физиката в STEM образованието в средните и във висшите училища“, бе избрана и уточнена след обсъждания на Управителния съвет на Съюза на физиците в България и на събрание на избрания Национален организационен комитет. Един от аргументите за избор на темата беше да се наблегне на реалното приложение на интегрираните в STEM образованието научни дисциплини и по-специално на ролята на физиката в него, както в средното, така и във висшето образование.

Съорганизатори на конференцията бяха МОН, Община Видин, РУО – Видин и Фондация „Еврика“. Медийни партньори бяха списание „Светът на физиката“, Национално издателство „Аз-Буки“, „Светът на физиката“ и интернет сайтовете Наука *OFFNews* и *MediaBricks.bg*.

Президентът на Фондация „Св. св. Кирил и Методий“ проф. Стефан Стефанов връчи наградата „Акад. Матей Матеев“ на следните учители след провеждане на конкурс:

- I. Наградата „За постижения при създаване на условия за най-подходяща учебна среда“ на Радка Ташева Костадинова от СУ „Иван Вазов“, гр. Вършец.
- II. Наградата „За изключителни постижения при откриването и развитието на млади таланти в областта на физиката“ се разделя между учителите:
 1. Станимира Тодорова Савова – главен учител прогимназиален етап в ОУ „П. Р. Славейков“ – гр. Варна.
 2. Екип – Фабиен Теофанис Кунис и Десислава Ананиева Чергарска от 125 СУ „Боян Пенев“, гр. София.

По време на конференцията бяха изнесени 2 публични лекции – „Квантовите компютри – поглед отвъд границите на възможното“ от чл.-кор. Николай Витанов и „Тайната в сърцето на Млечния път – Нобеловата награда по физика за 2020 г.“ от доц. д-р Владимир Божилов – двамата от Физическия факултет на СУ „Св. Климент Охридски“. Бяха представени 6 поканени пленарни доклада, сред които трябва да се отбележи докладът на Борис Шейнин – представител на МОН, „Програми за изграждане на STEM училищна среда“, който предизвика оживени дискусии. Председателят на Организационния комитет на конференцията проф. Вили Лилков изнесе доклад „Обучението по физика в техническите, медицинските и военните висши училища“. Бяха представени доклади за STEM образованието във висши училища – проф. Мирослав Абрашев, за Физическия факултет на СУ „Св. Климент Охридски“, и проф. Стефка Атанасова за Тракийския университет – Стара Загора. За приложение

на *STEM* образованието в средното образование поканените доклади бяха: „Подходи и модели в *STEM* образованието“ на Ивелина Коцева и „*STEAM* извънучилищни дейности и физика“ на Иво Джокин.

От участниците в конференцията бяха изнесени 24 устни и 13 постерни доклада. Общият брой участници беше 72. Никола Каравасилев и Наско Стаменов направиха две изключително интересни за всички участници „Работилници за деца, ученици и учители“, като представиха експерименти по физика и химия. При голям интерес премина и лекцията на специалния гост на конференцията – учителя Теодосий Теодосиев.

Бе проведена вече станалата традиционна заключителна дискусия на тема: „Модели за интегриране на обучението по физика в идеята *STEM*“ с водещ: доц. Мая Гайдарова. Въз основа на нея и на изнесените доклади бяха подготвени „Изводи и препоръки“ от конференцията, които да бъдат изпратени и на основния ни съорганизатор МОН. Докладите от конференцията ще бъдат отпечатани през месец октомври в сборник с *ISBN* номер.

По време на младежката сесия на тема „Природните науки и технологиите“, съорганизатор на която традиционно е Фондация „Еврика“, 45 участници от 24 начални и средни училища изнесоха 30 презентации. Бяха наградени общо 11 ученика в две възрастови групи: 6 – 8 кл. и 9 – 12 кл.

На конференцията бяха обявени наградите и на отличените участници в Националния конкурс за есе на тема „Големите открития във физиката на XX век“, организиран от Съюза на физиците в България и фондация „Еврика“, резултатите от който бяха обявени в края на м. март 2021 г. В конкурса взеха участие над 100 участници – ученици от 44 основни и средни училища от цялата страна и 1 – от чужбина, както и студенти от 3 университета (2 – от България и 1 – от чужбина).

Всички училища, от които имаше отличени участници в конкурса за есета, както и участници в Младежката сесия, получиха безплатен абонамент за списание „Светът на физиката“ за 2021 г. Част от Младежката научна сесия беше и Националния онлайн фотоконкурс за ученици на тема „Светлина“, посветен на Международния ден на светлината – 16 май. Изискването да се представи (опише) заснетото физично явление, беше единият от критериите за оценка. Наградените фотографии бяха отпечатани в брой 2 на списание „Светът на физиката“.



Връчване на наградата „Акад. Матей Матеев“ на Фондация „Св. св. Кирил и Методий“ на отличените учители.

Първото докторантско училище за космически изследвания, технологии и приложения се проведе на Рожен

Първото докторантско училище беше проведено в хибридна форма от 5.VII до 11.VII в НАО Рожен. Лекторите на Докторантското училище бяха преподаватели и изследователи от *University Space Research Association/NASA (USA)*, *ESA* (Европа), *CERN* (Европа), *Surrey Space Centre (UK)*, Университета на Грац (Австрия), Университета на Тюбинген (Германия) и Софийския университет. Лекциите бяха групирани в минилекционни курсове, организирани в три тематични модула: „Фундаментални изследвания“, „Аерокосмически технологии“ и „Методи и приложения за изследване на Космоса“. Във всеки от дните имаше цикъл от лекции на дадена тема, което позволи на лекторите да надхвърлят формата на традиционните поканени лекции на конференции, като се доближат до формата, както по време така и по съдържание, на специализираните докторантски курсове, които участниците биха слушали в едни от най-престижните световни университети. Събитието протече под патронажа на Министерство на икономиката (МИ) и със спомоществователството на Британското посолство, фондация „Америка за България“, *SCOSTEP* (Научен комитет за Слънчево-земна физика) и Фондация Карол Знание. Старши експерт Петя Пиперкова от МИ представи дейностите по споразумението за коопериращи държави на Европейската космическа агенция – *PECS (Plan for European Cooperating States)*, което цели развитието на космическия отрасъл в България, финансирайки проекти по космически тематики. В програмата на Училището бяха включени и кратки представяния от малки и големи фирми, сред които българската компания Ендуросат, *IBM* България, румънската компания *Terrasigna*, унгарската

Datelite и финландската *ICEYE* и *SINERGISE EOMap*, споделящи своя опит по организиране и управление на бизнес в космическата индустрия.

В събитието участваха 27 докторанти и млади учени от Европа, Азия, Африка и Южна Америка. На място в НАО Рожен присъстваха 13 обучаващи се, а останалите посещаваха лекциите онлайн. Хибридната форма на провеждане позволи





Фигура 1. Докторантите от група Машинно обучение, ръководени от д-р Петър Христов (ЦЕРН) и д-р Стоян Мишев (НБУ и ИСФИ), създадоха изображения на галактики чрез генеративен модел, наречен машина на Болцман. Решената задача е илюстрация на тясната връзка между статистическата физика и някои методи за машинно обучение.

организирането на практическите занимания, като за целта бяха сформирани 5 отбора: „Дроне и метеорология“, „Астрофотография“, „Автоматизиране на наблюденията и контролери на сензори“, „Слънце и космическо време“, „Машинно обучение“. Под ръководството на опитни ментори участниците разработиха концепции за провеждане на изследвания, сглобиха апаратурата, с която щяха да работят в рамките на Школата, направиха измервания и моделни пресмятания, които представиха в последния ден от Докторантското училище в нарочена Докторантска сесия. Сред основните цели на практическите упражнения бяха докторантите да добият представа за научни области, намиращи се встрани от преките им научни интереси, но и да изградят нови контакти, които да поставят основата на бъдеща интердисциплинарна мрежа от активни сътрудници в областта на космическите науки.



Фигура 2. Изображение на галактиката Андромеда генерирано от група Астрофотография, ръководена от г-н Никола Антонов

Привличане на повече участници от чужбина, което организаторите са си поставили като цел за следващите издания на събитието, е естественият подход за стимулиране изграждането на нови колаборации и научен обмен. Събитието протече в изключително приятелска атмосфера и активна работа, която често продължаваше до малките часове на денонощието.

Поради силно положителния

отзвук на събитието сред докторантите организаторите нямат друг избор освен да направят второ издание през 2022 г. отново в НАО Рожен. С първото издание летвата беше вдигната високо. Интересно е дали сега те ще успеят да надминат себе си.

За повече информация относно бъдещи инициативи на клон „Космос“ към СФБ следете официалния сайт на организацията <https://bulgarianspace.online/>

Международен научен семинар „Форми и динамика на атомните ядра: съвременни аспекти“ (SDANCA-21)

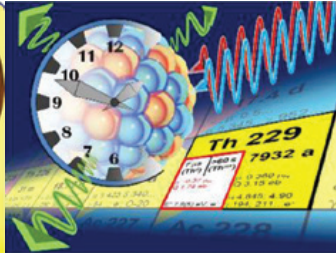
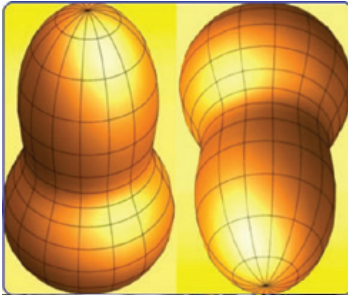
Николай Минков

От 16 до 18 септември 2021 г. в София Тех Парк беше проведен четвъртият Международен научен семинар на тема: „Форми и динамика на атомните ядра: съвременни аспекти“ (*„Shapes and Dynamics of Atomic Nuclei: Contemporary Aspects (SDANCA-21)“*). Той беше организиран от учени от Института за ядрени изследвания и ядрена енергетика към БАН и техни университетски колеги с цел да събере водещи изследователи в областта на ядрената физика и свързаните области от атомната и лазерна физика, астрофизиката и др.

В семинара взеха участие 68 учени (30 присъствено и 38 онлайн) от 20 страни. Бяха изнесени общо 54 научни доклада, в които бяха представени най-нови теоретични и експериментални научни резултати свързани с проявлението на сложни форми в атомните ядра – аксиално-симетрични издължени, сплеснати, триаксиални, рефлекторно-асиметрични и др., и бяха дискутирани пораждащите ги взаимодействия и симетрии. Бяха представени най-новите развития в съвременните микроскопични теории на атомното ядро като многочастичните самосъгласувани (*self-consistent*) приближения, ковариантната теория на функционала на плътността (*CDFT*), пълният (*non-core*) слоест модел и неговите изначални (*ab-initio*) приложения. Бяха представени нови резултати и развития на групово-теоретичните (алгебрични) модели в теорията на ядрото, описващи различни видове симетрии – унитарни, симплектични, „заместващи“ (*proxy*), „наподобяващи“ (*pseudo*), „частични“ (*partial*), както и колективни модели, асоциирани с активно изследвани ефекти на едновременно съществуващи ядрени форми (*shape coexistence*), триаксиални и ляво/дясно ориентирани (*chiral*), октуполни и клъстерни форми на ядрата. Бяха представени резултати от експериментални изследвания и нови данни за ядрени маси, квадруполни и

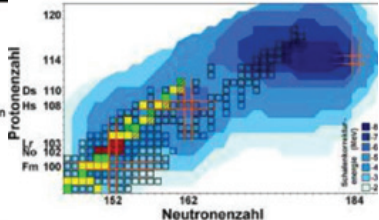
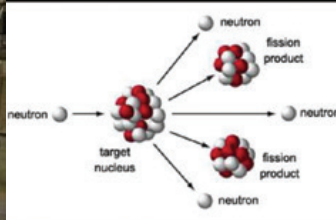
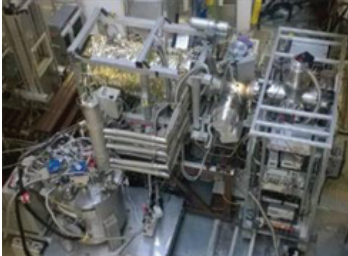
магнитни моменти в различни масови области на неутронно и протонно богати ядра далеч от линията на стабилност, както и в областта на свръхтежките ядра. Бяха представени нови данни и теоретични предсказания за ядрени изомерни състояния с възможни приложения за конструиране на екологично чисти „ядрени батерии“ с голям капацитет, приложения в медицината и др., както и изомер, позволяващ установяването на нов честотен стандарт за измерване на времето, наречен „ядрен часовник“, с безпрецедентна точност – по-малко от секунда отклонение за период, надхвърлящ възрастта на Вселената и с очаквани приложения в геодезията, сателитната навигация, „улавянето“ на гравитационни вълни, космологията, конструирането на ядрени (гама) лазери и др. Бяха представени най-нови високотехнологични съоръжения като свръхмощния лазер *ELI-NP* в Румъния, установките за измерване на екзотични ядрени маси *TITAN@TRIUMF* (Канада), *FRS Ion Catcher* в *GSI* Германия, Лабораторията за свръхфина лазерна спектроскопия в *ISOLDE, CERN* (Швейцария) и др.

Няколко от докладите и свързаната с тях дискусия бяха посветени на паметта на канадския професор Дейвид Роу, един от пионерите в разработването на групово-теоретичните методи в ядрената физика. Проведените директни и виртуални (онлайн) срещи и дискусии разкриха нови възможности за обмен на идеи и сътрудничества върху бъдещи изследвания в областта на ядрената физика и свързаните области с голям потенциал за важни технологични приложения и ползи за обществото.



Nuclear clock

Nuclear batteries



Fission

SHE

FRS Ion Catcher

Балканска олимпиада по физика

На 25 септември 2021 г., отново онлайн, се проведе III-ото поредно издание на Балканската олимпиада по физика. Тя се организира от Балканския физически съюз (*BPU*), на който Съюзът на физиците в България (СФБ) е член, с подкрепата на Европейския физически съюз (*EPS*).

Тази година домакин беше Съюзът на физиците в България. Председател на местния организационен комитет беше проф. д.фз.н. Александър Драйшу – председател на СФБ, а д-р Мая Жекова от Физическия факултет на СУ „Свети Климент Охридски“ – председател на научното жури.

Участниците бяха 57 в отбори от по максимум 4 ученици от 10 балкански страни (Албания, България, Кипър, Гърция, Молдова, Черна Гора, Северна Македония, Румъния, Сърбия и Турция) и 5 гост-страни (Босна и Херцеговина, Иран, Казахстан, Туркменистан и Словения).

Българският отбор за поредна година се представи много добре. Сребърни медали спечелиха Маргулан Исмолдаев (МГ „Д-р Петър Берон“, Варна) и Георги Костадинов (ППМГ „Акад. Никола Обрешков“, Бургас); Енислав Николов (СМГ „Паисий Хилендарски“, София) – бронзов медал, а Биляна Димитрова, също от СМГ, София, получи Сертификат за почетно отличие.



Участниците бяха наградени на онлайн церемония на 2 октомври, на която бяха поздравени от президента на *EPS* – д-р Люк Берж, на *BPU* – проф. Горан Джурджевич, зам.-президента на *BPU* проф. Раду Константинеску, изпълнителния секретар на *BPU* д-р Костас Ворлиас, както и от зам.-председателя на СФБ проф. д.фз.н. Евгения Вълчева.

Задачите ще бъдат представени в следващия брой на списанието.

