съюз на физиците
в България

светът на физиката

WORLD OF PHYSICS

4'22

СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА

том XLV, кн. 4, 2022 г.

Издание на Съюза на физиците в България

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

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

ГЛАВЕН РЕДАКТОР
Сашка Александрова

ЗАМЕСТНИК-ГЛАВЕН РЕДАКТОР
Ана Георгиева, Мариана Кънева

ОТГОВОРЕН СЕКРЕТАР
Пенка Лазарова

ЧЛЕНОВЕ
Иван Лалов, Евгени Попов, Питър Таунсенд, Радостина Камбурова, Борислав Павлов, Светлен Тончев, Желязка Райкова, Игорь Масляницын, Михай Анастасеску, Херман Лиенхарт, Роман Пономарьов, Лилия Атанасова

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

ВОДЕЩ БРОЯ:
Сашка Александрова

EDITORIAL STAFF

EDITOR-IN-CHIEF
Sashka Alexandrova

VICE EDITOR-IN-CHIEF
Ana Georgieva, Mariana Kuneva

EXECUTIVE SECRETARY
Penka Lazarova

MEMBERS
Ivan Lalov, Evgeni Popov, Peter Townsend, Radostina Kamburova, Borislav Pavlov, Svetlen Tonchev, Zhelyazka Raykova, Igor Maslyanitsin, Mihai Anastasescu, Hermann Lienhart, Roman Ponomarev, Liliya Atanasova

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

VOLUME EDITOR:
Sashka Alexandrova

АДРЕС НА РЕДАКЦИЯТА:
Бул. „Джеймс Баучер“ №5, 1164 София

EDITORIAL OFFICE ADDRESS:
5, James Bourchier Blvd, 1164 Sofia

☎ 02 8161 684
E-mail: worldofphysics@abv.bg

Предпечатна подготовка: Божидар Жеков
ISSN: 0861–4210

Редакционно

На 20 октомври в Аулата на Софийския университет беше даден старт на събитията, които ще се проведат в рамките на Международната година на фундаменталните науки за устойчиво развитие. Един от аспектите е просветителската роля на инициативата за разпространението на знанията, които носят тези науки, и постигане на по-реалистична представа за тях от страна на широката общественост. Ректорът на Софийския университет проф. Анастас Герджиков в своята реч отбеляза, че фокусирането върху постигане на непосредствени приложения и иновации води до това да се смята, че „*фундаменталните науки са някаква втора категория*“ и се забравя, че „*без тези науки няма да има нито приложение, нито квалифицирани бъдещи изследователи*“. Проф. Иван Лалов, заместник-председател на Националния организационен комитет на инициативата, изтъкна необходимостта от популяризиране на постиженията във фундаменталните науки и привличането на млади хора към тях.

Учените от всички времена са осъзнавали необходимостта от разпространяването на физичните знания. Най-великите от тях са посвещавали много от своето време и сили за тази цел, като са писали статии и книги и са изнасяли лекции и доклади на физични теми за широка аудитория. За някои знаем. Книгите на Стивън Хокинг, Мичиу Каку, Брайън Грийн, които са преведени на български език, се ползват със значителна популярност. На тази дейност на известни учени-физици в „Светът на физиката“ (СФ) са били посветени редица статии. Да споменем само Джеймс Максуел с „*Теория на топлината*“ „*Материя и движение*“, „*Елементарен трактат за електричеството*“ (СФ бр. 1, 2022 г.) и Мъри Гел-Ман с „*Кваркът и ягуарът. Приключения в простото и в сложното*“ (СФ бр. 1, 2020 г.). Българските учени също дават своя принос за информиране на обществото. Техният брой е значителен и по тази причина няма да се опитваме да ги представяме. Специално обаче трябва да отбележим авторите на статии, които сътрудничат на СФ без всякаква финансова мотивация.

Принос към повишаване на осведомеността на обществото е и издаването на списанието „Светът на физиката“, което информира читателите си за постиженията и приложенията на физичните науки както в исторически план, така и в най-ново време. Само един пример – СФ посвещава статия на експериментите на Ален Аспе (един от тазгодишните Нобелови лауреати) още през 2000 г. (СФ бр. 1, 2020 г.), когато те са едно „*малко облаче върху почти чистия хоризонт на физиката*“, като алюзия за началото на кариерата на един от основоположниците на квантовата теория Макс Планк.

Обявяването на Нобеловите награди винаги предизвиква интерес към науката и се дискутира широко в медиите. За какво е присъдена Нобеловата награда по физика за 2022 г. можете да прочетете в настоящия брой. Вижте какво споделят тазгодишните лауреати в кратките традиционни телефонни интервюта след обявяването на наградите. Най-често учените-нобелисти обичат да разказват и споделят своите научни търсения. Те знаят, че за широката публика извън тези, които се занимават с конкретните проблеми, постиженията им стават все по-трудно разбираеми. Формулировката на Нобеловия комитет „*За експерименти със заплетени фотони, установяване на нарушението на неравенствата на Бел и пионерни постижения в квантовата информационна наука*“ звучи екзотично дори за изкушения читател. Не се вижда ясно как се изпълнява волята на Алфред Нобел, че наградата ще се дава на тези, които „*са допринесли най-голяма полза на човечеството*“, както и как, според съобщението на Нобеловия комитет, „*Техните резултати проправят пътя за нови технологии, базирани на квантова информация*“. В тази връзка проф. Антон Цайлингер (един един от тазгодишните Нобелови лауреати) споделя: „*Опитвам се да предам това на широката публика, тъй като обичам да говоря за това просто на обикновени хора, които нямат нужната подготовка. Имам чувството, че хората могат да го оценят*“.

В настоящия брой можете да получите отговори на някои интересни въпроси – например какво е известно за квантовия ефект на Ааронов-Бом и за наскоро проведените експерименти по установяването на неговия гравитационен аналог? Достижима ли е абсолютната нула и, ако не, защо безбройните опити за постигане на все по-ниски температури продължават и до днес? Как тези опити зависят от развитието на техническите средства и какви странни свойства на материята разкриват? Какво означават колебанията на морското ниво, особено в районите с интензивно ледниково топене, изследвани в акваторията на Българската антарктическа база на о-в Ливингстън? За чиста физика ли става дума, или могат да се напрявят изводи за непосредствени, предстоящи и бъдещи приложения?

На 85-тата годишнина на акад. Иван Юхновски е посветена статия за неговия път и постиженията му в науката. Редакцията на „Светът на физиката“ го поздравява по този повод и споделя респекта и благодарността на неговите следовници като към учител и ръководител на Българската академия на науките в трудни времена на дълбоки обществени промени.

„Светът на физиката“ информира своите читатели и за дейности, свързани с младежкото творчество. Националните конференции по проблемите на образованието по физика са средища на обмен на информация не само между преподаватели, но и с ученици и студенти. Прочетете за участниците

в Младежката научна сесия към тазгодишното издание на конференцията с тема „*Физика, околна среда и климатични промени*“, в Европейската нощ на учените с мото „*Науката и иновациите са ключ към желаното бъдеще*“ и за наградените ученици, представили се на Четвъртата балканска олимпиада, които спечелиха 2 златни и 2 сребърни медала.

Приложението на симетрията по отношение на законите във физиката, а не върху дадени геометрични обекти, става основна част от модерната физика. Една от първите формулировки, отнасяща се за връзката между симетрия и физика, е на Пиер Кюри, както можете да прочетете в статията на студентката от Техническия университет – София Мария Занева.

Вдъхновяващо за младите ни читатели е интервюто с докторанта Радослав Симеонов. Дано Чешърският котарак да му се усмихне, както си е пожелал. Думите му: „*Аз избрах да изкарам всичките си години на обучение в България, защото видях, че във Физическия факултет на СУ има и преподаватели, които са готови да ни подкрепят през целия път до изграждането ни като учени, а вратите към света, които ни отварят, са неоценими*“ ще зарадват и всички преподаватели и радетели за бъдещето на физиката в България.

Торс Ханс Хансон, член на Нобеловия комитет, при обявяването на Нобеловите награди по физика за 2022 г.

Сашка Александрова
главен редактор на „Светът на физиката“

Нобеловите награди по физика за 2022 г.

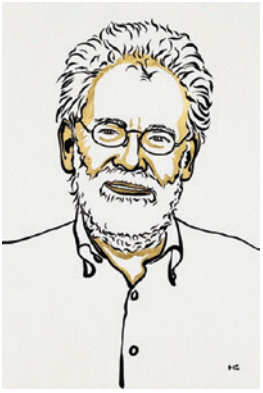
Кралската шведска академия на науките реши да присъди Нобелова награда по физика 2022 г.

„За експерименти със заплетени фотони, установяване на нарушението на неравенствата на Бел и пионерни постижения в квантовата информационна наука“.