65 ГОДИНИ ОТ ОСНОВАВАНЕТО НА ОБЕДИНЕНИЯ ИНСТИТУТ ЗА ЯДРЕНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ, ДУБНА

Лъчезар Костов

През тази година се навършват 65 години от основаването на Обединения институт за ядрени изследвания, Дубна (ОИЯИ). ОИЯИ е международна, междуправителствена организация, създадена на основата на Договор, подписан на 26 март 1956 г. от единадесет страни учредителки, между които и Република България, и регистрирана в ООН на 1 февруари 1957 г. Понастоящем членове на ОИЯИ се явяват 18 държави, а с други 6 Институтът е подписал съглашение за сътрудничество на правителствено ниво. Основаването на института е израз на следвоенния стремеж на правителствата към мирно съзидание и обединяване усилията на учените от много страни за реализацията на широка програма от научни изследвания, чиито мащаби и сложност са недостижими на национално ниво.

Днес ОИЯИ е световноизвестен научноизследователски център, който е уникален пример за интегрирането на фундаментални теоретични и експериментални изследвания с развитието на водещи технологии и иновации и университетска дейност. Институтът е единствената международна организация, където успешно и ефективно се провеждат фундаментални изследвания на най-високо ниво в безпрецедентно широк спектър от съществени научни дисциплини.

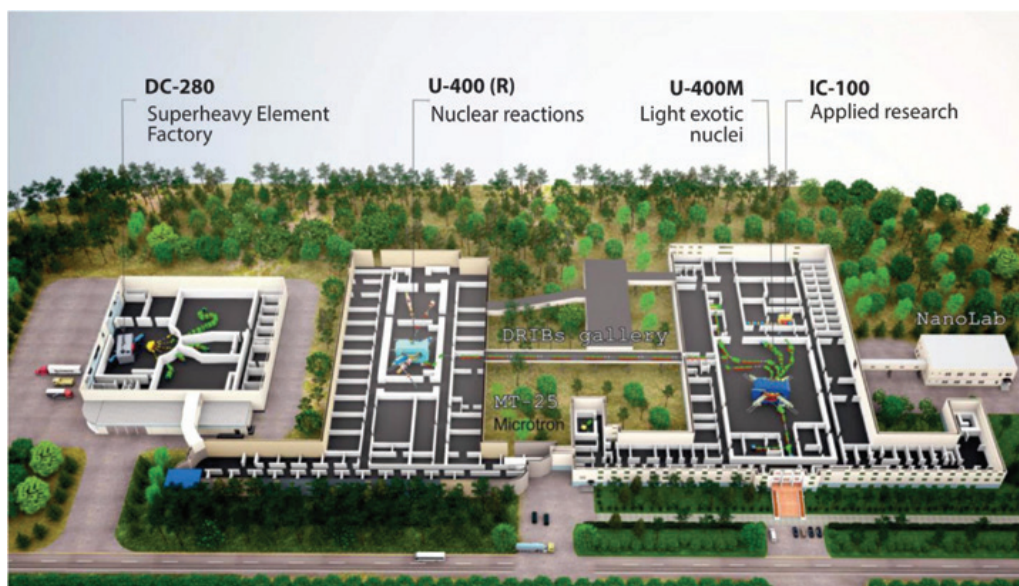
През изминалите години в Института бе създаден уникален набор от експериментални физически установки: свръхпроводящ ускорител на ядра и тежки йони до релативистки енергии – Нуклотрон; циклотрони на тежки йони У-400 и У-400М с рекордни параметри на снопа за провеждане на експерименти по синтезиране на свръхтежки елементи; високопоточен неутронен импулсен реактор ИБР-2. Натрупан бе голям обем от знания и експертиза, които днес са концентрирани в седем лаборатории. Понастоящем в ОИЯИ се провеждат авангардни изследвания в следните научни области:

- Ядрена физика на ниските енергии.
- Релативистка ядрена физика и спинова физика.
- Физика на частиците и високите енергии.
- Физика на неутриното и астрофизика.
- Физика на кондензираната материя и неутронна ядрена физика.
- Теоретична физика.
- Радио- и астробиология.
- Високопроизводителна изчислителна инфраструктура.

Ядрена физика на ниските енергии

Основно място в изследванията на Лабораторията за ядрени реакции „Г. Н. Флоров“ (ЛЯР), още от самото ѝ създаване през 1957 г., заема синтезът на нови елементи от Периодичната система на Менделеев и изучаване на техните свойства с методите на ядрената спектроскопия (α -, β - и γ -спектроскопия) и с помощта на химически анализи. Определено можем да кажем, че Лабораторията отдавна е всепризнат лидер в тази област в световен мащаб. Ядрените изследвания в ЛЯР са насочени в следните основни направления:

- Синтез на тежки и свръхтежки елементи и изучаване на техните свойства.
- Изучаване свойствата на леки екзотични ядра до границата на стабилност.
- Изучаване механизма на ядрените реакции, водещи до образуването на тежки и свръхтежки елементи и изследване на реакции с радиоактивни снопове.



План на ускорителния комплекс на ЛЯР

Развитието на експерименталната инфраструктура на ЛЯР предвижда изграждането на три ускорителни комплекса, оборудвани с модерни експериментални установки, удовлетворяващи целите на изследователската програма на лабораторията. Отделните ускорителни комплекси са фокусирани върху следните физически задачи:

- На фабриката за свръхтежки елементи, базирана върху циклотрона ДЦ-280 ще се синтезират тежки и свръхтежки елементи и ще се изучават техните свойства.

- На ускорителя У-400М ще се изучават свойствата на леките екзотични ядра.

- На ускорителя У-400Р ще бъдат изследвани свойствата на ядрените реакции на многонуклонен пренос при стълкновения на актиниди.

Циклотронът за ускоряване на тежки йони ДЦ-280 е с върхови параметри в световен мащаб за синтез на свръхтежки елементи. Нарастването с повече от 10 пъти на неговата ефективност е необходима за синтезирането на най-тежките елементи с поредни номера 119 и 120, както и за изследване на физическите и химическите свойства на вече известни елементи. От гледна точка на изследванията съществена роля ще изиграе създаденият газов сепаратор на откатни ядра *DDFRES-I*. Изграждането на радиохимична лаборатория I клас за производство и регенериране на радиоактивни мишени ще допълва фабриката за свръхтежки елементи.

Циклотронът за ускоряване на тежки йони ДЦ-280 ще бъде използван и за разширяване на изследователската програма на ЛЯР в областта на неутронно-богатите ядра и определяне границите на нов остров на стабилност върху нуклидната карта. Очаква се неутронният слой $N = 184$ да има стабилизиращ ефект по отношение на времето на живот на ядрата, за което вече има експериментални доказателства. В допълнение, хипотетичният затворен протонен слой с $Z = 114$ трябва да улеснява максимално синтеза на ядра с брой на неутроните близък до 184. За тази цел в ЛЯР ще се използват мишени от радиоактивни ядра с голям брой неутрони, напр. Cf-251, а не класическият вариант, когато се използват радиоактивни снопове. Причината е, че интензитетът на радиоактивните снопове е много нисък.

Ядрена физика на ниските енергии на снопове от редки изотопи

Цел на изследванията на снопове от редки изотопи е да получим пълна представа за нуклидната карта – от стабилните изотопи до границите на съществуване на ядрената структура.

Експериментите на снопове от редки изотопи, далеч от границата на стабилност, ще допълнят изследванията на свръхтежките елементи, провеждани в ЛЯР. Те ще позволят на ОИЯИ да остане в авангарда на ядрената физика и обезпечи съвременен ниво на изследванията в тази област за страните членки на ОИЯИ и цялата международна общност.

ЛЯР ще продължи изследванията в областта на леките екзотични ядра, намиращи се далеч от границата на стабилност. Те включват изучаване на ядреното хало, неутронната шуба, клъстерни състояния, екзотични мултинеутронни разпади (виртуални двунуклонни състояния, 2n- и 4n-радиоактивност), двупротонна радиоактивност, търсене на нови магически числа, спектроскопия

на екзотични ядра и реакции с хало-ядра.

В сътрудничество с водещи световни учени ОИЯИ предложи да бъде разработен и построен мощен колайдер на редки изотопи (*RICF*). Целта е решаването на широк спектър задачи от съвременната ядрена физика по интензивни вторични снопове (синтез и производство на нови изотопи, определяне на тяхната маса, времето на живот и мод на разпад, ядрени реакции и спектроскопия).

Концепцията за *RICF* съчетава в себе си производство на изотопи по метода на фрагментацията и сепарация „*in-flight*“ (първични снопове до уран с енергия ~ 100 MeV/нуклон), последващо спиране на снопа с помощта на газов уловител, повторно ускоряване с помощта на линеен ускорител и синхротрон, рингове за натрупване на ускоряваните частици, използване на постускорени снопове от редки изотопи за изследване на реакции.

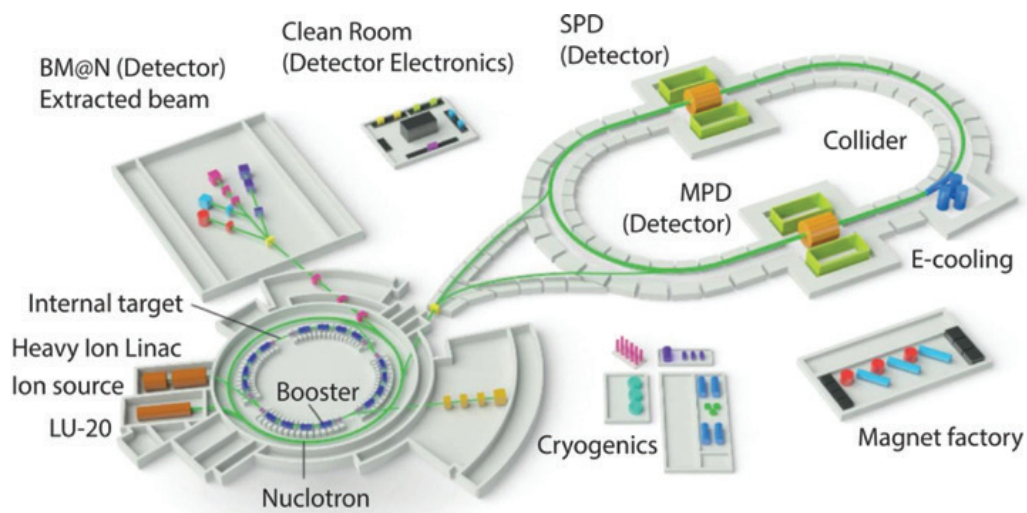
Релативистка физика на тежки йони в проекта *NICA*

Още от самото начало на изследванията в областта на релативистката ядрена физика в началото на 70-те години на миналия век в ОИЯИ се провеждат експерименти – в началото на синхрофазотрона, след това на Нуклотрона. Институтът стана съществен участник в програмата по изучаване на тежките йони на ускорителя *SPS* в ЦЕРН, отначало в експериментите *WA98* и *NA49/NA61*, а впоследствие и на *ALICE*.

Тази дейност послужи като мотивация за реализация на проекта *NICA*, чийто основни задачи са:

- Своевременно завършване на строителството на комплекса *NICA*, въвеждането му в експлоатация и неговата надеждна и непрекъсната работа.
- Завършване изграждането на детекторната установка *BM@N* и *MPD*, успешно натрупване на данни в следващото десетилетие.
- След няколкогодишна работа на детекторната установка *MPD* се предвижда нейното модернизиране в съответствие с възможното увеличаване на светимостта на *NICA* и добавяне по-бързи детектори.
- Изследване на възможностите за бъдещо разширение на *NICA* за ускоряване на електрони, интензивни снопове от протони, а също така и на радиоактивни тежки ядра. По този начин ще се открие нов физически потенциал чрез стълкновения на е-р и е-А.

За разработка на детекторните установки *BM@N* и *MPD* са създадени съответните международни колаборации.



Ускорителният комплекс *NICA*.

Спинова физика на колайдера *NICA*

Спиновата физика се явява едно от ключовите направления в изследванията още на синхрофазотрона, а после и на Нуклотрона. И днес изучаването на приноса на глюоните в структурата на нуклона има фундаментално значение за разбирането на вътрешната структура на нуклона като цяло. Структурата на неполяризирания нуклон е добре известна, докато нашите знания за разпределението на поляризираните протони са доста ограничени.

Поляризирани снопове протони и деутрони ще бъдат достъпни на ускорителния комплекс *NICA* и експериментите с тях ще бъдат възможни във втора точка, където ще се срещат двата снопа на колайдера. Очаква се светимостта да се намира в диапазона 10^{30} - $10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Достигането на такава висока светимост на поляризираните протони и деутрони ще позволи да бъдат изследвани най-различни спинови и поляризационно-зависими ефекти в адрон-адронните състълкновения.

Основна цел на предлагания експеримент *SPD* се явява изучаването на поляризираната глюонна структура на протона и деутрона при образуването на чармоний, отворения чарм и директните фотони. На началния етап детекторът за спинова физика *SPD* трябва да се фокусира на различни неполяризирани и спин-зависими ефекти при взаимодействията на протони, деутрони и леки ядра.

Международната колаборация е представила концептуален проект на експеримента *SPD* на колайдера *NICA*. Планира се детекторът *SPD* да бъде готов за набиране на данни след пускането в експлоатация на колайдера *NICA*.

Физика на неутриното и астрофизика

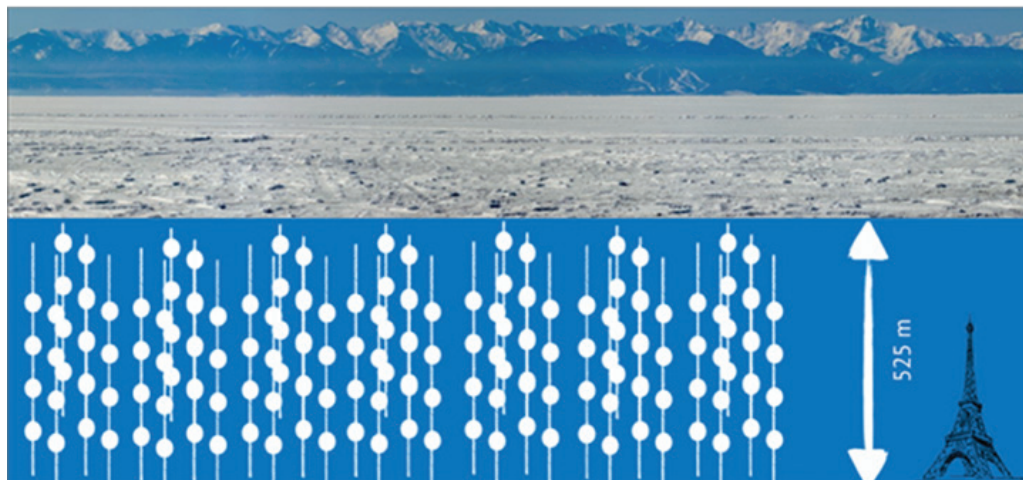
Физиката на неутриното играе ключова роля за нашето разбиране на законите, които управляват Вселената.

Благодарение на изследванията, провеждани от Б. Понтекорво, започнали 50-те години на миналия век, в ОИЯИ съществува силна и влиятелна школа в областта на физиката на неутриното.

Съвместно с Института за ядрени изследвания на Руската академия на науките в Москва ОИЯИ има водеща роля в строителството, натрупването на данни, реконструкция, калибровка и анализ на данните от неутринния телескоп *Baikal-GVD* (детектор с гигатонен обем). Целта е достигане на ефективен обем на детектора $0,4 \text{ km}^3$ в края на 2021 година и 1 km^3 през 2027 г. Днес *Baikal-GVD* е най-големият телескоп за неутрино в Северното полукълбо с обем на детектора $0,35 \text{ km}^3$.

ОИЯИ ще продължи да укрепва водещите си позиции чрез съществено засилване на усилията по анализа на данни за получаване на резултати от най-високо ниво при наблюдаването на астрофизическо неутрино със свръхвисоки енергии и в свързани с това изследвания.

ОИЯИ се явява крупен участник в експеримента *JUNO*, в който има значителен научен и материален принос. Експериментът *JUNO* е експеримент по реакторно антинеутрино, чиято основна цел е определяне на йерархията на масата на неутриното с доверителен интервал 3 – 4 стандартни отклонения.



Baikal-GVD (детектор с гигатонен обем)

Следващият пробив в определянето на йерархията на масата на неутриното и нарушаването на CP-симетрията в лептонния спектър може да се очаква на основата на глобалния анализ данните от измерванията на неутриното и

прецизни измервания на ускорител в експерименти с дълга база. ОИЯИ успешно участва в експеримента *NOvA* и възнамерява да се присъедини към експеримента *DUNE* в САЩ.

Многоканална астрономия и регистриране на гравитационни вълни

Понастоящем се счита, че явленията, които протичат във Вселената, трябва да се изучават чрез едновременно регистриране на различни сигнали. Получената информация може да разшири нашето познание за еволюцията на Вселената.

Споменатият по-горе проект *Baikal-GVD* се явява един от крайъгълните камъни на този подход. В Сибир, в Тункинската долина, на юг от езерото Байкал е разположен набор от гама- и мюонни телескопи (установката *TAIGA*), която може да се разглежда като допълнителен инструмент от гледна точка на многоканалната астрономия.

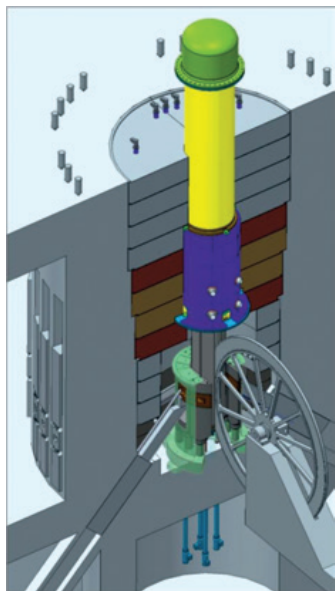
Откритието на гравитационните вълни е едно от най-значителните открития в историята, като отвори нов прозорец за наблюдаване на Вселената. Учените от ОИЯИ предлагат да продължат изследванията в това направление, което изисква нови знания в много области – от Обща теория на относителността до прецизна лазерна интерферометрия. Важно е да се отбележи, че ОИЯИ вече направи първата крачка в тази област, установявайки изобретеният в ЛЯП инклинометър на експеримента *VIRGO*. В средносрочна перспектива ОИЯИ ще се готви за компетентно сътрудничество в работата на съществуващите детектори на гравитационни вълни *LIGO* или *VIRGO*, и/или детектори от трето поколение.

Неутронни изследвания на кондензирани среди и неутронна физика

ОИЯИ има значителен опит и богати традиции в изследванията в областта на кондензираната материя и неутронната физика чрез използване на неутронните изследователски реактори на Лабораторията по неутронна физика „И. М. Франк“. ОИЯИ възнамерява и за в бъдеще да остане на предния край на науката в тази област, създавайки най-перспективния и свършен неутронен източник.

В съвременната наука неутроните се използват за изучаване на фундаменталните взаимодействия и симетрии, структурата и свойствата на атомните ядра. Понастоящем обаче те намират най-широко приложение във физиката на кондензираната материя, молекулярната биология, структурната химия, материалознанието, в системите за безразрушителен контрол на обемни материали и промишлени изделия. Освен това неутрони със свръхниски енергии също се явяват много перспективен инструмент за изследвания в областта на физиката на елементарните частици и изучаване на фундаментални взаимодействия.

Ако вземем предвид съвременните тенденции и динамиката на развитие на неутронните установки ще видим, че след 2030 г. ще бъдат достъпни само пет



Схематично изображение на ИБР-3

неутронни източника. Понастоящем три от тях са действащи – *ISIS* (Дидкот, Великобритания), *SINQ* (*PSI*, Вилинген, Швейцария) и *FRMII* (ТУ Мюнхен, Германия). Други два се намират в етап на изграждане – *ESS* (Лунд, Швеция) и стационарният реактор ПИК (Петербургския институт за ядрена физика, Гатчина, Русия). Запланувано е те да влязат в експлоатация в периода 2023 – 2024 г.

ОИЯИ излезе с предложение да създаде на своята площадка нов перспективен източник на неутрони ИБР-3. В съчетание с най-новите забавители, неутроноводи и неутронни установки ИБР-3 обещава да се превърне в един от най-добрите източници на неутрони в света и да открие безпрецедентни възможности за изследвания в областта физиката на кондензираните среди, фундаменталната физика, новите материали и науката за живота.

ИБР-3 ще обезпечи получаването на по-кратки неутронни импулси, съхранявайки същата плътност на потока, както и в *ESS* (Европейския източник на спалейшън – изпаряващи се неутрони).

Радиобиология и астробиология

Тежките заредени частици се явяват отличен инструмент за решаване на фундаментални проблеми на съвременната радиационна биология и генетика. За разлика от фотонното излъчване, когато енергията се разпределя равномерно по обема на цялото ядро на облъчваната клетка, при преминаване на тежки заредени частици през веществото енергията се разпределя по протежение на следата, която частицата оставя. Това води до формирането на сложни кълъстерни увреждания в ДНК и определя високата биологическа ефективност на тези частици. По тази причина йони с висок електрически заряд и енергия, влизащи в състава на галактическите космични лъчи (ГКЛ), представляват голяма заплаха за здравето на астронавтите по време на пилотиран полети в далечния космос.

Освен това адронните снопове – протони и йони на въглерода – имат преимущество в лечението на онкологични заболявания. Това важи особено за дълбоко вкоренени тумори, което е следствие от нарастващото енергоотделяне в края на пробега на частицата (пик на Бряг). Лечението на тумори със заредени частици и обезпечаването на безопасността на пилотираните междупланетни

полети се превръщат във все по-актуални области на съвременните радиобиологични изследвания.

Голямо преимущество на провеждането на изследвания в Лабораторията по радиационна биология (ЛРБ) е наличието в Института на голям брой източници на облъчване, в т.ч. и снопове от тежки йони с различни енергии. Базовите установки в ОИЯИ предоставят прекрасна възможност за моделиране на биологичното действие на космичното лъчение. Експерименти на Нуклотрона позволиха на ЛРБ да предложи нова методика за моделиране на радиационни полета с непрекъснати енергетични спектри, които се генерират от ГКЛ вътре в космическите апарати, когато се намират в дълбокия Космос.

В процес на разработка в ЛРБ са различни методи за повишаване на радиочувствителността на туморите чрез намеса в действието на биохимическите регулаторни мрежи на клетката. За тази цел ще се осъществява апликация на фармацевтични препарати, трансгенни системи и методи за трансфера им до крайната цел.

Астробиологията изучава живота в най-широк смисъл – неговият произход, еволюция и присъствие във Вселената. За да отговорим на въпроса за екзогенния произход на живота, ранните стадии на преход „от нежива към жива материя“ могат да бъдат възпроизведени с използване на адронни снопове в качеството на източник на енергия. За първи път под действие на адронни снопове беше осъществен синтез на пребиотически съединения в системата „формаид + катализатори“ в рамките на изследвания на хипотезата за Панспермията съвместно с италиански университети.



ОГРОМНА ПЕРИОДИЧНА ТАБЛИЦА НА МЕНДЕЛЕЕВ НА ФАСАДА НА ЗДАНИЕ В ДУБНА

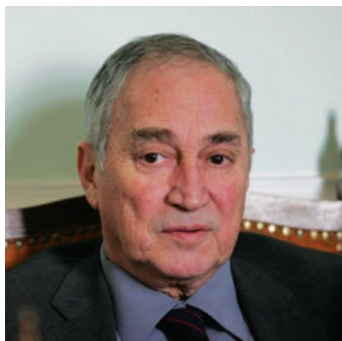
По случай 65-ата годишнина на Обединения институт за ядрени изследвания (ОИЯИ) в Дубна на 23 юли тази година, на огромна стена с изглед към Волга е поставено пано с най-новия вариант на Периодичната таблица на Менделеев, която включва 118 елемента. Последният, номер 118, носи името на дубненския учен Ю. Ц. Оганесян. Името на елемента е оганесон, с обозначение Og. Последните 3 клетки с номера 119, 120 и 121 в началото на 8-ми ред остават засега празни. В Дубна вече започнаха експерименти на новия ускорителен комплекс Фабрика за свръхтежки елементи, с което се откриват нови възможности за синтез на нови елементи и за изучаване на техните свойства.

От основаването на ОИЯИ през 1956 г. Периодичната таблица на Менделеев е допълнена с 16 нови елемента, 10 от тях синтезирани в Института, сред които са и 5-те най-тежки елемента. Названията на два от тях, дубний и московий, са свързани с местоположението на ОИЯИ, а на други два – флеровий и оганесон – с имената на видни учени-физици. Така е запълнен седмият ред на Таблицата.

В брой 3 от 1917 г. на „Светът на физиката“ е публикувана статия за новите имена на 4 елемента и за процедурата, по която се избират и утвърждават от Международния институт по чиста и приложна химия, за да станат част от Таблицата.

През 2017 г., най-голямата дотогава стационарна Периодична таблица с площ 150 m² е поставена на стената на Химическия факултет на Университета в Мурсия, Испания (*University of Murcia*). През 2019 г. испанският рекорд е надминат от Австралия. На фасадата на новата сграда на университета „Едит Коуен“ (*Edith Cowan University*) е поставена Периодична таблица с площ 660 m². Със своите 284 m² Таблицата в Дубна не е най-голямата в света, но е безспорен кандидат за най-красива на открито.

Акад. Никола Съботинов на 80 г.



Акад. Никола Съботинов е бележит български учен-физик. Научните и иновационните му заслуги са свързани с лазерната физика и лазерните технологии. Приносът му в създаването, изследването на лазера с пари на меден бромид, практическите приложения и промишленото му внедряване и в България, и в чужбина, е изключителен. Завидните професионална биография и постижения го поставят сред водещите специалисти в света.

Създадените от него лазери намират приложение в медицината, в индустрията за прецизна обработка на материали, в лазерната локация и лазерната навигация, екологията и др. За неговата изобретателска дейност е вписан в Златната книга на българските изобретатели.

Акад. Съботинов е ментор и вдъхновител за редица млади учени, които защитават докторските си дисертации и се хабилитират под негово ръководство. Ръководител е на едни от първите научни проекти по Европейските рамкови програми в България. Автор е на книгата „Лазерът“, излязла през 2018 г. на български, а през 2020 г. – и на английски език.

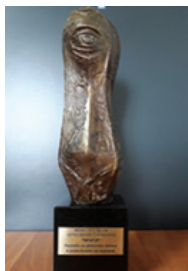
Като заместник-председател (1996 г. – 2008 г.) и председател на БАН (2008 до 2012 г.), работи за развитието и модернизирването на Академията.

За високите му постижения и безспорните му качества на изтъкнат учен е носител на редица награди, сред които Орден на БАН „Марин Дринов“ (2001 г.), Академичната награда по физика на Българската академия на науките (1995 г.), Медал „Република България“ (1988 г.) и Голямата награда „Питагор“ 2020 за цялостен принос в развитието на науката.

Със своята инициативност, отдаденост към науката и младежки дух той е вдъхновение за редица български учени – негови съратници и последователи.

Честитим юбилей на акад. Никола Съботинов и му пожелаваме здраве, активна изследователска дейност и нови творчески върхове!

От Редакцияната колегия на списание „Светът на физиката“



ФИЛИП АНДЕРСЪН – НОБЕЛОВИЯТ ЛАУРЕАТ, ЧИИТО ИДЕИ ОФОРМИХА МОДЕРНАТА ФИЗИКА

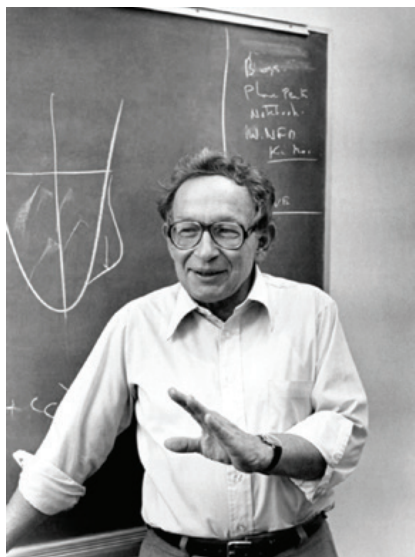
Евгения Вълчева

The perfect computation simply reproduces Nature, does not explain her.

От Нобеловата лекция на Филип Андерсън 1977 г.

На 29 март 2020 г. ни напусна нобеловият лауреат Филип Уорън Андерсън (*Philip Warren Anderson*), интелектуален гигант, оказал огромно въздействие върху разбиранията във физиката на ХХ век. Един от най-великите физици-теоретици от следвоенната епоха почина в Принстън Уиндроуз (*Princeton Windrows*) на 96-годишна възраст. Андерсън беше активен до последно като почетен професор по физика в Принстънския университет. Забележителната му кариера на Нобелов лауреат включва основополагащ принос за разбирането на фундаменталната природа на материалите (физика на кондензираната материя) и, в по-общ план, на колективните явления – от ежедневно употребявани материали като магнити до екзотични свръхпроводници и нови форми на материята като топологично подредени състояния. Той е носител, заедно с Невил Мот (*Nevill Mott*) и Джон ван Флек (*John Van Vleck*), на Нобеловата награда за физика през 1977 г., присъдена за „фундаментални теоретични изследвания на електронната структура на магнитните и неподредените системи“. Негово откритие са **локализацията на електроните**, чрез която се обяснява как металите при наличие на неподреденост стават изолатори, както и пионерните му работи по магнетизъм.

Филип Андерсън е роден през 1923 г. и е израснал в Урбана-Шампайн, Илинойс (*Urbana-Champaign, Illinois*). Баща му е професор по патология на растенията. Майка му има бакалавърска степен, което не е обичайно в онези години. Дядо му по майчина линия е учител по математика. На 16 години отива в Харвардския университет в Кеймбридж, Масачузетс, където се влюбва във физиката. По време на Втората световна война прекъсва обучението и работи върху радари в американската Военноморска изследователска лаборатория във Вашингтон. За първи път научава за квантовата механика, когато негов колега, вместо да му върне заема си от военно време, му дава ценен текст по тази тема. По това време няма литература по квантова механика на английски и по думите на Андерсън студентите учат по учебник на Паули на немски език. Връщайки се в Харвард за дипломна работа, той изучава влиянието на налягането върху разширяването на спектралните линии.



Филип Уорън Андерсън

Изследванията на Филип Андерсън са определящи за бързото развитие и за оформянето на физиката на кондензираната материя през втората половина на ХХ век. Ф. Андерсън има основен принос към различни подобласти като антиферромагнетизъм, свръхобмен, проблем с рентгеновата сингулярност, локализация, спинови стъкла, квантови спинови течности, локални моменти в металите и купратна свръхпроводимост. Той предсказва съществуването на свръхфлуидност в He-3 (рядка форма на хелий с един вместо два неутрона в ядрото си) и дава обяснение на микроскопично ниво. Има отношение и към откриването на ефекта на Джоузефсън. Много понятия сега носят неговото име и на много от тях той дава

специфични наименования като „мръсни“ свръхпроводници, ренормализиране на „бедняка“ и др. Постиженията му не само представляват значителни открития сами по себе си, но и често задават насока за работата на другите изследователи.