Наградата се поделя между **Ален Аспе** от Университета Сакле в Париж и Висшето политехническо училище Палезо, Франция, **Джон Клаузър** от фирма Дж. Ф. Клаузър, Калифорния, САЩ, и **Антон Цайлингер** от Виенския университет, Австрия.

Ален Аспе
Alain Aspect

Джон Клаузър
John F. Clauser



Антон Цайлингер
Anton Zeilinger

Лауреатите получават наградата за проведени новаторски експерименти, които демонстрират особеното състояние, наречено „заплитане“, когато множество малки частици са свързани в известен смисъл, така че това, което се случва с едната, определя какво се случва с останалите, дори когато са разделени от големи разстояния.

Работейки независимо, Клаузър и Аспе доказват, че явлението квантово заплитане не може да се обясни с типичните закони на физиката, а Цайлингер демонстрира, че заплитането може да „телепортира“ информация между свързани частици,

Джон Ф. Клаузър е роден през 1942 г. в Пасадена, Калифорния, САЩ. Докторска степен получава през 1969 г. от Колумбийския университет, Ню Йорк, САЩ. Понастоящем работи като физик-изследовател в собствена компания във Валнът Крийк, Калифорния, САЩ (*J. F. Clauser & Assoc., Walnut Creek,*

CA, USA). Джон Клаузър развива идеите на Джон Бел, стигайки през 1972 г. до реален експеримент със заплетени фотони. Резултатите са в подкрепа на квантовата механика в явно нарушение на неравенствата на Бел. Това означава, че квантовата механика не може да бъде заменена от теория, която използва скрити променливи. Неопределеността е присъща на нашата Вселена.

Ален Аспе е роден през 1947 г. в Ажен (*Agen*), Франция. Докторска степен получава през 1983 г. от Парижкия университет-Юг, Орсе (*Paris-Sud University, Orsay*), Франция. Понастоящем е професор в Института по оптика в Парижкия университет Сакле (*Institut d'Optique Graduate School – Université Paris-Saclay, Paris*) и Висшето политехническо училище Палезо (*École Polytechnique, Palaiseau*), Франция. Ален Аспе провежда експерименти със заплетени двойки частици през 1981 – 1982 г., усъвършенствайки експеримента на Клаузър. Той разработва измерителната система с подходящи настройки, така че настройката, която съществува при излъчването заплетена двойка, да не може да повлияе на резултата. Резултатите от всички експерименти са в подкрепа на отхвърлянето на локални скрити променливи, което води до разрешаването на известния дебат за квантовата механика между Алберт Айнщайн и Нилс Бор.

Антон Цайлингер е роден през 1945 г. в Рийд им Инкрайс (*Ried im Innkreis*), Австрия. Докторска степен получава през 1971 г. от Виенския университет (*University of Vienna*), Австрия. Понастоящем е професор в същия университет. Антон Цайлингер прилага усъвършенствани методи и серии от експерименти със заплетени квантови състояния през 1997 – 1998 г. Неговата изследователска група демонстрира явлението „квантова телепортация", което прави възможно преместването на квантово състояние от една частица към друга на разстояние.

Експериментите на Нобеловите лауреати проправят пътя за квантовите компютри, квантовите мрежи и квантовата криптирана комуникация.

Съгласно традицията след обявяването на наградите се провеждат кратки телефонни интервюта с новите лауреати. Интервюиращият е Адам Смит, главен научен директор на Информационната служба на Нобеловия комитет. Ето какво споделят тазгодишните лауреати.

„Каква загуба на време, започнете да се занимавате с истинска физика!"

Докато учи в Колумбийския университет през 60-те години на миналия век, Джон Клаузър се заинтересува от проектирането на практически експерименти за проверка на квантовата механика. Неговите идеи обаче не винаги са били добре приети от колегията. „*Когато първоначално правех и подготвях експеримента, всички казаха, че си губя времето*", казва Клаузър. Известният Ричард Файнман, лауреат на Нобелова награда по физика за 1965 г., „*почти ме изхвърли*

от кабинета си“, казва Клаузър. „*Той беше много обиден, че въобще обмислям възможността квантовата механика да не дава правилните прогнози*“. Младежкият ентусиазъм надделява. „*Тогава мислех, че това е важно, въпреки че щях да съсипя кариерата си и в известен смисъл го направих: никога не съм бил професор!*“, но „*доказах, че съм достоен експериментатор!*“. Само благодарение на Чарлз Таунс (*Charles Townes*, Нобелов лауреат по физика за 1964 г.) и Хауърд Шугарт (*Howard Shugart*) успява проведе експериментите. Колегите му продължават със: „З*ащо, каква загуба на време, получихте резултатите, които всички очакваха – сега започнете да правите истинска физика*“.

В научните среди Клаузър е добре известен. През 1972 г. като докторант той заедно с Стюарт Фрийдман (*Stuart Freedman*) използват за експериментите си тиксо и резервни части. „*Парите бяха много малко, така че на практика събирах стари боклуци или скрап от Отдела по физика в сутерена на Университета в Бъркли…. Прекарах много време в работилницата, режейки и метал и каквото там трябваше*“.

Резултатите от експериментите изненадват Клаузър, който очаква те да подкрепят идеите на Айнщайн в спора с Бор. „*Квантовата механика дава правилни прогнози, гледната точка на Айнщайн беше погрешна*“, казва той.

Клаузър също е работил в Националната лаборатория на Лорънс Ливърмор (*Lawrence Livermore National Lab*) и също има принос за медицината, работейки в лабораторията в дома си в Уолнът Крийк (*Walnut Creek*).

„Това вероятно е една от най-красивите теории, измисляни някога“

В интервюто Антон Цайлингер изразява възхищението си към елегантната простота на квантовата механика „*С много малко символи*“, обяснява той, „*можете да обясните много неща от най-малките квантови частици до произхода на Вселената*“. Изпраща послание за огромна признателност към всички хора, с които е работил, и въвежда Адам Смит в странния и потенциално полезен свят на квантовата телепортация.

Според Цайлингер има две неща, които са забележителни в квантовата физика. Едното е, че е абсолютно устойчива срещу всички експериментални предизвикателства. Прогнозите, които теорията прави за експерименти, се потвърждават с невероятна точност. От друга страна, теорията е и математически изключително красива. Това вероятно е една от най-красивите теории, измисляни някога от човечеството. „*Опитвам се да предам това на широката публика, така че обичам да говоря за това просто на обикновени хора, които нямат нужната подготовка. Имам чувството, че хората могат да го оценят*“.

„Изводът е, да, квантовата механика устоява на всички възможни атаки!“

В разговора Ален Аспе споделя мисли за мястото на работата му в дългата история на квантовата механика, необходимостта от постоянно поставяне на въпроси и размисъл и как той приема в странностите на квантовото заплитане. Опитвал се е да намери границите на квантовата механика, но „*не ги намерих!*“.

На въпроса как би обяснил квантовото заплитане на хора, които са далеко от физиката, Аспе отговаря по следния начин. „*Ще направя сравнение между моите два фотона и двама братя близнаци. Ако погледнете очите им, ще видите един и същ цвят. Ако единият има сини очи, другият също има сини очи, ако единият има кафяви очи, другият също има кафяви очи. За моите фотони е същото, освен че в моя случай това е поляризацията им. Нека продължим с измерването на цвета на очите. Той не е определен до момента на измерването. В момента на измерването той се оказва син или кафяв. Фантастичното нещо е, че цветът на очите на другия брат, който може да е надалеко, оттатък Атлантическия океан, приемат точно същия цвят*“. Това се нарича „квантова нелокалност“ и е едно от най-фантастичните свойства на квантовото заплитане.

По повод на това, че дебатът между Айнщайн и Бор беше решен в полза на Бор, Аспе подчертава, че Айнщайн има голяма заслуга за повдигането на въпроса. Ако в днешно време знаем толкова много неща за заплитането и искаме да го използваме за квантовата технология, трябва да отдадем заслуженото на Айнщайн. В научния спор няма един, който печели, и друг, който губи. Бор печели от определена гледна точка, но Айнщайн печели, защото е забелязал нещо необикновено.

„*Постепенно става все по-ясно, че се появява нов вид квантова технология. Виждаме, че работата на лауреатите със заплетени състояния е от голямо значение, дори извън фундаменталните въпроси за тълкуването на квантовата механика*“, казва Председателят на Нобеловия комитет по физика Андерс Ирбек (*Anders Irbäck*).

Източници

https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2022/summary/
https://www.nobelprize.org/prizes/lists/video-interviews-physics/

Подбор и превод: Сашка Александрова

The Nobel Prize in Physics 2022

The Nobel Prize in Physics 2022 was shared between Alain Aspect, John Clauser and Anton Zeilinger „for experiments with entangled photons, establishing the violation of Bell inequalities and pioneering quantum information science“. Working independently, Clauser and Aspect proved quantum entanglement can't be explained by the typical laws of physics, and Zeilinger demonstrated that entanglement can „teleport“ information between linked particles. The laureates have given a telephone interview following the announcement of the 2022 Nobel Prize in Physics to Adam Smith, Chief Scientific Officer of Nobel Prize Outreach.