Андерсън е работил и по проблеми извън основната си област – квантовата теория на кондензираната материя, за която печели Нобелова награда през 1977 г. Негов принос е установяването на механизма, известен като механизъм на Андерсън-Хигс, който е ключов за Стандартния модел във физиката на елементарните частици. Изследванията му върху свръхпроводниците го насочват към предположение за това как фотоните – носителите на взаимодействие между субатомните частици – придобиват маса, за което ще стане дума по-нататък.

Публикацията му за така наречения „механизъм на Андерсън-Хигс“ е основен източник за Питър Хигс (*Peter Higgs*) за изясняване на бозона (теория, за която Хигс и Франсоа Енглер (*François Englert*) спечелиха Нобелова награда за физика за 2013 г.). Негово прозрение става решаващо и довежда до работа върху динамиката на неутронните звезди (*нулсари*). Неговата концепция за спиновите стъкла води далеч напред, до разработки в практически компютърни алгоритми и невронни мрежи и в крайна сметка до участието му в основаването на Института Санта Фе (*Santa Fe Institute*) – интердисциплинарен център, посветен на изследване на комплексни адаптивни системи и теория на хаоса. Съвместно с Кенет Ароу (*Kenneth Arrow*), Нобелов лауреат по икономика през 1972 г., ръководи два влиятелни семинара по икономика

в института.

По-надолу ще се спрем на някои от най-съществените приноси на Филип Андерсън.

Принос към разбирането на фундаменталната природа на материята

След завръщането на Андерсън в Харвард след Втората световна война негов ръководител става Джон Хасбрук Ван Флек, с когото той споделя по-късно Нобеловата награда. Тогава той осъзнава, че може да приложи усъвършенстваните математически техники на квантовата теория на полето, които изучава, към физиката на твърдото тяло.

През 1949 г. Уилям Шокли (*William Shockley*), съизобретател на транзистора, поканва Андерсън да се присъедини към теоретичната група в Лабораториите Бел (*Bell Telephone Laboratories*) в Мъри Хил, Ню Джърси (*Murray Hill, New Jersey*). Групата талантливи физици включва още Бернд Матиас (*Bernd Matthias*), Питър Волф (*Peter Wolff*), Робърт Шулман (*Robert Shulman*), и Чарлз Кител (*Charles Kittel*). Те оказват силно влияние върху компанията да инвестира във фундаментални изследвания, което пък оказва голям ефект върху Лабораториите Бел през останалата част от века. Тук Андерсън първо се фокусира върху магнетизма. Квантовата механика предсказва, че електроните носят малки магнитни моменти, наречени спин. Привличането от постоянните магнити се получава, когато спиновете се ориентират в една и съща посока. За разлика от това, четящите глави на твърдите дискове разчитат на антиферромагнити, при които в съседните атомни слоеве се редуват спинове с различна посока. Комбинирайки ефектите от отблъскването на електроните в квантовата механика, Андерсън обяснява как атомите на желязото стават магнитни и отчита взаимодействията, които водят до антиферромагнетизъм. Така допринася за разбирането на ферромагнетизма и антиферромагнетизма и по този начин за спонтанно нарушените симетрии във физиката.

Работата върху полупроводници в *Bell Labs* довежда Андерсън през 1957 г. до предположението, че неподредености, като тези, причинени от дефекти и примеси в метали, локализируют електронните вълни и материалът добива свойства на изолатор. Днес **локализацията на Андерсън** е призната като общо свойство на всички видове вълни в неподредена среда, но първоначалната идея е радикална и отнема две десетилетия и приносът на много водещи физици, за да бъде разработена в детайли. От 1967 до 1975 г. Андерсън е гост-професор в Кеймбридж, където е близък сътрудник на Невил Мот, третият от лауреатите на Нобелова награда за 1977 г.

Андерсън също така изучава спинови стъкла, които са тип случайни маг-

нити, които проявяват както феромагнитни, така и антиферомагнитни взаимодействия. Работейки със Сам Едуардс (*Sam Edwards*) от Университета в Кеймбридж, Великобритания, той моделира способността на тези стъкла да „помнят“ историята на заобикалящата ги среда. Моделът на Едуардс-Андерсън е ранен предшественик на невронните мрежи, използвани в съвременното машинно обучение.

Паралели между свръхпроводимостта и физиката на елементарните частици

През 1958 г. Андерсън открива забележителен паралел между магнетизма и свръхпроводимостта. Докато магнитите концентрират полета, свръхпроводниците ги изтласкват навън. Този ефект позволява да се наблюдава проявата на свойството им да левитират в магнитно поле. След откритието на Нобеловите лауреати Джон Бардийн, Леон Купър и Робърт Шрифер (*John Bardeen, Leon Cooper, Robert Schrieffer*), че свръхпроводимостта е резултат от електрони, образуващи така наречените Купърови двойки, Андерсън предполага, че тези двойки се свързват посредством псевдоспинов механизъм. В магнита колебанията в намагнитването се разпространяват, образувайки спинова вълна. Когато Андерсън изчислява движението на фотоните в свръхпроводника, той открива, че те придобиват маса.

Андерсън осъзнава, че има по-дълбоки паралели между свръхпроводимостта и физиката на елементарните частици. През 1962 г. той предлага механизъм на субатомни носители на сила, наречени калибровъчни бозони, за придобиване на маса в нещо като космически свръхпроводник; механизъм сега известен като полето на Хигс, по името на британския физик Питър Хигс. Работата на Андерсън е цитирана в статията на Хигс от 1964 г., предсказваща съществуването на Хигс бозона.

Андерсън е първият, който признава важноста на фазата на свръхпроводящата вълнова функция и как тя е квантово механично свързана с броя на Купъровите двойки. По принцип фазовите флуктуации водят до колективен режим на непрекъснати (*gapless*) възбуждения (безмасови частици), един пример за теоремата на Голдстоун; такива възбуждения се наблюдават в неутрални свръхфлуиди, но не и в свръхпроводници. През 1962 г. той предлага механизъм, който да премахне препятствието пред единната теория на полето, базирана на нарушена симетрия, а именно проблема с нежеланите безмасови частици на Голдстоун. Две години по-късно Питър Хигс и други стигнаха до същото заключение по по-конвенционални методи. Както Хигс пише в своята Нобелова лекция, „безмасовият мод на Голдстоун се превърна в надлъжна поляризация на масивен спин-1 „фотон“, точно както Андерсън беше предложил“. Механизмът

на Андерсън-Хигс сега е крайъгълен камък както на физиката на частиците, така и на кондензираната материя.

Теорията на резониращата валентна връзка („*resonating valence bond*“ – *RVB*)

През 1975 г. Андерсън заема длъжност в Университета Принстън в Ню Джърси, където посвещава голяма част от своите изследвания на високотемпературната свръхпроводимост, открита през 1986 г. от Георг Беднорц (*Georg Bednorz*) и Алекс Мюлер (*Alex Müller*).

Година след откриването на високотемпературната свръхпроводимост в купратите Андерсън публикува изключително влиятелна статия в *Science*, отново заимствайки идеи от магнетизма и посочва, че високотемпературната свръхпроводимост е резултат от инжектирането на носители на заряд („дупки“) в изолиращо състояние (квантова спинова течност), което възниква от силното електрон-електрон отблъскване. Той се позовава на книга от 1973 г., която въвежда понятието за квантови спинови течности, в които магнитните моменти не успяват да постигнат далечен порядък поради квантовите флукуации и вместо това образуват състояние, което той нарича „резонираща валентна връзка“ („*resonating valence bond*“). Тези революционни идеи срещат твърда съпротива от научната общност. Въпреки че специфичният механизъм, който той предлага за възникване на свръхпроводимост, остава противоречив, много от идеите, въведени от него през 1987 г., включително идеята, че свръхпроводимостта е благоприятно основно състояние в система със силно отблъскване, са получили широко признание. Състоянието на *RVB* е архетипният пример за квантова спинова течност, явяваща се в момента област на усилен изследвания. Все още не е доказана високотемпературна свръхпроводимост (над стайна температура), но мнозина учени смятат, че теорията на *RVB* съдържа идеята на това как може да се постигне.

Андерсън също така предполага, че възбужденията в квантовата спинова течност се държат като електрони, които са загубили своя заряд, но запазват своя спин. Този ранен пример за „фракциониране“ намери подкрепа както в точно решаеми модели, така и в реални материали. Времето ще покаже дали спиновата течност на Андерсън може да бъде запомнена като най-дълбокото и най-прозорливото му предсказание.

Против редуционизма – „*More is Different*“

Ранният триумф на квантовата физика убеди някои физици, че напредъкът ще произтича изключително от редуцирането на природата до нейните най-основни частици. Андерсън отхвърля тази гледна точка с аргумента, че възникващите

свойства, които се проявяват, когато материята се образува от съставните си компоненти, са не по-малко значими. Той разсъждава, че в науката всяко ново ниво на сложност изисква нови области, свързващи физика, химия, биология, компютърни науки и икономика.

В известната основополагащата статия от 1972 г., публикувана в *Science* „Повечето е различно“ („*More is Different*“), Андерсън подчертава, че сложните системи могат да проявяват поведение, което не може да се разбере само от гледна точка на закони, регулиращи техните микроскопични компоненти, а може да изискват йерархични нива на науката, всяко със свои собствени основни принципи.

В статията Андерсън очертава антиредукционистката гледна точка, че всяко ниво на материята следва да бъде обект на фундаментално изследване. Законите на микросвета не могат да предвидят, още по-малко да обяснят, богатото разнообразие от явления в макроскопичните системи, като свръхпроводимост, хаос, възникващи явления. Тази гледна точка е повлияла дълбоко на физиката на кондензираната материя и други области на науката.

Изява на антиредукционистките възгледи на Андерсън е изказването му пред Конгреса на САЩ през 1987 г. срещу изграждането на свръхпроводящ суперколайдер (*Superconducting Super Collider – SSC*), 40 TeV протонно-протонен колайдер в Тексас, който би бил най-големият експеримент във физиката на елементарните частици. Отрицателното мнение на Андерсън срещу *SSC* не повлия пряко отмяната му през 1993 г., а спираловидно нарастващите разходи бяха основният фактор, но той е може би най-шумният му противник. Андерсън винаги е гледал скептично на физиката на елементарните частици и откриването на *LHC* в Женева връща неговия поглед по въпроса отново в светлината на прожекторите. Това, което го вълнува по-специално, е пламенната вяра на много физици на елементарните частици, че техният предмет е по-важен от другите области на изследване и следователно е по-достоеен за финансиране. Той също така се дразни на теоретиците на елементарните частици, които смятат, че тяхната работа отчита цялата теоретична физика, пренебрегвайки приноса на други теоретици в области като физиката на твърдото тяло и астрофизиката. „Има голяма арогантност и нескромност в цялото това поле, което ме изнервя“, казва той. „Теоретиците на частиците казват, че [те] откриват „Божия ум“. Това изобщо не е умът на Бог. На първо място, няма Бог, а на второ място, физиката на частиците не може да обясни неща като свръхпроводимост, живот и съзнание. Това не допринася за обяснението как всъщност работи светът“.

Възгледи върху възникващите явления

Андерсън е известен и с приноса си към философията на науката чрез изясняването на концепцията за възникващи явления.

Неприязната на Андерсън към теорията на частиците произтича отчасти от нейните силни „редукционистични“ тенденции, според които цялата наука на теория може да бъде извлечена само от няколко основни принципа – ако следваме йерархията на отделните науки се озоваваме на общ източник: физика на елементарните частици. Вместо това Андерсън вярва във „възникването“ – идея, която за пръв път е формулирана в статията „Повечето е различно“. Според концепцията за възникването всички явления, които наблюдаваме на дадено ниво, се подчиняват на законите на по-примитивно ниво, но тези наблюдения не произлизат непременно само от него. Молекулярната биология например не нарушава законите на химията, но все пак съдържа идеи, които вероятно не биха могли да бъдат изведени директно от тези закони. **Вместо това, според концепцията за възникването, когато някои системи достигнат достатъчно ниво на сложност, се появяват нови явления, които не съществуват за елементарните компоненти на тези системи.** „Можете да обясните свойствата на големите обекти – защо например златото е лъскаво и жълто – казва Андерсън – но не можете да заключите априори, че куп златни атоми ще са блестящи и жълти. Трябва да имате концепцията за метал, преди да можете да заключите, че такова нещо може да съществува. Още повече е вярно за живата материя: не можете да заключите априори, че животът ще се развие“.

Редукционистите обаче твърдят, че физиката на елементарните частици е някак по-фундаментална и че тя има специален вид значение в науката. Андерсън посочва, че възникването не означава че може да разглеждаме „цялото“ като сума от частите му, което е начин, по който някои учени, в частност биолозите, са склонни да гледат на концепцията. „Те виждат чук и дръжка на чук и след това ги сглобяват, за да получат нова функционалност“, казва той. „Това не е моята концепция: възникването означава, че големите системи стават качествено различни от малките системи, когато промените мащаба“.

Възникването за Андерсън е по-скоро философска гледна точка, отколкото практическа изследователска програма. Той дори го нарича „Божият принцип“ – лека алюзия към книгата на Нобеловия лауреат, физик на елементарните частици, Леон Ледерман (*Leon Lederman*) „Частичата Бог“ (Заглавието се отнася до Хигс бозона – частицата, за която се смята, че дава маса на всички останали и която откриха в ЛНС). Терминологията на Андерсън обаче не отразява никакви религиозни вярвания. „Не съм чак толкова атеист, колкото Ричард Докинс (*Richard Dawkins*), но съм много близо“, казва той. Ричард Докинс е известен еволюционен биолог от Оксфорд.

Връщайки се към критиките си към физиката на елементарните частици, Андерсън повтаря своята дългогодишна гледна точка, че теоретиците на частиците дължат повече, отколкото си дават сметка, на теоретиците на кондензираната материя като него, особено за това, че е разработил концепцията за „нарушена симетрия“ през 50-те години. Той дори твърди, че Хигс бозонът се нарича „Андерсън – Хигс бозон“, като признание за работата му върху неуловимата частица. Що се отнася до *LHC*, Андерсън не казва, че ускорителят е загуба на пари. Всъщност приветства факта, че той е разработен с международно сътрудничество за разлика от *SSC* в Тексас. „Готов съм да видя пари, изразходвани за добра наука, като телескопа „Хъбъл“ или големите експерименти с неутрино, и не бих възразявал толкова срещу *LHC*, ако нямаше толкова голям шум“, казва той. „Но ако имате този антиредукционистки възглед, като мен, изглежда, светът би могъл и без него“.

Повече и различно: Записки на замисления мърморко *(More And Different: Notes From A Thoughtful Curmudgeon)*

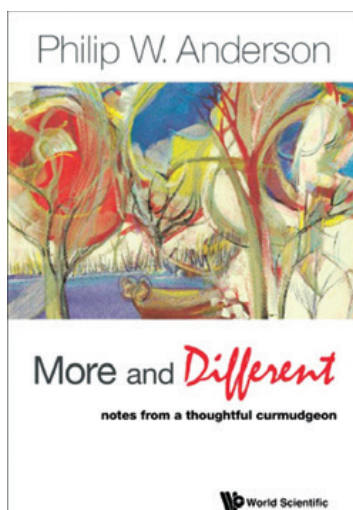
Андерсън доразвива и обобщава концепциите си и през 2012 г. издава книга с горното заглавие, която е обявена за една от петте най-добри книги за 2012 г. от авторитетното списание *Physics Today*. В това заглавие Андерсън отправя закачка към известната си статия, която коментирахме по-горе, като тук вече е Повече И различно. И тук се проявява чувството му за хумор и нестандартно мислене в на моменти непреводими фрази като в заглавието.

Н. Дейвид Мермин (*N. David Mermin*), също един от великите физици на ХХ век, професор по физика в университета Корнел, пише в рецензията си към книгата: „Андерсън е събрал забавна и поучителна колекция от приятни за четене обзори, колони, беседи и непубликувани есета за науката и учените, които познава. Понякога е неуместно провокативен и с удоволствие се чете“.

Мермин посочва, че една от повтарящите се теми на Андерсън е неговото опровержение на наивния редукционизъм, връщайки се назад с 40 години до известното му научно есе „Повечето е различно“. Дори с експерименталното откритие на свръхпроводимостта от Камерлинг Онес, бяха необходими 32 години след създаването на квантовата механика, за да се открие обяснението, което съответства на, но не се подразбира от квантовите закони.

Мермин коментира няколко от многото прекрасни бележки, които придават на „*More And Different*“ специален чар:

– „Когато всички приключим, ще се окаже, че не съществува екзотична форма на „тъмна материя“, а просто комедия от грешки в поле, където практически е модерно да се подценяват границите на грешките“.



– „Разбира се, аз не съм религиозен – всъщност не виждам как всеки учен, който изобщо мисли, може да бъде такъв“.

– „Съзнанието [е] един от големите дълбоки проблеми, очевидни още през XX век, който може да отнеме по-голямата част от XXI век, за да бъде решен“. И „най-големият пъзел от всички [е] появата на съзнанието“. (Когато се оплаках на много изявен колега, че неговата „Теория на всичко“ няма какво да каже за съзнанието, той отговори: „Съзнанието е илюзия.“).

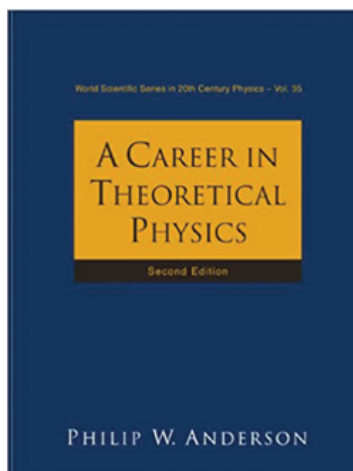
– „Ако нямаше твърдо вещество, нямаше да имаме начин да измерим пространството – така че, нарушавайки симетрията на пространството,

ние в известен смисъл създадохме пространство като нов обект“. (Веднъж бях обвинен на страниците на *Physics Today* в постмодернизъм, когато направих подобни забележки относно времето.)

– И най-ангажиращо: „Всичко, което мога да кажа на по-младите теоретици, е: не вярвайте на никой над 45 години, освен може би на мен, но за мен не съм толкова сигурен“.

Карьера в теоретичната физика (A Career in Theoretical Physics)

Друг уникален труд, публикуван през 1994 г. с горното заглавие, представя научните постижения на нобеловия лауреат Филип Андерсън, обхващащи дългите години от кариерата му. В новото издание от 2005 г. авторът е пропуснал някои статии от първото издание, както е и добавил над 15 от своите научни трудове. Както и в първото издание, той предоставя въведение към всяка статия, като обяснява генезиса на работите или добавя някаква лична история. Книгата предоставя изчерпателен преглед на работата му. Някои от включените статии сега са трудни за намиране и всяка е съпроводена с коментар за начина, по който е била написана. Андерсън е представил и забавно въведение, излагащо своята философия за това, което е важно в науката.



По време на дългата си кариера Андерсън съветва много успешни физици по кондензирана материя, включително Дънкан Халдейн (*Duncan Haldane*), професор по физика от Университета

в Принстън, носител на Нобелова награда за физика за 2016 г., и вдъхновява безброй други, включително Брайън Джоузефсън, носител на Нобелова награда от 1973 г., който посещава негови лекции в Кеймбридж

По повод кончината на Филип Андерсън, Халдейн казва: „Фил Андерсън



Филип Андерсън, вляво, заедно с Дънкан Халдейн, бивш негов докторант, на отбелязването на деня, в който Халдейн получава Нобелова награда за физика през 2016 г.

беше гигант в областта на физиката на кондензираната материя, с интуитивен и често противоречив поглед върху основните характеристики на проблема от нов ъгъл, което често променя начина ни на мислене за него“; „Имах щастието да го имам за ментор, когато бях докторант. Редовно се срещам с него, за да говоря за проблема, по който ми беше дал да работя, но вместо това той ми разказваше за нещата, за които мислеше този ден, и да наблюдаваш неговия мисловен процес беше невероятен урок за това как да мислим за проблемите, което решително оформи

бъдещата ми кариера. Такъв ментор!“.

„Има много малко хора във физиката на кондензираната материя, които не са били повлияни от идеите на Фил“, каза Антъни Легет (*Anthony Leggett*), професор по физика в Университета на Илинойс в Урбана-Шампайн (*University of Illinois at Urbana-Champaign*), който получи Нобелова награда за физика за 2003 г. за свръхфлуида хелий-3. „Дори когато се окажа, че греша, той имаше влияние, защото накара хората да мислят в нови посоки“.

Освен с Нобелова награда, Андерсън е удостоен с наградата на Американското физическо общество „Оливър Е. Бъкли“ (*Oliver E. Buckley Condensed Matter Prize*) през 1964 г. и с Националния медал за наука през 1982 г.

Андерсън има интерес през целия си живот към играта „Го“, датиращ от едногодишно посещение в Япония през 1953 – 1954 г. и той постига ранг на майстор от първи дан. През 2007 г. *Nihon Ki-in*, японската асоциация за Го, му връчва награда за цялостно постижение. Точно както той инстинктивно вижда няколко хода отвъд опонента си в играта, той често достига разбиране във физиката, което е трудно за другите.

Андерсън има око на художник за оригинална интерпретация и работи в тясно сътрудничество с експериментатори, за да разработи идеи, които доведоха до нови области на изследване. Необичайно интуитивен за теоретичен

физик, той успява да опрости сложните задачи, така че те да се представят с минимум математика.

За много по-млади физици, на които Филип Андерсън е ментор и с които щедро споделя вдъхновяващите си идеи, той е нещо като гуру. Въпреки че Андерсън ни напусна, идеите му все още са много стъпки пред нас.

Литература

Physics Today 73, 6, 59 (2020); <https://doi.org/10.1063/PT.3.4505>

<https://www.nature.com/articles/d41586-020-01318-4>

Physics Today 65, 44 (2012) ; <https://doi.org/10.1063/PT.3.1400>

PHILIP ANDERSON – THE NOBEL PRIZE LAUREATE WHOSE IDEAS SHAPED MODERN PHYSICS

Evgenia Valcheva

Philip Anderson, Nobel Prize laureate, was an intellectual giant of 20th-century physics. He was one of the most celebrated condensed-matter physicists whose research of electron behavior in solid materials deepened science's understanding of magnetism, superconductivity and the structure of matter. His relationship with particle physics was contentious. Anderson was known for his tireless advocacy for condensed-matter physics and the role of complexity in science.

ХАРЕСАЙТЕ СТРАНИЦАТА НА СПИСАНИЕТО ВЪВ FACEBOOK

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



КАКВО НОВО В 8-МИЯ НАЦИОНАЛЕН ФЕСТИВАЛ „НАУКА НА СЦЕНАТА“

Проф. д.фз.н. **Ана Георгиева**
Председател на Националния организационен комитет на
„Наука на сцената – България“

Представени са накратко подготовката, организацията и резултатите на 8-мия Национален фестивал „Наука на сцената“. Специално внимание е обърнато на новостите при провеждането му като хибридна му форма – присъствено и дистанционно представяне на участвалите проекти, осъществено чрез платформата *Horin* в резултат на новото и ползотворно сътрудничество на Националния и Местния организационен комитет с технологичния гигант *SAP* и Фондация „Работилница за граждански инициативи“. За първи път са раздадени специални награди на ученици участващи в Националния фестивал. Дадено е и крайното класиране от журито по нова по-детайлна процедура на проектите, чиито автори съставляват Националната ни делегация на Международния фестивал в Прага, Чехия, 24 – 27 март 2022 г.

Подготовка и организация на фестивала

От 25 до 27 юни тази година се проведе за 8-ми път Националното издание на фестивала „Наука на сцената“ (<https://scienceonstage.bg/home/fest/>). За 7-ми път домакин на събитието беше град Севлиево, а организацията на фестивала и провеждането му бяха главно заслуга на преподавателския екип и учениците на СУ „Васил Левски“ най-старото училище в града. Организатори на събитието са Национален и Местен организационен комитет със съорганизатори Министерството на образованието и науката и Община Севлиево. На Националния организационен комитет (НОК) на фестивала традиционно съдействаха Съюзите на физиците, химиците и учените в България и фондация „Еврика“. От тази година партньорството на българския сайт на технологичния гигант *SAP* и Фондация „Работилница за граждански инициативи“ (ФРГИ) надгражда усилията на Организационните комитети на Националния фестивал,

като разширява обхвата на дейностите по Европейската програма „*Science on Stage*“ за България. Медийни партньори на фестивала са Националното издателство „Аз-буки“, списание „Светът на физиката“ и интернет сайтовете Наука OFFNews и MediaBricks.

Националните фестивали имат състезателен характер и победителите от тях печелят правото да представят своите проекти на следващия Международен фестивал „Наука на сцената“. Последният ще се проведе от 24 до 27 март 2022 г. в Прага, Чехия, (<https://www.science-on-stage.eu/science-stage-festival-2022>), където ще участват около 450 проекта от 30 европейски страни.

Като част от подготовката за фестивала, след разгласяването на събитието на 23 април 2021 г. от 16:00 ч. беше проведен онлайн уебинар на тема: „Моят успешен проект в „Наука на сцената 8“. Целта му беше да бъдат разяснени условията за участие във фестивала тази година, критериите за оценка на проектите и други организационни въпроси, които вълнуваха кандидатите за участие. Дневният му ред беше:

1. Откриване.

2. Поздравление и информация за организацията на международния фестивал „*Science on Stage*“ в Прага, поднесено от Итка Хувкова (*Jitka Houfkova*), която е член на Европейския оргкомитет и един от главните му организатори.

3. Презентация от Ана Георгиева и Теодора Конова относно новостите при „**Провеждане на националния кръг**“, в която бяха изяснени регламентът, процесът на кандидатстване, сроковете за подаване на Заявката за участие (1.05.2021) и Формуляр за описание на проект (21.05.2021 г.).

В нея бяха формулирани и **основните аргументи при мотивацията на учителите за участие в програмата „Наука на сцената“** като:

- обмяната на опит между тях;
- възможността да се включат в мрежата от учители на европейско ниво;
- шанс да разширят своите хоризонти и да научат от своите колеги какво и как се случва в образованието извън България;
- да обменят помежду си идеи, с които да стимулират учениците да използват изследователския подход;
- да вдъхновят други учители да ги приложат.

4. Презентация на Румянка Гълчавова за проекта и „**Стъпка по стъпка ... активност**“, в който отчитайки новите обстоятелства на дистанционното обучение – заседналост пред „екрана“ и поява на непредвидени обществени ограничения, се предлага последствията от тях да се избегнат чрез цялостно активиране на тялото и духа и впоследствие превръщането им в спортна, научна и социална култура.

5. На края **Моника Ковачка-Димитрова сподели с участниците създаването на програмата „Science on Stage“ в България** от *SAP* и Фондация ФРГИ, която да се оформи като възникване на общност на учителите и посланици на „Наука на сцената“ в България.

Другата цел е превод и печат на учебните материалите от Science on Stage – Европа, като първият от тях – „Програмиране в помощ на *STEM* обучението“ (https://scienceonstage.bg/wp-content/uploads/2020/10/ws20114_SonSDE_Coding_BG_FINAL_WEB-1.pdf) вече е факт. Предстоят изданията: „Къщата на Лилу: езикови умения чрез експерименти“ и „*ISTAGE* 3: Футболът в обучението по наука“.

Разбира се, не на последно място, е и подкрепа на организацията на фестивала.

6. Въпроси и отговори.

Провеждане на Националния фестивал

Тази година фестивалът беше по-различен, защото се провеждаше **хибридно – присъствено в Средно училище „Васил Левски“ и онлайн, през платформата *Horin*, организирано и финансирано от *SAP – България* и Фондация „Работилница за граждански инициативи“**. Организирането на Фестивала в хибриден вариант е много по-сложно, но има и своите предимства, тъй като дава възможност да се включат повече участници и дори само наблюдатели.

Тържественото откриване на фестивала на 25.06.2021 г. започна с кратка програма, представена от Детска градина „Радост“ – Севлиево. Професор Ана Георгиева откри Фестивала, като благодари на домакините за добрата предварителна организация и на участниците, включили се в събитието въпреки сложната обстановка.



Откриване



Публика

Участниците бяха приветствани дистанционно от проф. д-р Нели Косева – заместник-министър на образованието и науката. Дистанционно се включи с приветствие и пожелание за успех на участниците и Итка Хувкова, член на Международния организационен комитет (МОК) на Европейската програма и един от главните организатори на фестивала в Прага.

Една от целите на този форум е учителите да се информират и да популяризират съвременните научни постижения. Затова и Националният организационен комитет предлага на аудиторията пленарни лекции, чрез които всички да се докоснат до тях. В деня на откриването бяха изнесени три и преди закриването на форума се проведеха 2 такива.

Никола Каравасилев от Частно основно училище „Наука за деца“ – *Izzi Science for Kids*, беше подготвил лекция на тема „(НЕ)познатата Вселена“. В нея бе разказано за съвременните представи за строежа на Вселената, а също и за това как, през какви етапи е преминал нейният „живот“ до този момент.

Лекцията „**Нива на информация в ДНК и отношението им към човешката личност**“ представи **проф. Христо Гагов** от Биологическия факултет на Софийския университет. Накратко в лекцията бяха представени основните функционални последователности в ДНК, които са кодиращите, регулаторните и структурните области. Коментира се връзката на ДНК с емоциите, мотивациите, навиците, характера, личния мироглед и поведението на човека.

Владимир Николов – докторант към Националния природонаучен музей при БАН и единственият в България палеохудожник, изнесе лекция на тема: „**Динозаврите като средство за научни дискусии и обучение на ученици**“. Тя беше обобщен поглед към съвременните разбирания на палеонтолозите за биологията и еволюцията на динозаврите, при което ще обърне внимание върху ключови моменти и теми, които са подходящи за дискусии с ученици и с обща публика.

Проф. Александър Драйшу – председател на Съюза на физиците в България, представи „**На сцената: оптичните комуникации**“. В нея беше описан съвременният етап на развитието на комуникациите – режимът на предаване на информацията, известен като мултиплексиране с разделяне по дължини на вълните. Очертано бе и реалното присъствие на оптичните комуникации в съвременните мобилни комуникационни мрежи.

Лекция на тема „**STEM в класната стая – мисията възможна**“ изнесе Десислава Цокова – учител от Професионална гимназия „Проф. д-р Асен Златаров“, гр. Видин. Лекцията разказа как да се комбинират различните науки и да се ангажират учениците с проекти, включващи практическо прилагане на знанията, придобити в *STEM* обучението.