Selection and translation: Sashka Alexandrowa

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

Наблюдаван е гравитационен ефект на Ааронов-Бом

Динко Динев

1. Увод

На 13.01.2022 г. в списание *Science* беше публикувана статия на проф. Марк Касевич (*Mark Kasevich*) и сътрудници от Университета в Станфорд, в която се съобщава че е наблюдаван гравитационен аналог на електромагнитния ефект на Ааронов-Бом [1]. Подобни експерименти са предлагани и по-рано [2]. При гравитацията трудността е в това, че ефектът е много слаб.

Групата на М. Касевич развива една идея, дадена от Михаел Хохенси (*M. Hohensee*) и сътрудници през 2012 г. [3].

Както е известно в класическата физика движението на едно тяло се определя от действащите върху него полета – гравитационно или електромагнитно. В Нютоновата теория на гравитацията и в класическата електродинамика за улеснение на математическите изчисления освен силите на съответните полета се въвеждат още и гравитационният потенциал φ_g и електромагнитните потенциали (φ, $\vec{A}$). В класическата физика потенциалите играят ролята на помощни величини, само силите на полетата имат физически смисъл. Това се вижда от факта, че силата, с която едно електромагнитно поле действа върху заредена частица – силата на Лоренц, зависи от интензитета на електричното поле и от магнитната индукция:

$$\overrightarrow{F_L} = e\left(\vec{E} + \left(\vec{v} \times \vec{B}\right)\right), \tag{1}$$

но не и от скаларния φ и векторния $\vec{A}$ потенциали.

Не трябва да се забравя също, че електромагнитните потенциали не са определени еднозначно. Електромагнитното поле е инвариантно спрямо т.нар. калибровъчна трансформация:

$$\begin{aligned} \varphi' &= \varphi - \frac{\partial f}{\partial t} \\ \overrightarrow{A'} &= \vec{A} + \mathrm{grad}(f), \end{aligned} \tag{2}$$

където $f(\vec{r}, t)$ е произволна непрекъсната функция на пространствените координати и времето.

В квантовата механика поведението на една заредена частица в електромагнитно поле се определя от уравнението на Шрьодингер (в нерелативисткия

случай). В това уравнение обаче фигурират електромагнитните потенциали, а не силата на електромагнитното поле. В квантовата механика силата на Лоренц не се появява никъде в теорията, освен когато се разглежда преходът към класическо приближение.

За нерелативистка безспинова частица уравнението на Шрьодингер е [4]:

$$i\hbar\frac{\partial\psi}{\partial t} = \mathcal{H}\psi = \left[\frac{1}{2m}\left(-i\hbar\nabla - e\vec{A}\right)^2 + e\varphi\right]\psi \qquad (3)$$

В квантовата физика електромагнитните потенциали вече не са само помощни математически величини, удобни при изчисляването на силата на електромагнитното поле, но имат реален физически смисъл и могат да бъдат измерени. В уравнението на Шрьодингер електромагнитните потенциали играят роля аналогична на тази на показателя на пречупване в оптиката.

Ефектът на Ааронов-Бом е квантово явление, при което на частица, притежаваща електрически заряд, електромагнитното поле влияе дори в онези области, в които интензитетът на електрическото поле и магнитната индукция са равни на нула, но не са равни на нула скаларният φ и векторният $\vec{A}$ потенциали. В класическата електродинамика, ако заряд се намира в област с $\vec{E} = 0$, $\vec{B} = 0$, то на него не му действа никаква сила и съответно неговото състояние не се променя. В квантовата механика обаче се оказва, че ако в една област $\vec{E} = 0$, $\vec{B} = 0$, но $(\varphi, \vec{A}) \neq 0$, то фазата на вълновата функция се изменя и това може да се измери в един интерференционен експеримент.

Първи на това обстоятелство обръщат внимание В. Еренберг (*W. Ehrenberg*) и Р. Е. Сайди (*R. E. Siday*) през 1949 г. [5].

Десет години по-късно явлението е преоткрито независимо от Д. Бом (*D. Bohm*), и Я Ааронов (*Y. Aharonov*) [6]. Те представят и прецизен теоретичен анализ. Днес това явление е известно като „ефект на Ааронов-Бом“.

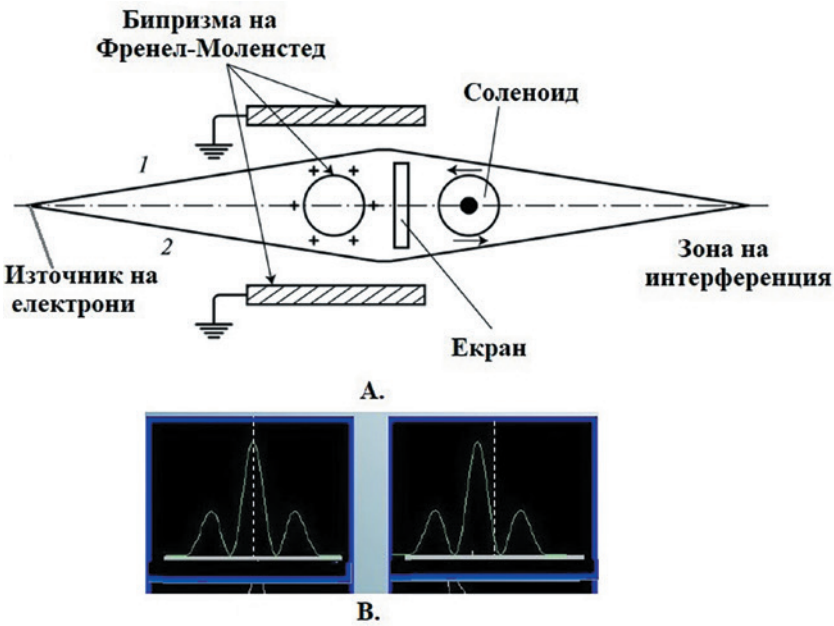
Съществуват електростатичен и магнитен варианти на електромагнитния ефект на Ааронов-Бом.

Ефектът на Ааронов-Бом е потвърден експериментално. Първият експеримент, доказващ съществуването на магнитния ефект на Ааронов-Бом, е проведен през 1960 г. от Р. Чамбърс (*R. G. Chambers*) [7]. Този експеримент е с голяма грешка. Прецизен експеримент, който недвусмислено подтвърждава валидността на магнитния ефект на Ааронов-Бом, е проведен през 1982 г. от А. Тономура (*A. Tonomura*) и сътрудници [8]. Електрическият вариант на ефекта на Ааронов-Бом е доказан експериментално от Г. Матеучи (*G. Matteucci*) и Г. Пози (*G. Pozzi*) през 1985 г. [9].

В тази статия ще се спрем само на магнитния ефект на Ааронов-Бом.

2. Магнитен ефект на Ааронов-Бом

Разглежда се следната опитна постановка (Фигура 1).



Фигура 1. Магнитен ефект на Ааронов-Бов. ***A)****.Схема на опитната установка.* ***B)****. Резултати от измерването – при включване на тока в соленоида, интерференционната картина се отмества*

Много тънък и безкрайно дълъг соленоид, по който тече постоянен ток, е насочен по оста z. Магнитното поле на соленоида е концентрирано във вътрешната му част, а в пространството около соленоида то е равно на нула. Векторният потенциал обаче е отличен от нула в цялото пространство. Това следва от теоремата на Стокс:

$$\oint_L \vec{A}.d\vec{l} = \int_S \vec{B}.\overrightarrow{ds} = \Phi_B, \tag{4}$$

където L е всеки контур, обхващащ началото на координатната система и Φ_B е магнитният поток през напречното сечение на соленоида. Т.е. в цилиндрични координати:

$$A_\theta = \frac{\Phi_B}{2\pi r}. \tag{5}$$

Поток от електрони генериран от електронен източник се разделя на две части, например чрез бипризма на Френел-Меленстед. Те преминават около соленоида от двете му противоположни страни и след това се събират върху

екран, на който се наблюдава тяхната интерференция.

Доказва се, че решението на уравнението на Шрьодингер в този случай е:

$$\psi(\vec{r}) = exp\left(\frac{ie}{\hbar}\int_{r_0}^{r}\vec{A}(\vec{r}')d\vec{r}'\right)\psi_0(\vec{r}), \qquad (6)$$

където $\psi_0(\vec{r})$ е вълновата функция за случая, когато соленоидът е изключен (B = 0).

Разликата във фазите между електроните, движещи се по траектория 1 спрямо тези от траектория 2, е:

$$\Delta\varphi = \frac{e}{\hbar}\oint_L \vec{A}(\vec{r}')d\vec{r}' = \frac{e}{\hbar}\Phi_B, \qquad (7)$$

където L е затвореният контур „източник на електрони – точка на интерференция – източник на електрони“ и Φ_B е магнитният поток през соленоида.