На 8-мия Национален фестивал бяха представени на щандове **28 проекта**,

което е задължително, като 11 от тях се представиха онлайн и 17 присъствено – от София, Ботевград, Пловдив, Стара Загора, Сливен, Първомай, Плевен, Габрово, с. Средище – Силистра, Севлиево. От тях 6 бяха представени допълнително и като работилници, 16 като компютърни презентации. С най-много проекти – 8, участва иновативното Средно училище „Васил Левски“ – Севлиево. Преди обявяване на класирането в различните категории проф. Иван Лалов – председател на Националното жури, сподели своите впечатления и отправи поздравления към участниците.

Резултати



Жури „Щандове“



Работилница

Тази година НОК – България избра **Журито за 8НФ „Наука на сцената“** така, че да съдържа добра комбинация от предишни и нови членове, преподаватели от висши училища и учители по различните природни науки. То се ръководеше от определените от Международния организационен комитет (МОК) **основни и допълнителни критерии** за оценка, които са публикувани на страницата на фестивала.

Първоначално класирането се прави в три категории: **Работилници, Представяне на сцена и Щандове**. Всички проекти определят участието си в една от водещите теми, определени от МОК и дадени в регламента на фестивала (http://sons-bg.org/_SOS_8/Dokuments/Reglament-BuSOS8-23-26.04.2021_Bg.pdf).

Освен това на този фестивал, за първи път всички описания на проектите, които бяха задължителна част от регистрацията на кандидатите за участие, бяха оценени и от **2-ма рецензенти** – Милка Джиджова и доц. Нели Димитрова. Тези допълнителни оценки бяха осреднени с оценките на журито, като бяха отчетени и допълнителните критерии.

Според определената ни от МОК квота от **7 ръководители на проекти**, от които да се избераат: 2 от тях като **5*** проекти, които най-комплексно отразяват критериите и 2 предложения за представяне като Работилници (**Р**), като останалите членове са други проекти, които са отличени на Националния кръг, беше определен съставът на делегацията:

№	Име на проекта	Тема	Ръководител/ли	Училище/ Град
1	Един за всички. Работилница за най-малките, където и да се намираме	Многообразие в STEM образованието	Наско Стаменов	ЧОУ „Наука за деца“ – <i>Izzi Science for Kids</i> , София, Р
2	Физика и роботи – обучителен комплект	Технологии в STEM образованието	Грета Райковска, Милена Гошева	СПГЕ „Джон Атанасов“, София, Р
3	<i>MELiSSA (Micro Ecological Life Support System Alternative)</i>	Многообразие в STEM образованието	Христина Костадинова	Езикова гимназия „Иван Вазов“, Пловдив, 5*
4	Пречистването на битовите води – възможно	Цели за устойчиво развитие (ЦУР) на образованието	Катя Трифонова	СУ „Стоян Заимов“, Плевен, 5*
5	Отдолу нагоре – история за 20 кристала захар	Наука за най-малките	Златина Димитрова	ЧОУ „Наука за деца“
6	Стъпка по стъпка ... активности	ЦУР на образованието	Румянка Гълчавова	с. Средище, Силистра
7	Вълшебства сътвори и планетата спаси	Наука за най-малките	Кинка Иванова, Надя Христова	СУ „Васил Левски“, Севлиево
Резерва	„Полезните“ звъци в училище	STEM с изкуства	Ваня Ангелска, Ана Жекова, Теодора Конова	СУ „Васил Левски“, Севлиево
8			Грета Райковска	СПГЕ „Джон Атанасов“, София
9			Александър Асенов	СУ „Стоян Заимов“, Плевен

Допълнително НОК може да определи двама свои представители, като ръководители на делегацията, 1 одобрен **член на Международното жури** и до **2-ма гости** на собствени разноски. Те са дадени като № 8 и 9 в горната таблица.

Очевидно участвалите в предишни Национални и Международни фестивали се представиха по-добре, но журито, според инструкциите на МОК, даде предимство на нови участници във фестивала. Спазено беше и изискването за равномерното разпределение на отличените участници по теми на проектите

им, по различните нива на образованието и по предметите, преподавани от тях. На фестивала логото на програмата „Наука на сцената“ – „От учители за учители“, бе изпълнено със съдържание, тъй като бяха включени всички елементи, подпомагащи повишаването на нивото на преподаване на природните науки у нас. Учителите, представили проекти, имаха възможност да обменят опит и идеи за по-интересното и атрактивно представяне на учебния материал, както и за повишаване и актуализиране своите собствени знания по съвременните проблеми на природните науки.

Осмият фестивал „Наука на сцената“ същевременно беше вълнуващ и атрактивен поради участието на ученици от всички нива на образованието. Те имаха възможност да покажат какво е привлекателното за тях в природните науки и как те могат да се използват във всекидневието и дейността на всеки.

За първи път бяха раздадени на ученици, участващи в Националния фестивал „Наука на сцената 8“, специални награди:

Награда	Име на ученик	клас	Училище	Град
„Най-добър бъдещ предприемач“	Василена Шопова	10 кл.	СУ „Васил Левски“	Севлиево
„Проект, вдъхновен от личен опит“	Ванина Андонова	9 кл.	ПГПЗЕ „Захарий Стоянов“	Сливен
„Най-добро онлайн представяне“	Андреа Давидова	11 кл.	ППМГ „Акад. проф. Асен Златаров“	Ботевград
„Най-добър млад изследовател“	Християна Христова	пг	ДГ „Радост“	Севлиево
„Най-добро представяне на арт инсталация“	Елица Пенчева	9 кл.	СУ „Васил Левски“	Севлиево
„Най-компетентно отговаряне на журито“	Ивайло Асенов	10 кл.	СУ „Васил Левски“	Севлиево
„Най-добро дирижиране на отбора“	Юлия Радионова	5 кл.	СУ „Васил Левски“	Севлиево
„Най-добра демонстрация на работилница“	Любомир Тодоров Атанас Кадиев	10 кл.	СПГЕ „Джон Атанасов“	София
„Най-бързи и точни отговори“	Владислав Петров	11 кл.	СУ „Стоян Заимов“	Плевен
„Най-вдъхновяващо представяне“	ЕКИП „Полезните звуци в училище“	8 кл.	СУ „Васил Левски“	Севлиево
„Най-добрите млади еколози“	ЕКИП проект „Вълшебство сътвори и планетата спаси“	3 кл.	СУ „Васил Левски“	Севлиево

На фестивала бяха представени и множество интересни примери за реално прилагане на природните науки. Учениците и техните ръководители показваха с вдъхновение, усмивки и забавление, че за опитите по физика и астрономия, химия и биология, не са нужни скъпи инструменти, оборудвани лаборатории или специална екипировка. Участниците от цялата страна демонстрираха, че за да изследваш границите на науката е необходимо единствено огромно желание за познание. Фестивалът беше отразен от нашите медийни партньори: вестник „Аз-буки“, „За динозаврите, роботите и още нещо...“, бр. 27, 8 – 14. 07. 2021 г. стр. 20.

Дните на фестивала бяха посветени на науките и на стремежа да се извлече всичко полезно от тях и да се направи интересно и достъпно за всеки, пожелал да бъде част от този форум.

А вие, скъпи учители, продължете да се вълнувате, да вкарвате много емоция в работата си, да търсите нови предизвикателства, с които да запалвате интереса и любопитството на учениците към природните науки, а това да увеличи желанието им да се изявяват на сцената на науката.

Сигурни сме, че всеки от вас, в това осмо издание на „Наука на сцената“ 2021 е добавил още нещо в своята кошница, пълна с опит, идеи, иновативни подходи, провокации към учениците, провокации за себе си и си тръгна от Севлиево удовлетворен, защото трудът, вложен в работата с ученици, си е заслужавал!

WHAT WAS NEW AT THE 8TH NATIONAL „SCIENCE ON STAGE“ FESTIVAL

Prof. Ana Georgieva, D.Sc.,
Chairman of the National Steering Committee of
„Science on Stage – Bulgaria“

The preparation, organization and results of the 8th National „Science on Stage Festival“ are briefly presented. Special attention is paid to the innovations in its implementation, such as its hybrid form – face-to-face and remote presentation of the participating projects through the Hopin platform, which is a result of new and fruitful cooperation of National and Local Organizing Committee with the technological giant SAP and the Civic Initiatives Workshop Foundation. For the first time, special prizes were awarded to students participating in the National Festival. The final ranking by the jury, under a new more detailed procedure, of the teachers that form our national delegation at the International festival in Prague, Czech Republic, March 24 – 27, 2022, is also given.

НАЦИОНАЛЕН КОНКУРС ЗА ЕСЕ НА ТЕМА „ГОЛЕМИТЕ ОТКРИТИЯ ВЪВ ФИЗИКАТА НА ХХ ВЕК“

Пенка Лазарова

Класацията на журито в поредния Национален конкурс за есе на тема „Големите открития във физиката на ХХ век“ в трите възрастови групи: ученици (5 – 8 кл.), (9 – 12 кл.) и студенти, можете да видите на сайта на СФБ: http://upb.phys.uni-sofia.bg/conference/NK/concurs_eseta2021_klasirane.pdf.

На вниманието на читателите на брой 3 на сп. „Светът на физиката“ предоставяме подбрани извадки от есетата на участниците в конкурса от възрастова група 9 – 12 кл. Две от наградените есета са в пълен текст или с малки съкращения. Впечатление прави подходът към темата, който имат учениците от тази възрастова група. Те се вълнуват от самите процеси на творчество, от невероятно широкия спектър на откритията от атома до Космоса и Вселената, както и на ролята на физиката върху общественото развитие.

Александра Попова – 11 кл., ПГ по телекомуникации – София

Корените на физиката са скрити в разсъждения на философите от Древността, но те и до днес подхранват гигантското дърво на тази фундаментална природна наука, дърво, което продължава да расте, да се развива и да протяга клоните си към Космоса. Големите открития в областта на физиката през този противоречив 20-ти век са и един вид компенсация от страна на учените за безумието и апокалипсиса на Първата и Втората Световна война, потопили човечеството в неизмерими страдания.

Тези открития се превърнаха в истински Рубикон, с чието преминаване прогресът се ускори експоненциално. Промениха се всички аспекти както на човешкия живот, така и на околната среда, а ние, хората, от земни обитатели се превърнахме в мултипланетарни. Знанието ни расте, позволява ни да правим нови неща, които преди не сме си и представяли. Всичко това се случва благодарение на гениалните физици – една плеяда от звезди, всяка от които прониза Вселената със своя собствена, уникална светлина.

Какво ли е мотивирало тези брилянтни умове да прекарват безброй часове в изчисления и експерименти, в търсене на отговорите на хилядолетни въпроси, вълнували човечеството? ... Според мен пътеводна светлина им е бил фактът, че в странния и магически свят на физиката невъзможното в крайна сметка след

дълго търсене се оказва възможно. Търсенето е в основата на всяко откритие – голямо или малко. Навярно такъв е и замисълът на самата природа – да разбулва причудливите си явления и закономерности само на упорито търсещите и така да им се отблагодарява.

Ивета Иванова – 11 кл., СУ „Цар Симеон Велики“ – Видин

...На границата на две столетия физиката представлява силна наука със своите неоспорими резултати, с проблеми и с перспективи. Сега физиката си поставя мащабни задачи, които търсят отговор на фундаментални въпроси – свръхобединение, развитие на Вселената като цяло, квантови комуникации, физиката и животът.

Животът ни напомня, че не е нито много хубав, нито много лош. Животът е интересен. В човека е заложено вечно любопитство към света и вечен интерес към неговите закони. Физиката има неизменната задача да отговаря на тези интелектуални нужди на хората и – от друга страна, да променя нашия живот.

Лора Прокопиева – 9 кл., СУ „Цар Симеон Велики“ – Видин

Безспорно физиката е изключителна наука, която може да даде отговор на много въпроси. ...За мен измислянето и създаването на квантов компютър е едно от най-великите открития на ХХ век. Изобретяването на квантовия компютър доказва на човечеството, колко велика може да бъде човешката мисъл.

Светлозара Златанова – 9 кл., ГПЧЕ „Йордан Радичков“ – Видин

За мен едно от най-интересните и значими открития на физиката през ХХ век е лазерът. Едва ли бихме могли да си представим съществуването на определени дялове от науката и практиката без приложението на лазера. Широко използван в медицината, енергетиката, военното дело и индустриалното производство, лазерът значително улеснява живота днес.

...Думата „лазер“ предизвиква в ума асоциация за това, което може да бъде описано като „модерен“ живот... Човекът е показал през годините, че неговото любопитство и интерес водят до непрекъснати открития, които не само улесняват живота, но го правят по-интересен и по-смислен. А времето ще покаже, че бъдещите постижения на физиката през ХХІ век ще бъдат създадени от нас – днешните деца.

Цветомир Димитров – 10 кл., ГПЧЕ „Йордан Радичков“ – Видин

За съжаление, едни от най-големите открития в науката са били свързани с желанието на човекът да унищожава и взривява неща. Например немският учен Фритц Хабер намира начин да извлече азот от атмосферата, за да се ползва в бомби през Първата световна война. Но пък това откритие създава и първата синтетична тор, която революционизира агрикултурата по света. Барутът пък е създаден от китайците, но пък използван от европейците да колонизират половината свят. Нищо от това не е вина на науката. Когато откриваме важни истини за света, е наша отговорност как да ползваме тези технологии, тъй като може да са нещо хубаво или Армагедон за човечеството.

Анастасия Главчева – 10 кл., ППМГ „Васил Левски“ – Смолян

XX век е времето на новите открития във физиката. Във сфери, в които се е смятало, че вече всичко е познато и няма нищо за откриване, настъпват такива промени, които ни удивляват и до днес. Радиоактивният разпад, Теорията на относителността, деленето на атомното ядро са само част от откритията, които за някои не говорят нищо, но без тях животът нямаше да е такъв, какъвто го познаваме... Днес публикуването на Закона на Планк за абсолютно черно тяло се разглежда като рождена дата на квантовата механика и е най-голямото постижение в неговата научна кариера. Така започва големият поход на човечеството в квантовата страна на чудесата, а през 1918 г. Планк получава Нобел „за услугите, които оказва на физиката с откритието на квантовата енергия“.

Величко Палагачев – 9 кл., ППМГ „Васил Левски“ – Смолян

Двадесети век е време на надежда и ентузиазъм. Този век може да се нарече Векът на откритията, защото през него са направени открития, които променят бъдещето на човечеството.

Според мен едно от най-важните и полезни открития, които са направени през този велик за нас век, е преносимия клетъчен телефон или още наричан мобилен телефон... Друго също велико за човечеството откритие е ядрената енергия. Тя произвежда голямо количество енергия, без която човечеството не може да живее нормално.

...Векът на откритията промени бъдещето ни.

Константин Блецов – 9 кл., ПГПЗЕ „Захарий Стоянов“ – Сливен

В началото на XX век започват да се получава съмнения за изчерпателността и точността на някои от класическите теории. Възникват неточности и необясними феномени. Физици като Хендрик Лоренц, Емил Кон, Ернст Вихерт и Вилхелм Виен твърдят, че чрез корекции на класическите теории могат да се изградят основите на всички физичните закони. Опитите им за поправки са неуспешни и започват да се мислят нови идеи. Така започва един от най-иновативните периоди за физиката и се поставят основните на съвременната форма на науката...

АБОНИРАЙТЕ СЕ

Абонамент за 1 година (4 броя) – 20 лв. За членове на СФБ – 16 лв.