Прецизният анализ разглежда разсейването на електрони от магнитното поле в граничния случай, когато радиусът на соленоида клони към нула. Доказва се, че сечението на разсейване се дава с формулата [6, 10]:

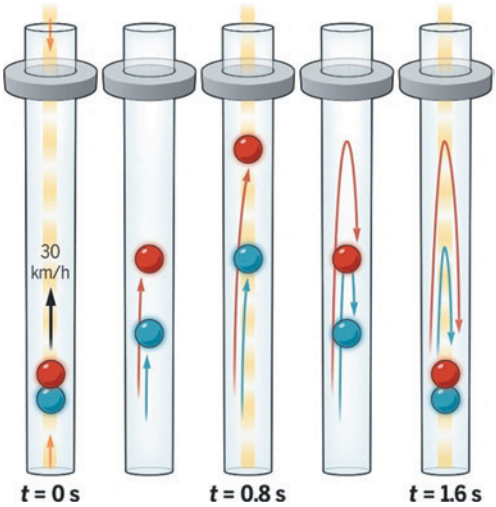
$$\sigma = \frac{\sin^2\pi\alpha}{2\pi}\,\frac{1}{\cos^2(\theta/2)}, \qquad (8)$$

където: $\alpha = -\frac{e\Phi_B}{2\pi\hbar}$ и θ е азимуталният ъгъл.

3. Гравитационен ефект на Ааронов-Бом

Вариант на ефекта на Ааронов-Бом, който е свързан не с електромагнитните потенциали, а с гравитационния потенциал също е възможен. В началото на 2022 г. беше съобщено, че е проведен и експеримент, недвусмислено подтвърждаващ теоретичните изводи [1]. Той се базира на една идея, дадена през 2012 г. [2].

В експеримента свръхохладени рубидиеви атоми се изстрелват вертикално нагоре в една вакуумирана тръба с дължина 10 m. С помощта на лазерни импулси атомният поток се разделя на две части, така че едната част се издига по-високо от другата. След това двата атомни потока извършват свободно падане и интерферират в долния край на тръбата. В горния ѝ край, от нейната външна страна, е разположено масивно аксиалносиметрично тяло (волфрамов пръстен с маса 1,25 kg). Поради аксиалната симетрия това тяло не създава гравитационна сила върху атомите. Но гравитационният потенциал е отличен от нула. Така атомите, издигнали се по-високо по тръбата, изпитват по-голям гравитационен потенциал от тези, издигнали се по-ниско. Между двата атомни вълнови пакета възниква фазова разлика, която се проявява във интерференционната картина, когато тези пакети рекомбинират.



Фигура 2. Идея на експеримента на М. Касевич и сътрудници по измерване на гравитационния ефект на Ааронов-Бом

Гравитационният аналог на ефекта на Ааронов-Бом се състои в появата на фазова разлика между вълновите функции на две частици, дължаща се на разликата в гравитационните потенциали, които те изпитват при пълното отсъствие на гравитационна сила, действаща върху тях. Дори в дадена област гравитационната сила да е равна на нула, различният от нула гравитационен потенциал може да има ефект върху поведението на частицата.

Съгласно Общата теория на относителността (ОТО) гравитацията изкривява пространство-времето. В ОТО роля на гравитационен потенциал φ_g играе метричния тензор g_{ik} [11].

Времето, изминало между две събития, измерено от наблюдатели, намиращи се на различно разстояние от една гравитационна маса, е различно. Колкото часовникът е по-близо до източника на гравитация, толкова по-бавно тече времето. Часовникът близо до масивно тяло работи по-бавно.

На този факт се базира гравитационният ефект на Ааронов-Бом.

Следствие на гравитационното забавяне на времето е и гравитационното червено отместване на честотата на електромагнитна радиация.

В случая на скорости много по-малки от скоростта на светлината и слабо постоянно магнитно поле забавянето на хода на часовника се дава с:

$$t_g = \frac{t}{\sqrt{-g_{44}}} = \frac{1}{\sqrt{1+\frac{2\varphi}{c^2}}} \approx t\left(1 - \frac{\varphi}{c^2}\right). \qquad (9)$$

Относителното забавяне на хода на времето в точка с по-малък гравитационен

потенциал в сравнение с точка с по-голям гравитационен потенциал е равно на разликата в гравитационните потенциали в тези точки, разделена на квадрата на скоростта на светлината.

Фигура 3. Експерименталното оборудване, използвано при измерването на гравитационния ефект на Ааронов-Бом

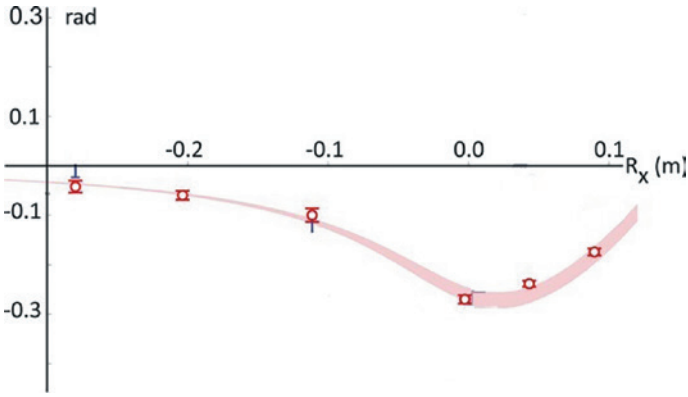
Атомните вълнови пакети на двата сорта атоми $|\psi_A>$ и $|\psi_B>$ в Общата теория на относителността играят ролята на своеобразни часовници. Разглеждайки релативистката динамика на тези вълнови пакети, разпространяващи се в изкривеното пространство-време, в граничния случай на слаби гравитационни полета в [3, 12] се доказва, че за честота, с която „тик-такат“ тези часовници, трябва да се вземе Комптоновата честота $\omega_C = mc^2/\hbar$. Тогава за фазовата разлика между двата сорта атоми, предизвикана от различните гравитационни потенциали, на които те са подложени, получаваме:

$$\Delta\phi_g = \omega_C \Delta\tau_g = \frac{\omega_C \Delta\varphi_g}{c^2} T = \frac{m\Delta\varphi_g}{\hbar} T, \quad (10)$$

където T е времето, в течение на което атомите са подложени на действието на гравитационните потенциали φ_g^A и φ_g^B.

Измереното в експеримента отместване по фаза е показано на Фигура 4.

Ще завършим с думите на проф. М. Касевич: „Всеки път, когато гледам този експеримент, аз си казвам: Удивително е, че природата е такава“ (*Every time I look at this experiment, I'm like, 'It's amazing that nature is that way*).



Фигура 4. Отместване по фаза в зависимост от положението на волфрамовия пръстен. Червените точки представляват усреднените резултати от 20 независими измервания. Червената линия представлява предсказанията на теорията

Литература

1. Ch. Overstreet, P. Asenbaum, J. Curti, M. Kim, M. Kasevich. Observation of a gravitational Aharonov-Bohm effect. Science, v. 375, No 6577, 2022, pp. 226-229
2. Vu B. Ho, H.J. Morgan. An Experiment to Test the Gravitational Aharonov- Bohm Effect. Aust. J. Phys. V. 47, 1994, pp. 245-252
3. M. Hohensee, B. Estey, P. Hamilton, A. Zerlinger, H. Muler. Force-free gravitational redshift:Proposed gravitational Aharonov-Bohm experiment. Phys. Rev. Lett.,v.108, 2012, p. 230404
4. Л.Д. Ландау, Е.М. Лившиц.Теоретическая физика т.3. Квантовая механика(нерелятивисткая теория). М. Наука, 1989
5. W. Ehrenberg, R.E. Siday. The Refractive Index in Electron Optics and the Principles of Dynamics. Proceedings of the Physical Society, v.B62, No1, 1949, pp. 8-21
6. Y. Aharonov, D. Bohm. Significance of Electromagnetic Potentials in the Quantum Theory. Phys. Rev., v.115, no3, 1959, pp.
7. R.G. Chambers. Shift of an Electron Interference Pattern by Enclosed Magnetic Flux. Phys. Rev. Lett., v.5, 1960, p.3
8. N. Osakabe, T. Matsuda, T. Kawasaki, J. Endo, A. Tonomura, S. Yano, H. Yamada. Experimental confirmation of Aharonov-Bohm effect using a toroidal magnetic field confined by a superconductor.