За ученици, студенти и пенсионери – 10 лв.

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

Цена за 1 книжка – 5 лв.

Банкова сметка: Първа Инвестиционна Банка

IBAN: BG91FINV91501215737609; BIC: FINVBGSF

СТАНЕТЕ НАШИ АВТОРИ

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

Броевете на списанието можете да намерите на сайта ни

wop.phys.uni-sofia.bg

и на адрес:

Съюз на физиците в България, Физически факултет

СУ „Св. Климент Охридски“

бул. „Джеймс Баучер“ 5, София 1164

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

ТРАНЗИСТОРИ

Димо Деспов – 10 кл.,
Средно училище „Любен Каравелов“ – Димитровград,
научен ръководител: Таня Ганева

Транзисторът е само едно от многото велики открития на физиката през XX век. Той е изобретен през 1947 г. от сътрудниците на *Bell Labs* Джон Бардин, Уилям Бредфорд Шокли и Уолтър Хаузер Бретен. За това изобретение те са удостоени с Нобелова награда за физика през 1956 г. 23 декември 1947 г. може да се смята за революционна за човечеството дата. На този ден се ражда полупроводниковият прибор, наречен транзистор, без който днес технологичният прогрес нямаше да се състои.

Този прибор е влиятелно малко изобретение, което промени хода на историята по голям начин за компютрите и цялата електроника. Транзисторите са причината за дигиталната революция. Без транзисторите технологичните чудеса, които всеки от нас използва всеки ден, като мобилни телефони, компютри, автомобили, щяха да бъдат много различни.

Някои от тях дори нямаше да съществуват.

Корените на транзистора като електронен елемент могат да се проследят до 1833 г., когато известният английски физик Майкъл Фарадей забелязал, че електропроводимостта на сребърна сулфид се увеличава при загряване. Около век след това, през 1925 г., в Канада, физикът Джулиъс Едгар Лилиънфелд подава първата заявка за патент на транзистор, описвайки устройство, подобно на полеви транзистор. Лилиънфелд не публикува своите изследвания в тази област, нито в патента му се споменават действително конструирани устройства. Получил патент за изобретение на име „Метод за управление на електрически ток“, като с него той на практика предвидил, но все пак не изобретил транзистора.

През 1934 г. германският инженер Оскар Хайл патентова подобно електронно устройство.

През 1942 г. германецът Херберт Матаре започва да експериментира с т.нар. „дуодиоди“, докато работи върху детектор за доплерова радиолокаторна система. Дуодиодите, конструирани от него, имат два отделни, но много близки метални контакти върху полупроводниковата подложка. Той открива ефекти, които не могат да бъдат обяснени с работата на два независими диода, и достига до основната идея на по-късните точкови транзистори. Истинската работа по изследването на свойствата на полупроводниците започва през 1936 г. в

лабораториите на *Bell Labs*.

Тогава ученият Уилям Шокли получава финансиране и екип, за да проучи възможността за създаване на „твърдотелни превключватели, способни да заменят електромеханичните релета в телефонните централи“.

До края на 1939 г. проучванията на Шокли довеждат до формулирането на принципа на работа на полевите транзистори – електронни устройства, в които протичащият между двата електрода ток се управлява от външно поле, създавано посредством трети (управляващ) електрод, изнесен извън канала, по който протича основният ток.

По това време все още експерименталните образци се разработват на база полупроводниковите свойства на медния прекис. Тъй като те не дават нужните резултати, започва търсене на материал, който да ги замени. Но избухването на Втората световна война временно прекратява изследванията в областта на полупроводниковите прибори. Уилям Шокли е мобилизиран и през годините на войната се занимава с решаването на практически задачи в областта на радиолокационните устройства.

През юни 1945 г. *Bell Labs* създават група по физика на твърдото тяло в лабораторията, начело на която отново застава Уилям Шокли. Съвместно с теоретика Джон Бардийн, Уолтър Братейн, експериментатора Джералд Пирсън, физика Робърт Джибни и електроинженера Хилбърт Мур, се фокусират по работа върху полупроводников прибор, базиран на германий или силиций. Първите опити не дават очаквания резултат – теоретично предвидените стойности на полупроводниковия ефект се оказват три пъти по-слаби от получаваните в процеса на реализиране на реални устройства.

През цялата 1947 г. екипът търси решение на проблемите, с които се сблъскват при реализация на проектното устройство. Все повече се отдалечават от концепцията на полевия транзистор и се завръщат към идеята за точков прибор. Първият успех идва на 10 декември 1947 г. В разработката на база на германиева пластина екипът заменя еднородния полупроводник с двуслойна структура и постига желаният ефект на усилване. Но все още има проблем – устройството се оказва неприемливо бавно, дори при усилване на звукови честоти. Извършват още едно подобрене. Заменят електролита между двата полюса с тънък слой германиев окис.

На 23 декември 1947 г. Уолтър Братейн демонстрира пред колегите си и ръководството на *Bell Labs* транзисторен усилвател на звукови честоти с 15-кратно усилване по напрежение. При честота на входния сигнал от 10 MHz усилването е 20 dB, при изходна мощност от 25 mW. На практика това е рожденият ден на полупроводниковия транзистор.

На следващия ден Братейн демонстрира и първият генератор, работещ с

транзистор.

Bell Labs се нуждаят от име на новото устройство. Предлагани са „полупроводников триод“ (*semiconductor triode*), „*Solid Triode*“, „*Surface States Triode*“, „*crystal triode*“ и „*Iotatron*“, но в крайна сметка е избрана думата „транзистор“, предложена от Джон Пирс. Транзистор е образуван от думите *transfer* - пренасяне и *resist* - съпротивление. На практика транзисторите може да се представят като регулируемо съпротивление на тока, който протича между емитер и колектор, посредством подаването на различно напрежение между базата и емитера.

В *Bell Labs* са наясно, че откритието им е революционно, затова за известно време е засекретено. Представянето му пред широка публика се състои през месец юни на следващата, 1948 г. Веднага започват разработки на методи за масово производство на новия полупроводников прибор. С течение на годините са открити и нови типове транзистори, които заради своята миниатюрност успешно изместват използваните до тогава в електронните устройства вакуумни лампи.

Първият силициев транзистор е създаден от Тексас Инструмънтс през 1954 г. в резултат на работата на Гордън Тийл, специалист по нарастване на кристали с висока чистота, който преди това също работи в Лабораториите Бел. Първият работещ МОП (униполярен) транзистор е конструиран в Лабораториите Бел през 1960 г.

Днес транзисторите са навсякъде около нас. Дори в процесорите на най-обикновените електронни устройства вече има милиони от тях.

Транзисторът е полупроводников активен електронен компонент, който осъществява усилване, комутация и преобразуване на електрически сигнали.

Транзисторите са в основата на всички съвременни електронни устройства и се използват практически във всички съвременни битови уреди – от компютъра, базиран на милиони транзистори, до усложненото съвременно електронно управление на климатика, хладилника, автомобила и прахосмукачката, без което те все пак са работели и преди „полупроводниковата“ ера. В наше време повечето транзистори се използват не самостоятелно, а в състава на интегралните схеми, като технологията на производството им позволява едновременното производство на милиони от тях на един полупроводников чип.

Транзисторът се изработва от германиева (по-старите) или силициева плочка с 3 зони с различно легиране които формират P-n преход (среща се и като електронно-дупчест преход/и), *PNP* или *NPN*. Изводите на транзистора имат следните наименования: емитер (*E*), база (*B*) и колектор (*C*) – за биполярните, и съответно – сорс (*S*), гейт (*G*) и дрейн (*D*) – при полевите транзистори (среща се и като униполярни транзистори, обозначават се и с *FET* или *MOSFET*). При биполярните транзистори преходното съпротивление на всяка двойка от трите

извода на транзистора може да се определи с омметър (поставен на позиция обозначена с диод), като практическо значение за проверка здрав/изгорял има измерването на BE и BC като диоди и EC за прекъснал/пробил. Изводът, който участва и в двата PN прехода, е базата (B). Транзисторите се използват предимно като усилватели, превключватели и генератори. От гледна точка на популярна представа транзисторът може да се разглежда като управляемо съпротивление или управляем кран за течност.

Транзисторът е основният активен компонент в практически всички съвременни електронни устройства и често е определян като едно от най-значимите изобретения на XX век. Широкото му значение днес се дължи на възможността за серийно производство с помощта на високоавтоматизирани технологии, с които се постига изключително ниска себестойност на отделното устройство.

Макар че няколко компании произвеждат годишно по повече от 1 млрд. самостоятелни транзистора, основната част от тях днес се произвеждат като част от интегрални схеми (чипове), които включват също диоди, резистори, кондензатори и други компоненти, обединени в сложна електронна схема. Например, логическите елементи обикновено включват до 20 транзистора, а към 2009 г. модерните микропроцесори могат да съдържат до 3 млрд. транзистора. През 2002 г. един коментатор пише: „Около 60 милиона транзистора бяха конструирани тази година само за вас, по 60 милиона за всеки от приятелите ви, ... по 60 милиона за [всеки] мъж, жена и дете на Земята“.

Ниската стойност, гъвкавостта и надеждността превръщат транзистора в повсеместно използвано устройство. Транзисторните мехатронни схеми изместват електромеханичните устройства, използвани за управление на машини и други уреди. Често в тези случаи по-простото и евтино решение е да се използва стандартен микроконтролер със специфичен за съответната функция софтуер, отколкото да се проектира еквивалентна система за механичен контрол.

Научните постижения на физиката помагат за създаването на света, които познаваме днес. Транзисторите несъмнено са едно от най-значимите изобретения на XX век. Те се появяват в живота на човек за да заменят електронните лампи. Дълго време лампите бяха единственият активен компонент на всички електронни устройства, въпреки че имаха много недостатъци. На първо място, това е голямата консумация на енергия, големият размер, краткият живот и ниската механична якост. Тези недостатъци се усещаха все по-рязко с подобряването и усъвършенстването на електронното оборудване. Истинската революция в радиотехниката настъпва, когато остарелите лампи биват заменени от полупроводниковите усилващи устройства – транзистори, лишени от всички споменати недостатъци. Днес от дистанцията на времето ние може да кажем, че без това удивително изобретение никога не би могла да настъпи

информационната епоха. Миниатюрното цилиндърче, което беше изобретено преди половин век от Бардийн, Братейн и Шокли, напълно и завинаги промениха обкръжаващият ни свят.

Великите открития на физиката през ХХ век отварят нови хоризонти за развитието на човечеството. Някой от тях са довели до незабавни иновации, а други са само частица, върху която се надгражда и чрез която се стига до големите постижения. Те са дело на човешкият ум и изобретателност.

Литература:

Александър Алешин, Транзисторът - на 50 години. И след това ..., Светът на физиката 1/2001, стр. 20 и <https://obuch.info/tranzistort-na-50-godini-i-sled-tova.html>

<https://bg.wikipedia.org/wiki/Транзистор>

http://historynakratko.blogspot.com/2015/12/blog-post_577.html



СПИСАНИЕ „СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА“ СЪЮЗ НА ФИЗИЦИТЕ В БЪЛГАРИЯ

Списанието „Светът на физиката“

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



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

ГОЛЕМИТЕ ОТКРИТИЯ ВЪВ ФИЗИКАТА НА XX ВЕК

Беатрис Балева – 9 кл.,
ПППЗЕ „Захарий Стоянов“ – Сливен,
научен ръководител: Гинка Велева

Физиката е изследване на природата, която ни заобикаля, или по-точно на света, в който живеем. Точно това означава думата „физика“ на гръцки и латински: „естествена наука“. Светът около нас варира от атомите и елементарните частици, които ги съставят, до цялата Вселена. Великият физик д-р Ричард Файнман дава страхотно описание на това, което е „разбиране на природата“. Да кажем, че не знаем правилата на шаха, но имаме възможността да наблюдаваме движенията на играчите. Ако гледаме играта достатъчно дълго време, ще можем да разберем някои от правилата. С познаването на тези правила можем да се опитаме да разберем, защо даден играч е изиграл определен ход. Това обаче може да е много трудна задача. Дори да знаем всички правила на шаха, не е толкова лесно да разберем цялата сложност на играта в дадена ситуация и да предскажем правилния ход. Знаем обаче, че единствената ни цел е постигане на някакъв напредък. Човек може да отгатне грешно правило, като частично гледа играта. А играчът с опит може да се възползва от дадено правило и да използва ход, който досега не е използвал и наблюдателят на играта може да се изненада. Поради новите ходове някои от правилата могат да се окажат грешни и наблюдателят ще трябва да преустанови своите разсъждения. Физиката функционира на същия принцип. Всичко около нас е като голяма игра на шах, изиграна от природата. Събитията в природата са като ходовете на великата игра. Разрешено ни е да наблюдаваме събитията в природата и да познаем основните правила, според които се случват събитията. Може да се натъкнем на ново събитие, което не следва правилата, познати по-рано, и може да се наложи да обявим старите закони за неприложими или грешни и да открием нови такива. Физиката е всичко това, което е между реалността и недействителността. Тя е като Вселената – крайна, но неограничена. Така че накратко физиката е онова неописуемо приключение, което се стреми към пълно разбиране на връзките на цялото ни познато и все още непознато преживяване. Физиката обхваща изучаването на Вселената от най-големите галактики до най-малките субатомни частици. Нещо повече, ние използваме физика всеки ден. Когато се погледнем в огледало или сложим чифт очила, ние използваме физиката на оптиката. Когато настройваме будилниците си, когато следваме карта, ние се ориентираме в геометрично пространство. Нашите мобилни телефони ни свързват чрез невидими електромагнитни нишки към сателити,

орбитиращи над главата. Но физиката не е свързана само с технологиите. Дори кръвта, която тече през артериите ни, следва законите на физиката.

Нищо от това обаче не би могло да бъде реалност без заслугите на физиците през XX век. Нова ера във физиката, обикновено наричана съвременна физика, започва към края на XIX век. Съвременната физика се развива главно поради откритието, че много физически явления не могат да бъдат обяснени от класическата физика. Двете най-важни разработки в съвременната физика са теориите на относителността и на квантовата механика. Теорията на относителността обикновено включва две взаимосвързани теории на Алберт Айнщайн: Специална и Обща теория на относителността. Специална теория на относителността се отнася за всички физически явления при липса на гравитация. Общата теория на относителността обяснява закона на гравитацията и връзката му с други природни сили. Теорията на относителността на Айнщайн революционизира традиционните концепции за пространство, време и енергия, а способността на Айнщайн се откроява с ролята му за преодоляване на редуционизма и въвеждането на нова физическа методология. Алберт Айнщайн излага своята Специална теория на относителността през 1905 г., но той напълно формулира своята Обща теория десет години по-късно, през 1915 г., публикувайки я през 1916 г. Тази теория представя изключителен и революционен възглед за физическия свят, предоставяйки дълбоки и нови прозрения. Въпреки това смятам, че са малко онези, които разбират истинската същност, смисъл и роля на специфичните понятия, въведени от Айнщайн, и най-вече дълбочината на методологичните промени, които той е насърчил. Не само това, но мнозинството дори не са наясно с факта, че през 1900 г. е имало не само един, но два документа на Планк за радиацията на черните тела или че Айнщайн в ранните си документи между 1902 и 1904 г. е поставил основите на статистическата механика, които обикновено се приписват на Гибс. Най-важният резултат от общ характер, до който е довела Специалната теория на относителността, е свързан с концепцията за масата. Преди появата на Закона за относителността физиката е признавала два закона за запазване, а именно, Законът за запазване на енергията и Законът за запазване на масата; тези два основни закона изглеждат доста независими един от друг. Посредством Теорията за относителността те са обединени в един закон. Освен това Теорията за относителността води до нова теория за гравитационните явления, която отвежда физиката много по-далеч от тази на Нютон. Пространство, време и гравитацията играят във физиката на Айнщайн част, коренно различна от тази, която им е възложена от Нютон.