Phys. Rev., v.34,No2, 1986, pp. 815-822
9. G. Matteucci, G. Pozzi. New diffraction experiment on the electrostatic Aharonov-Bohm effect. Phys. Rev. Lett. v.54, 1985, pp. 2469-2470
10. Г.Н. Афанасьев. Старые и новые проблемы в теории эффекта Ааронова-Бома. ЭЧАЯ, т.21, №1, 1990р стр. 172-250
11. W. Pauli. Relativitatstheorie. Berlin, 1931(руски превод: В. Паули. Теория относительности. М. Наука, 1983)
12. M. Hohensee, H. Muler. Precicion tests of General Relativity with Matter Waves. J. Mod. Optics, v.58, 2011, p. 2021

Observation of Gravitational Aharonov-Bohm Effect

D. Dinev

The Aharonov-Bohm effect is a quantum mechanical effect in which nonzero electromagnetic potentials can affect the phase of a charged particle wave function even in regions where the electromagnetic field is equal to zero and therefore there are no forces acting on the particle.

In 2022 the gravitational counterpart of this effect was tested experimentally by the group of M. Kasevich in Stanford University.

In the paper, after short description of the magnetic Aharonov-Bohm effect, the experiment carried out by M. Kasevich et al. has been discussed.

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

Изследване на връзката между някои метеорологични елементи и колебанията на океанското ниво в района на Българската антарктическа база на о-в Ливингстън

Борислав Александров

Океанското ниво е в непрекъснато динамично състояние, тъй като освен периодичните колебания вследствие приливообразуващите сили, породени от взаимодействието на трите астрономични тела – Слънце, Луна и Земя, съществуват и други събития с непериодичен характер, които не могат да бъдат точно прогнозирани. Към тях могат да се отнесат геодинамичните и геотермални явления в земната кора, например вулкани, земетресения, вековните издигания и спускания на земната кора, въздействието на вятъра в близост до бреговата ивица, барометричните колебания, както и такива, свързани с изменение плътността на водата и нейния обем вследствие на изпарения, валежи и вливане на реки. В природата не се наблюдават в чист вид изброените причини, защото те действат съвместно и независимо едни от други, а наблюдателят отразява сумарния ефект от всички тях. Когато има възможност за непосредствено отчитане на основни атмосферни параметри на приземния слой, може да се допълни картината на периодичните колебания на океанското ниво за даден ограничен участък.

В статията е направен анализ на въздействието на някои метеорологични параметри – атмосферно налягане, вятър и температура, върху колебанията на океанското ниво в акваторията на Българската антарктическа база (БАБ) на о-в Ливингстън.

Ключови думи: морско ниво, Антарктика, метеорологични фактори

1. Влияние на основните метеорологични параметри върху океанската повърхност

Световният океан представлява нееднородна и нехомогенна среда с нестатичен характер, в резултат на което физическата му повърхност извършва периодични колебателни движения. Според преобладаващата сила на въздействие и причините за появяване те могат да се класифицират като периодични и непериодични. За разлика от първите, обусловени от астрономични причини, вторите могат да са следствие както на ендогенни фактори, каквито са земетресенията, вулканите, геотермални явления, така и на екзогенни фактори, породени от въздействието на атмосферата върху океанската повърхност. Към

тях спадат барометричните колебания, свързани с неравномерното разпределение на атмосферното налягане и измененията в баричното поле, покачването и спадането на водата вследствие въздействието на вятъра със своята посока и сила, промени в нивото заради разлика в плътността на водата и нейния обем от валежи, топене на ледове, вливания на реки или изпарение. Особено значение имат областите на високо или ниско атмосферно налягане, които са със затворени изобари (линии, свързващи места с еднакво налягане), наречени барични образувания. Те показват баричните минимуми и максимуми, известни като циклони и антициклони, при които се установяват големи разлики в налягането, съответно и големи стойности на колебанията на океанската повърхност в неголеми акватории.

Сложността на непериодичните колебания идва от това, че различните причини обикновено не действат поотделно, а се наблюдава сумарен ефект с подчертано динамичен характер, който затруднява изграждането на стройна теория за тези явления и предварителна прогностика, по подобие на тези за периодичните колебания.

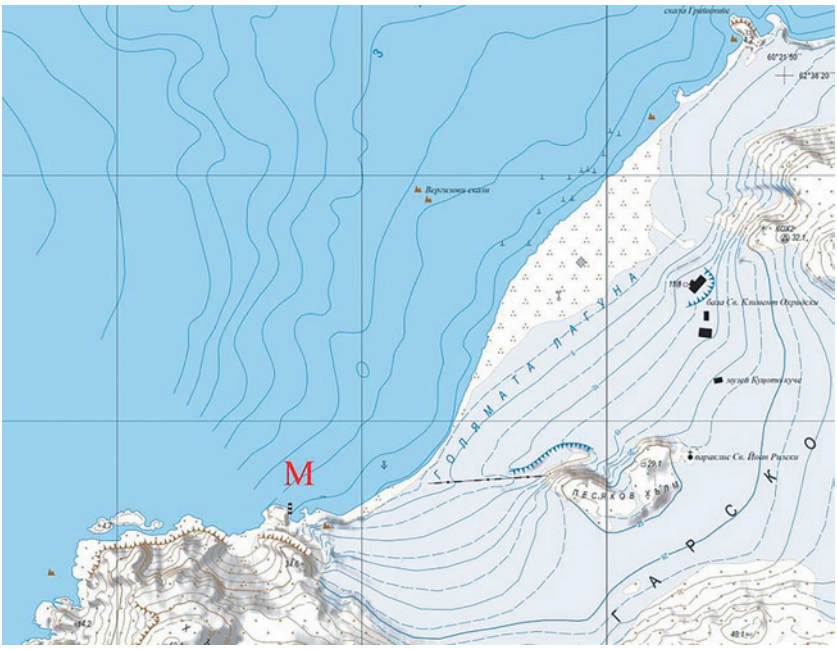
От практически изследвания са установени стойности на въздействие на основните параметри на атмосферата върху състоянието на океанската повърхност. Най-съществено влияние оказват атмосферното налягане, ветровото въздействие със своята посока и сила, а до известна степен и температурата на приземния въздушен слой. Например покачване на налягането с 1 hPa води до понижаване на морското ниво с 1 cm [1] и обратно – по-ниското налягане води до по-високо ниво. Ветровете са сериозен фактор за непериодичните колебания на нивото и насочени от морето към брега могат да пренасят големи количества водни маси, което води до покачване на нивото или т.нар. нагонни вълни. При обратна посока на вятъра, от брега към сушата, се получава сгон или понижаване на нивото. Тези явления могат да променят нивото в порядъка на метри, ако ветровото въздействие е в една посока и много дълго време. За България сгонно-нагонните колебания при продължителни източни ветрове се оценяват на 0,8 – 1,2 m [2].

2. Данни за метеорологичните елементи в района на българската база за периода на изследване

В района на българската антарктическа база (БАБ) има монтирана метеорологична станция с автоматичен запис на всеки десет минути на някои параметри на приземната атмосфера – температура и влажност на въздуха, атмосферно налягане, максимална и средна скорост на вятъра, с вариации, пориви и посока. За времето на работа на мареографната станция през 2019 г. има архив на метеорологичните данни, от които да се потърси въздействието на

локалните метеорологични условия върху колебанията на океанското ниво [3]. Тези данни спомагат за по-прецизния прочит на тези процеси и филтриране на измервания, за които може да се твърди, че са в силно неустойчива атмосфера и вълнение и които биха нарушили плавния ритъм на приливните стойности.

В акваторията на БАБ е фиксиран датчик за проследване и запис на колебанията в океанското ниво, с местоположение (Фигура 1), отбелязано с М. Разположен е в основата на сравнително тихо скално прикритие, с изложение на север-североизток, в близост до зоната на дебаркиране на експедициите и на около 350 m от основната постройка на БАБ.



Фигура 1. Разположение на мареографната станция (М) пред БАБ

В статията е разгледан само месец април (2019 г.) като принцип на комбиниране на мареографни с метеорологични данни, с цел да не се увеличава прекомерно обема на текста. Най-достоверно е проследяването на процесите поотделно за всеки месец, тъй като атмосферните процеси са динамичен фактор и ако се търсят по-дългопериодични зависимости, те не могат да бъдат представителни или могат да останат неотразени. От друга страна, ежедневните съпоставки на отделните параметри на системата не осигуряват цялостно проследяване на климатичните процеси, имайки предвид, че атмосферните фронтове преминават за по-голям период. Едномесечният период дава реална представа и за средномесечното океанско ниво, като обхваща характерните фази на астрономичните тела, свързани с приливните влияния.

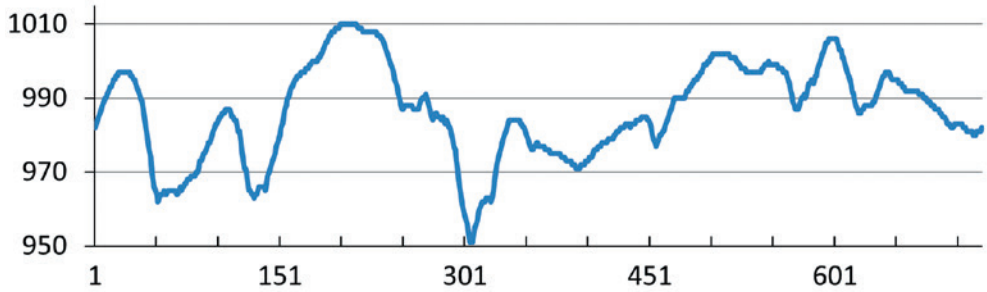
Анализирани са евентуални корелационни зависимости между значителни резки промени на атмосферното налягане и височината на нивото, както и оценка на ветровото въздействие с цел установяване на сгонно-нагонни вълни. За да могат да бъдат анализирани правилно тези зависимости, първо са систематизирани максималните, минималните и средните стойности на атмосферните параметри. Метеорологичните данни са филтрирани през 1 час, като от 1 до 30 април 2019 г. техният брой е 720. Средните (в скобите минимални и максимални) стойности за периода са както следва:

- атмосферно налягане – 991,4 hPa (951 hPa до 1010 hPa),
- средна температура – - 0,7 °C (-8,7 °C до +3,5 °C),
- средна влажност на въздуха – 84 % (44 % до 99,6 %).

3. Връзка между колебанията на атмосферното налягане в района на БАБ и нивото на океана

Атмосферното налягане през месец април 2019 г. се променя от 951 hPa до 1010 hPa, като най-чувствителен траен спад се забелязва в периода 9 – 13 април, а именно почти 60 hPa за 4 денонощия, а най-кратковременен спад има между 1 и 2 април, когато за едно денонощие налягането се понижава с 35 hPa (Фигура 2). По абсцисата на графиката са нанесени дните, като числата показват броя часове от началото на месеца, а по ординатата са показанията на атмосферното налягане. Ако тези стойности се разгледат вече като последвало издигане на морската повърхност вследствие само на спад на налягането, се вижда, че в рамките на един ден нивото се издига с 35 cm, независимо от приливните сили. Това предполага да се коригират отчетените стойности на хидростатичния сензор със средночасова корекция от 1,5 cm за влияние на налягането. Като се има предвид, че в акваторията на БАБ максималната разлика между високи и ниски води за април 2019 г. е малко под 2 m за един полудневен период, следва, че за един час нивото може да се промени с около 12 – 14 cm. При записаното максимално спадане на налягането това би означавало, че мареографните данни се отчитат с грешка около 10% вследствие само на екстремни колебания на атмосферното налягане.

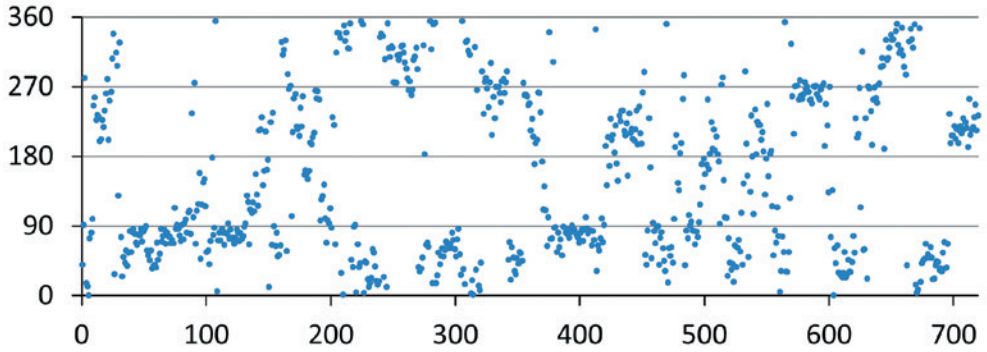
За да съществува и някакво относително стабилно изходно състояние за атмосферното налягане, е изчислена средната негова стойност за района на БАБ от 7-годишен период, от 2014 до 2021 г., на базата на съществуващите архивни записи. Осреднени са 61 722 записа от метеорологичната станция през един час. Резултатът е 989,5 hPa, която представлява базисна стойност, спрямо която да се наблюдават колебанията на океанското ниво, причинени от промени в налягането.



Фигура 2. Месечен ход на атмосферното налягане (април 2019 г.)

4. Влияние на скоростта и посоката на вятъра върху колебанията на морското ниво

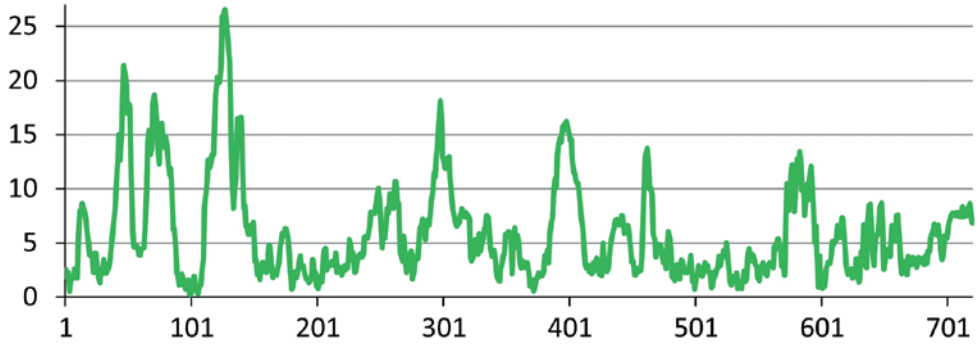
Друг съществен елемент, влияещ на колебанията на океанското ниво, е вятърът с неговата сила и посока. Това важи с особена тежест за Антарктика, континентът, който се слави с най-силните ветрове, които могат да надхвърлят 200 km/h, и които при дълговременно действие променят приливно-отливните стойности, отчитани от мареографите. Наличието на метеорологични данни за времето на работа на мареографната станция помагат да се внесе яснота върху това въздействие. От направените анализи на ветровата обстановка за месец април 2019 г. (Фигура 3) може да се види статистически силата на ветровете, преобладаващата им посока, поривите, както и осреднени стойности на тези параметри.



Фигура 3. Разпределение на посоката на вятъра по часове от началото на месеца

За разглеждания месец се установяват следните стойности:
- средна скорост на вятъра – 5,2 m/s,
- средна посока на вятъра – 152°,
- максимална скорост на вятъра без пориви 26,5 m/s (95,4 km/h).

На Фигура 4 по абсцисата са нанесени часовете на запис от 1 до 30 април, а по ординатата – скоростта в m/s.



Фигура 4. Скорост на вятъра по часове през април 2019 г.

На базата на наличните от метеорологичната станция записи е изработена роза на ветровете (Фигура 5), от която нагледно да се види информация за преобладаващите по посока ветрове, както и тяхната сила за всеки месец. На Фигура 4 е представен резултатът за месец април 2019 г., през който са обработени стойности за всеки ден през един час. Това създава поредица от 720 записа на скорост и посока на вятъра, без да са включени отделни пориви. Хоризонтът е разделен условно на 8 сектора, на базата на четирите основни посоки на света, така че всеки сектор да е с големина 45 градуса. Записите са групирани по сектори и за всеки от тях са изчислени брой на събитията, както и средната скорост на вятъра за сектора (Таблица 1).

Фигура 5. Роза на ветровете за месец април 2019 г.

От изследването на стойностите може да се твърди, че за разглеждания период преобладават североизточните ветрове, като и силата на вятъра от този

сектор е най-голяма. Съобразно разположението на мареографния датчик, най-съществено влияние биха оказвали продължителни северни и южни ветрове, и то със скорост, по-голяма от 10 m/s, което може да се установи от детайлно проследяване на записите. В конкретния случай за април 2019 г. се забелязват големи стандартни отклонения в стойностите на морското ниво за няколко дни, в които скоростта на вятъра е била над 10 m/s, достигайки почти 27 m/s на 6 април. Отклоненията нарастват около ден след достигане на максималните скорости на вятъра, което категорично показва, че в началото на въздействието му все още не се оказва влияние върху колебанията на нивото. Като се има предвид, че не е имало установен дълговременен период със силен вятър само от една посока, можем да приемем, че промените в океанското ниво вследствие на ветрово влияние през април 2019 г. е в границите на точността на отчитане на нивото и не следва да се въвеждат допълнителни корекции.

Таблица 1. Разпределение на вятъра по посока и скорост за месец април 2019 г.

Номер	Сектор	От – до (°)	Брой записи	Средна скорост (m/s)
1	N-NE	0 – 45	107	4.4
2	NE-E	45 – 90	208	8.4
3	E-SE	90 – 135	60	5.4
4	SE-S	135 – 180	40	2.9
5	S-SW	180 – 225	87	4.8
6	SW-W	225 – 270	97	5.6
7	W-NW	270 – 315	62	5.4
8	NW-N	315 – 0	59	4.9

Влиянието на вятъра върху морската повърхност създава допълнително и напрежение върху горните водни слоеве, което пък предадено в дълбочина довежда до дрейфовите течения – най-често срещаните в океана. Други течения, следствие на ветровото влияние, са градиентните, обусловени от комбинацията вятър и брегове, наклона на свободната повърхност и хоризонталният градиент на налягането. При един комплексен и задълбочен анализ на причините за глобалните климатични промени следва да се отчитат и подобни компоненти, с по-слабо изразено влияние.