Когато говорим за значими и големи открития, няма как да не отбележим квантовата физика. Класическата физика, макар и все още доста добра, не може да се припокрие с някои сегашни теории и представи за света. Когато физиците

насочват вниманието си към микроскопичните съставки на материята – атоми и молекули, те откриват нови явления, които не могат да обяснят с физиката, която познават. Изглеждаше, че законите и уравненията, които използват, вече не се прилагат. Физиката била на път да претърпи промяна. Първият голям теоретичен пробив – концепцията за кванта – е направен от германския физик Макс Планк. В лекция през декември 1900 г. той предлага революционната идея, че топлината енергия, излъчвана от топло тяло, е свързана с честотата, при която атомите му вибрират, и следователно тази излъчвана топлина е „бучка“, а не непрекъснатата, излъчвана като дискретни пакети енергия, които стават известни като кванти. В рамките на няколко години Айнщайн предполага, че не само излъчването на Планк се излъчва в „бучки“, но че цялото електромагнитно излъчване, включително светлината, идва в дискретни кванти. Сега ние наричаме един квант светлина – частица светлинна енергия – фотон. В продължение на четвърт век физиците се мъчели да осмислят тези квантови явления, които в крайна сметка включват радиоактивност, спектроскопия и атомна физика. Когато Планк намира решение на чисто физически проблем, никой не предвижда глобалните последици от новите му идеи. Започвайки с Планк, човечеството започва да преодолява класическата система на мислене. Можем да кажем, че той е станал баща на ново, некласическо мислене в естествената наука, чиято основна черта е признаването на стохастичната природа на явленията като неразделен фактор за съществуването на природата. С течение на времето обаче се оказва, че радикалните мисли на Планк отварят напълно нови посоки, за развитието на които ще се заемат представители на много науки. Последиците от работата на Планк за физиката се отразяват в ново разбиране за поведението на материята. Алтернативните модели на частица и поле са заменени от двуединен модел вълна-частица, който до голяма степен съответства на сложността на реалната природа. Именно тази част от откритието на Планк има универсално човешко измерение. Некласическото мислене формира образа на света не под формата на адитивна съвкупност от обекти, явления и видове култури, а под формата на сложна система на взаимодействие между частите и цялото. Благодарение на него се изгражда цялостна картина на света, която по принцип не се дели на отделни фрагменти. В квантовата физика обаче е невъзможно да се спомене броя на всички участващи учени, идеите, с които са се справили, и концепциите, които са въвели, да не говорим за техните наблюдения и експерименти. Мога само да кажа, че решаващ момент в историята на квантовата физика настъпва през 1925 г., когато млад немски физик на име Вернер Хайзенберг разработва първата последователна формулировка на квантовата механика. Скоро след това австриецът Ервин Шрьодингер открива нова версия (те скоро се оказват идентични): квантова механика на вълните. Квантовата физика на Хайзенберг и

Шрьодингер отваря нов свят както в научно, така и в технологично отношение. Въпреки това, физиците са склонни да използват термини като „странен“ или „контраинтуитивен“, за да опишат квантовия свят. Защото въпреки че теорията е силно точна и математически логична, нейните числа, символи и предсказваща сила са фасада, криеща реалността, която трудно можем да примирим с нашия възглед за ежедневния свят. Има обаче изход от тази прогноза. Тъй като квантовата механика описва субатомния свят толкова забележително добре и тъй като е изградена върху такава пълна и мощна математическа рамка, се оказва, че можем да я управляваме, като се научим как да използваме нейните правила, за да правим прогнози за света и да я използваме, за да разработим технологии, които разчитат на тези правила, оставяйки извиването на ръцете и разклащането на главата на философите. В крайна сметка този лаптоп, на който пиша, нямаше да съществува, ако не беше развитието на квантовата механика, която ни позволи да създадем модерна електроника. Квантовата механика промени не само начина, по който гледаме на света, а по-скоро нашата позиция в света. Тя ни даде почти всички съвременни технологии и рестартира нашето разбиране за природата. Това беше ново начало за човешката раса да гледа на света от различен ъгъл.

Квантовата механика и относителността са толкова красиви и постоянно объркващи парадигми, които упорито отказват да се съобразят с ежедневната ни интуиция за същността на времето, пространството и как се държат обектите в нашия свят. В известен смисъл, какво би могло да бъде по-удовлетворяващо от това, да имате толкова често възпрепятстван мироглед и с толкова странни намеци за неразбираемо величие. Тези открития са бижута в короната на човешките интелектуални постижения.

Четенето на великите трудове на няколко учени може да създаде впечатлението, че науката се извършва главно от малък брой физици. Това впечатление обаче е невярно. Докато учените, които се разглеждат тук, със сигурност са необикновени личности, научното начинание всъщност е резултат от усилията на много хора, всички допринасящи. Но за съжаление има много важни за историята на физиката хора, които остават в сянката на други.

Едно от най-важните и базови открития на ХХ век е откриването на атомното ядро. През 1911 г. Ръдърфорд, Марсдън и Гейгер откриват плътното атомно ядро, като бомбардират тънък златен лист с алфа-частици, излъчвани от радий. След това Ръдърфорд и неговите ученици преброяват броя на искрите, произведени от тези алфа частици на екран с цинков сулфат. От това наблюдение те стигат до извода, че почти цялата атомна материя е концентрирана в малък обем, разположен в центъра на атома – атомното ядро. Откриването на ядрото кара Нилс Бор да направи първото теоретично представяне на атома.

„Квантовомеханичната“ революция, завършила с по-късните разработки, направени от Ервин Шрьодингер, постави основите на нашето разбиране за безкрайно малкото. Планетарният модел на атом на Ръдърфорд е от решаващо значение за разбирането на характеристиките на атомите и техните взаимодействия и енергии. Също така, това беше индикация за това, колко различна е природата от познатия класически свят в малкия, квантовомеханичен мащаб. С откриването на подструктура на цялата материя под формата на атоми и молекули се предприема още една стъпка напред, за да се разкрие подструктура на атомите, която е по-проста от 92-те елемента, известни тогава.

Друго откритие бива направено през 1911 и 1912 г., когато австрийският физик Виктор Хес прави серия от изкачвания във водороден балон, за да направи измервания на радиацията в атмосферата. Той търси източника на йонизиращо лъчение, регистрирано на електроскоп. По това време се смятало, че въздухът е изолатор, а не електрически проводник. С повече работа обаче учените открили, че въздухът може да провежда електричество, ако молекулите му се зареждат или йонизират. Това най-често се случва, когато молекулите взаимодействат със заредени частици или рентгенови лъчи. Но откъде идват тези заредени частици е загадка. На 7 август 1912 г. физикът Виктор Хес прелетява с балон до височина 17 400 фута (5300 m). Той открива три пъти повече йонизиращо лъчение там, отколкото на Земята, което означава, че радиацията трябва да идва от Космоса. Всъщност Хес е открил естествен източник на високоенергийни частици: космически лъчи.

Важна роля в квантовата физика има Луи дьо Бройл, който постулира вълновата природа на електрона. Формулата на Комптън установява, че електромагнитната вълна може да се държи като частица светлина при взаимодействие с материя. Но през 1924 г. Луи дьо Бройл предлага нова хипотеза – че електроните и другите частици на материята могат да се държат като вълни. Днес тази идея е известна като хипотезата на дьо Бройл за материалните вълни. През 1926 г. тази хипотезата, заедно с ранната квантова теория на Бор, водят до разработването на нова теория на квантовата механика на вълните, която описва физиката на атомите и субатомните частици. По този начин квантовата механика проправя пътя за нови инженерни изобретения и технологии като лазерно и магнитно резонансно изображение. Тези нови технологии водят до открития в други науки като биологията и химията.

Радиоастрономията също се ражда в началото на XX век. През 1932 г. млад инженер на име Карл Г. Янски се справя с озадачаващ проблем: шумната статика пречи на радиовълновите трансатлантически гласови комуникации с къси вълни. След месеци на проследяване на източника той забеляза, че той се премества бавно по небето. По късно той се консултира с астроном и стигна

до изумително заключение. Янски открива нещо в сърцето на галактиката Млечен път. Неговата работа довежда до една от най-важните статии в историята на астрономията през XX век, наречена „Радиовълни извън слънчевата система“, публикувана през 1933 г. Неговата работа полага основите на науката за радиоастрономията.

Благодарение на Стивън Хокинг освен радиоастрономията космологията също претърпява голямо развитие. През 1970 г. д-р Хокинг започва работа по характеристиките на черните дупки. В резултат на неговите изследвания е предсказано, че черните дупки излъчват лъчение в спектралния диапазон от рентгеново до гама-лъчение. През 80-те години той се връща към интересите си от по-ранните години за произхода на Вселената и как квантовата механика може да повлияе на нейната съдба. През 1970 г. Хокинг работи над сингулярностите. Теорията на гравитацията на Айнщайн също разказва за сингулярности, където пространство-времето изглежда е безкрайно извито. Но по това време не е ясно дали особеностите са реални или не. Тогава Роджър Пенроуз доказва, че сингулярностите наистина се образуват в черни дупки. По-късно Стивън Хокинг прави новаторска работа върху сингулярностите и я прилага за цялата Вселена и казва, че гравитацията поражда сингулярности. Той също така казва, че теорията на Айнщайн предсказва сингулярност, която е теорията за Големия взрив. Освен това Стивън Хокинг открива законите на механиката на черните дупки. Първият му закон гласи, че общата повърхност на черната дупка никога няма да намалее. Друг закон гласи, че черните дупки са горещи. Но противоречието на класическата физика гласи, че черните дупки не излъчват топлина. Друг закон е, че черните дупки излъчват лъчение, което може да продължи, докато те изчерпят енергията си и се изпарят. Той също се е интересувал от установяването на квантова теория на гравитацията. С Джеймс Хартъл публикува модел на състоянието на Хартъл-Хокинг през 1983 г. Тази теория гласи, че времето не е съществувало преди експлозията на Големия взрив и следователно концепцията за началото на Вселената е безсмислено. Вселената няма никакви първоначални граници във времето или пространството. Откритията на Хокинг свързват три преди това различни области от физиката, а именно Общата теория за относителността, квантовата теория и термодинамиката.

Това са едни от най-значимите открития във физиката през XX век. Физиката играе критична роля в интелектуалния и техническия прогрес на човечеството. Независимо дали става въпрос за изобретението на колелото или на Големия адронен ускорител, вроденото познание за това, как физичните обекти се движат и взаимодействат помежду си, е било важна част от всяка иновация и дизайн.

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

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

Корица: „Светът на времевия кристал“, Арт интерпретация, С. Александрова

НАШИТЕ АВТОРИ:

- Сашка Александрова** – проф. д.т.н., Технически университет, София;
Никола Съботинов – академик, Институт по физика на твърдото тяло, БАН;
Стефан Лалковски – доц. д-р, Софийски университет „Св. Климент Охридски“;
Евгени Овчаров – доц. д-р, Софийски университет „Св. Климент Охридски“;
Галина Ванкова-Крилова – гл. ас. д-р, Софийски университет „Св. Климент
Охридски“;
Николай Минков – проф. д.фз.н., Институт за ядрени изследвания и ядрена
енергетика, БАН;
Лъчезар Костов – доц. д-р, заместник-директор ОИЯИ, Дубна;
Евгения Вълчева – проф. д.фз.н., Софийски университет „Св. Климент
Охридски“;
Ана Георгиева – проф. д.фз.н., Институт за изследвания на климата,
атмосферата и водите, БАН;
Пенка Лазарова – Съюз на учените в България;
Димо Деспов – ученик 10 клас, Средно училище „Любен Каравелов“,
Димитровград;
Беатрис Балева – ученик 9 клас, ПГПЗЕ „Захари Стоянов“ – Сливен;
-

РЕДАКЦИОННО

Поздравления

– Проф. Н. Витанов и проф. А. Драйшу с нови академични звания

НАГРАДИ

– Нобеловите награди по физика за 2021 г.

НАУКА

– Н. Съботинов – Български научен принос в развитието на лазерите с метални пари

– С. Александрова – Времени кристали: мистерия или реалност

НАУЧНИ ПРОЕКТИ

– Национална научна програма за космически изследвания, технологии и приложения

– С. Лалковски, Е. Овчаров – *СТА*: В преследване на най-високоенергетичните събития във Вселената

– Г. Ванкова-Крилова, С. Лалковски – *JEM-EUSO* България

СЪЮЗЕН ЖИВОТ

– 49-та Национална конференция по въпросите на обучението по физика

НОВИНИ

– Първото докторантско училище за космически изследвания се проведе в Рожен
– Н. Минков – Международен научен семинар *SDANCA-21*

– Балканска олимпиада по физика

ГОДИШНИНА

– Л. Костов – 65 Години от основаването на ОИЯИ, Дубна

– Огромна Периодична таблица на Менделеев на фасада на здание в Дубна

ЮБИЛЕЙ

– Акад. Никола Съботинов на 80 г.

PERSONALIA

– Е. Вълчева – Филип Андерсън – Нобеловият лауреат, чиито идеи оформиха модерната физика

НАУКА И ОБЩЕСТВО

– А. Георгиева – Какво ново в 8-мия Национален фестивал „Наука на сцената“

МЛАДИ ИЗСЛЕДОВАТЕЛИ

– П. Лазарова – Национален конкурс: „Големите открития във физиката на XX век“
– Д. Деспов – Транзистори
– Б. Балева – Големите открития във физиката на XX век

EDITORIAL 189

CONGRATULATIONS

– Prof. N. Vitanov and Prof. A. Dreischuh with New Academic Titles 191

Awards

– Nobel Prize in Physics 2021 192

SCIENCE

– N. Sabotinov – Bulgarian Scientific Contribution to the Development of Metal Vapor Lasers 194

– S. Alexandrova – Time Crystals: Mystery or Reality 204

SCIENTIFIC PROJECTS

– National Scientific Program for Space Exploration, Technologies and Applications.. 213

– S. Lalkovski, E. Ovcharov – *CTA*: In Hunt for the Highest Energy Events in the Universe 213

– G. Vankova-Kirilova, S. Lalkovski – *JEM-EUSO* Bulgaria 216

UNION LIFE

– 49th National Conference on Physics Education 219

NEWS

– The First Summer School for PhD Students was Held in Rozhen 221

– N. Minkov – International Workshop *SDANCA-21* 223

– Balkan Physics Olympiad 225

ANNIVERSARY

– L. Kostov – 65 Years since the Founding of the JINR Dubna 226

– Giant Mendeleev’s Periodic Table on the Facade of the Building in Dubna 235

JUBILEE

– Academician Nikola Sabotinov at 80 236

PERSONALIA

– E. Valcheva – Philip Anderson – The Nobel Prize Laureate, whose Ideas Shaped the Modern Physics 237

SCIENCE AND SOCIETY

– A. Georgieva – What was New at the 8th National „Science on Stage“ Festival 248

YOUNG RESEARCHERS

– P. Lazarova – National Contest „Great Discoveries in Physics of the XX Century“ 256

– D. Despov – Transistors 260

– B. Baleva – Great Discoveries in Physics of the XX Century 265