5. Влияние на температурата на въздуха върху морското ниво

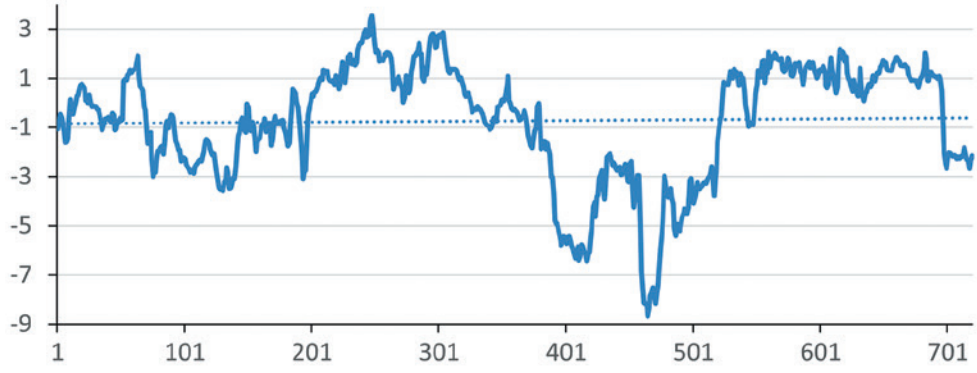
Температурата на океана се изменя значително по-бавно от тази на сушата благодарение на голямата си топлоемкост и дори да са налице големи дневни разлики в температурата близко до брега, в морската вода се наблюдават слаби

или незабележими колебания. Топлообменът с атмосферата става чрез пренос на въздух с различна температура или чрез хоризонтален турбулентен обмен, като в крайна сметка топлината на океана става резултат от достигналата до него слънчева радиация, последствията от изпарението и кондензацията със загуба или приток на топлина, турбулентния топлообмен и фазовите превръщания на водата в лед и обратно, водещо до отделяне или поглъщане на топлина. Морската вода отразява 7% от достигащата слънчева енергия, а останалата прониква в дълбочина и половината от нея се поглъща до първите няколко метра [4]. Видимата част на спектъра достига до няколко десетки метра и водата се нагрява много по-силно от атмосферата. За една година се изпарява близо еднометров воден слой, което довежда впоследствие до кондензация и валежи, отдавайки топлина и респективно температурни разлики между суша и океан. Това е съществена причината за пораждане на ветрове и урагани, което води след себе си още последствия за колебанията на морското ниво. Същевременно океанските течения пренасят нагретите или охладени води в други географски ширини и преразпределят топлината по планетата.

В изследвания период са записани 720 стойности за температура на въздуха, от които са определени:

- средна температура за април 2019 г. – -0,7 °C,
- минимална температура – -8,7 °C (21 април),
- максимална температура – +3,5 °C (12 април).

На Фигура 6 е представен месечният ход на температурата за април 2019 г., като по абсцисата са нанесени записите на температурата, 24 за всеки ден, или общо 720 отчетени стойности за месеца, а по ординатата е стойността в целзиеви градуси.

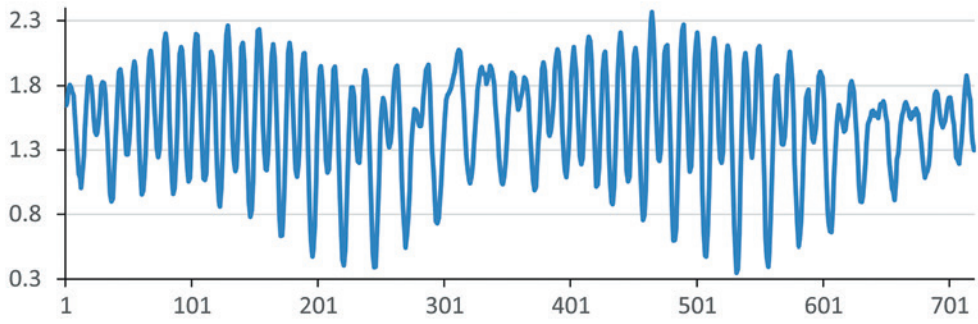


Фигура 6. Месечен ход на температурата за месец април 2019 г.

При направените математически анализи за корелация между температурата на въздуха в района на БАБ и данните за морското ниво се установи стойност r = 0,17, което показва известна степен на зависимост между двете групи данни. Може да се счита за достоверно, че в месеците, когато водата в Южния залив на о-в Ливингстън не е изцяло замръзнала, осезаемо влияние върху колебанията на морското ниво със стойности, включващи се в точността на измерване, не могат да се установят. Тъй като температурата на въздуха не се променя значително, няма как разликите да се отразят на водната среда, а оттам вследствие на термично разширение да се отчете повишение на нивото или рязко заледяване на повърхностния слой и понижение. Това би могло да стане факт единствено при съвпадение на големи температурни скокове и влияние на силни крайбрежни течения.

6. Заключение

На базата на представените анализи и връзки между локалните метеорологични параметри в района на БАБ и филтрираните информативни стойности за колебанията на морското ниво в Южния залив, на Фигура 7 е представена графиката за приливите и отливите за месец април 2019 г., която показва типичен вид на смесен прилив.



Фигура 7. Измененията на океанското ниво за април 2019 г.

В заключение може да се каже, че от проследените метеорологични параметри най-съществено влияние ще оказва силен продължителен вятър, духащ от една посока поне няколко дни и то със скорост не по-малко от 15 m/s, за да се установи промяна в колебанията на океанското ниво, различна от периодичните съставящи.

Атмосферното налягане ще въздейства на морското ниво, когато има скокове с повече от 1 hPa на час за продължителен период, тъй като тогава корекциите надхвърлят часовите приливни изменения, а освен това са съизмерими с точността на отчитане на мареографния датчик.

Анализът на корелацията между метеорологичните данни и колебанията на морското ниво в района на Българската антарктическа база „Св. Климент Охридски“ се оказва от съществено значение за правилната интерпретация на тенденциите в поведението на океанската повърхност. Отчетеното в последните години повсеместно повишение на температурата на въздуха следва да бъде ясен сигнал за настъпващите климатични промени не само на локално ниво, но и в глобален аспект. В тази връзка колебанията на морското ниво, особено в райони с интензивно ледниково топене, трябва да са от първостепенен приоритет като количествен критерий за промените в климата и перспективите за опазване на природата. Това следва да се обвързва особено с Антарктическия континент, основен резервоар на лед за планетата, имайки предвид неговата запазеност като природа и почти никаква антропогенна дейност.

Литература

1. Георгиев, Г. Морска хидрометеорология. В: Стено, 2000.
2. Пейчев, Вл., Д. Димитров. Океанология. В: Онгъл, 2012.
3. Български антарктически институт – https://bai-bg.weebly.com
4. Рачев, Г., Климатология. Парадигма, София, 2018.

51-ва Национална конференция по въпросите на обучението по физика

на тема:

„Образованието и научните изследвания по физика – фактор за устойчиво развитие“

10 – 13 април 2023 г., София

Повече информация на
http://upb.phys.uni-sofia.bg/conference/NK/51NK.html

Походът към ниските температури
част 1

Петко Кръстев

В статията е направен обзор на постиженията и развитието на нискотемпературната физика от зараждането на науката до наши дни. Разгледани са в исторически аспект методите за втечняване на едни от най-разпространените газове, като е обърнато внимание на особеностите при втечняването на хелий. Дискутира се явлението свръхпроводимост, както и характерни особености на Бозе-Айнщайн кондензати.

Ключови думи: термодинамична температурна скала, абсолютна температурна нула, свръхпроводимост, хелий, нискотемпературна физика, втечняване на газове, криогенна техника, Бозе-Айнщайн кондензат (BEC)

Методите за получаване на ниски температури водят началото си от края на XIX в. на миналото столетие и са резултат на дълъг път от историческото развитие на науката. Спускането надолу по температурната скала се оказва несравнимо по-трудно, отколкото изкачването нагоре по нея.

Когато създавали своите температурни скали, шведският физик Андерс Целзий (1742) и немският физик Даниел Фаренхайт (1714) даже приблизително не са предполагали каква може да бъде най-ниската възможна температура и от каква точка да се започне нейното измерване. Френският химик и физик Жозеф Гей-Люсак през 1802 г. на базата на експерименти, извършени от неговия сънародник Жак Шарл, открива интересна зависимост ($V/T = const$). Оказало се, че обемът (V) на дадена постоянна маса газ при постоянно налягане се изменя право пропорционално с изменението на температурата (T). Този закон позволява да се направят интересни изводи. При увеличаване на температурата на газа, неговият обем ще се увеличава и обратно, при протичане на охладителен процес в затворен съд, започвайки от 0 °C например, всеки път при намаляване на температурата с 1 °C обемът на газа намалява с една и съща величина, независимо от природата на газа, а именно на 1/273 от неговия обем. След охлаждане с още един градус, намаляването на обема ще представлява вече 2/273 части от първоначалния обем и т.н. Накрая, при охлаждане с 273 °C обемът на газа би трябвало да изчезне, което е невъзможно. Следователно -273 °C се явява най-ниската температура, към която може да се стремим, но никога не можем да я достигнем. На базата на такива разсъждения в началото на XIX в. е възникнала идеята за най-ниска температура и абсолютна температурна скала. Необходимо е да се отбележи, че при достатъчно ниски температури, газовете започват да се втечняват и законът на Гей-Люсак става неприложим.

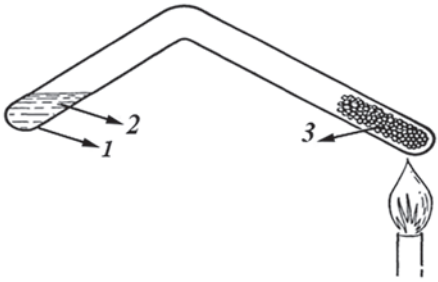
Строго доказателство за това, че едно тяло не може да бъде охладено до температура по-ниска от абсолютната нула, се основава на третия закон на термодинамиката (теорема на В. Нернст: „невъзможно е да се охлади дадено вещество до абсолютната нула чрез крайна поредица от операции“). Вторият закон на термодинамиката утвърждава наличието в природата на фундаментална асиметрия и показва естественото направление, в което се изменя разпределението на енергията. Този закон е открит емпирично от Сади Карно и формулиран в строга дефиниция от Р. Клаузиус и У. Томсън (лорд Келвин), който през 1848 г. въвежда в науката понятието „абсолютна температура“ и „абсолютна температурна скала“. В негова чест тази температурна скала се нарича „скала на Келвин“, а температурата, определяна по нея – термодинамична. Прецизни измервания са позволили да се уточни стойността на абсолютната нула по термодинамичната скала, която се оказва равна на -273,15 °C. В Международната система за мерни единици, приета на XIII Генерална конференция по мерки и теглилки през 1968 г., една от шестте основни единици се явява единицата за термодинамична температура – Келвин, обозначена с буквата K. Един Келвин (1 K) е равен на един градус по Целзий. За да превърнем целзиевите градуси в Келвини, е достатъчно към числото на тези градуси да добавим стойността: 273,15. Следователно за температурата на топене на леда (или 0 °C) получаваме стойността 273,15 K, а точката на кипене на водата, съответно: 373,15 K. За разлика от скалите на Фаренхайт и Целзий, в които е прието деленията да се обозначават с градуси, в термодинамичната скала се използва единствено обозначението „Келвин“. Келвиновата температурна скала е стандарт за използването в научни изследвания и техниката. Едно от нейните удобства е липсата на отрицателни температури [1].

Още от времето на Лавуазие през XVIII век изучаващите природата изследователи разбирали, че както температурата, така и налягането, играят определена роля в процеса на превръщане на газовете в течности. Ирландският химик Робърт Бойл през 1662 г. намерил проста зависимост между налягането и обема на газовете ($PV = const$). В края на XVIII в. холандецът М. ван Марум провел серия експерименти за да определи верен ли е законът на Бойл за всички газове или само за въздуха. Един от избраните газове бил амоняк, при работата с който е било направено откритие: с увеличаване на налягането на газа пропорционално намалява неговият обем, както е предсказано от закона на Бойл-Мариот. Накрая, когато налягането достигнало 7 atm[1], то неочаквано

[1] Физическата атмосфера (означение atm) е единица за налягане, равна на нормалното атмосферно налягане на морското равнище. Това е налягането, уравновесяващо живачен стълб с височина 760 mm при температура 0 °C. 1 atm = 760 mmHg = 101 325 Pa = 101,3 kPa.

престанало да нараства при по-нататъшно свиване, но обемът продължавал да се намалява. При налягане 7 atm, газообразният амоняк се втечнил. От този момент било възможно единствено увеличаване на количеството течност в цилиндъра за сметка на намаляването на обема на газа. Втечняването на амоняка било осъществено единствено с изменение на налягането, без понижение на температурата. След опитите на Марум последвали многочислени опити за превръщането на газовете в течности чрез тяхното свиване. Някои от опитите били успешни, но други газове, не се втечнявали, дори при максимално достижими налягания.

Първият учен, който представя научен подход към достигането на абсолютната нула, е английският физик Майкъл Фарадей. През 1823 г. Фарадей изследвал химическото разлагане на хлорен хидрат, като нагрявал съединението, разположено в херметически запоена под ъгъл стъклена тръба (Фигура 1).



Фигура 1. Експеримент на Фарадей по втечняване на хлор. 1). Студен край на тръбата. 2). Течен хлор. 3). Нагряване на хлорен нитрат

В процеса на нагряване в по-студения край на тръбата се образували капки течност. Фарадей решил да изследва получената течност, но при счупване на тръбата се получил силен взрив и течността изчезнала. Загадъчното вещество представлявало течен хлор. В действителност при нагряване на хлорния хидрат в херметически затворена тръба от него се отделя газообразен хлор. Нямайки възможност за излизане навън, газът все повече се свивал. А това, че при достатъчно висока степен на свиване газовете могат да преминат в течно състояние, е било известен факт по времето на Фарадей. Така станала известна първата студена течност – течният хлор, притежаващ температура на кипене при нормално атмосферно налягане -34,1 °C. М. Фарадей си задал въпроса, защо свиването на газа става винаги в студения край на тръбата? В процеса на експериментите с течен хлор става ясно, че освен налягането определена роля за втечняването има и температурата. В хода на изследванията изследователят потапял студения край на тръбата в охлаждаща смес и освен хлор успял да втечни амоняк, азотен оксид, въглероден и серен диоксид. Въпреки че научната дейност на М. Фарадей е била почти напълно посветена на електричеството и магнетизма, през 1831 г. той провежда опити по свиване на газове с помощта

на две помпи. Първата помпа свивала газа до 10 атмосфери, след това газът попадал във втора помпа, където се свивал до 50 атмосфери [2].

Въпреки изобретателността си, нови успехи в свиването на газове Фарадей не успява да постигне. Едновременно с него над този проблем в началото на XIX в. работели много известни учени от всички европейски страни. По онова време се считало, че газовете могат да се свиват или чрез дълбоко охлаждане, или чрез свиването им под високо налягане. Получаването на ниски температури е било трудно начинание, затова усилията били насочени предимно към получаването на високи стойности на налягането. Особено силен бил интересът към втечняването на газообразните химични елементи кислород, азот и водород. Те се разполагали в цилиндри и потапяли на дълбочина от около два km в океана, подлагани на налягане от почти двеста атмосфери, но нито един от тези газове не проявявал признаци на свиване. Във своите записки Фарадей отбелязва, че достигнатото охлаждане, очевидно не е достатъчно за свиването на кислород, азот или водород, даже при огромни налягания. Решението на задачата с втечняването на тези газове логически и постепенно се свела до дълбокото им охлаждане.

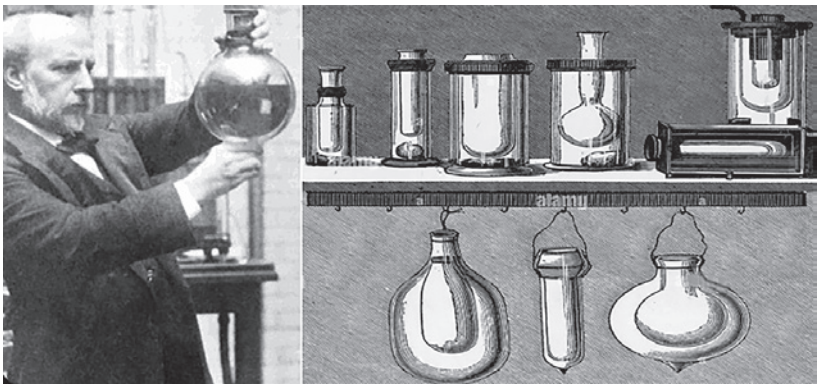
На 25.08.1867 г. М. Фарадей напуска този свят, оставяйки завидно научно наследство. Десет години по-късно, през 1877 г., френският инженер Л. Кайлете (*L. Cailletet*) осъществява втечняване на ацетилен и кислород, използвайки налягане върху газовете около 300 atm [3]. По този начин той поставя първата крачка в похода към достигане на абсолютната нула. За получаването на високо налягане Кайлете използвал детандер или устройство, съдържащо цилиндър с бутало и кран за освобождаване на газовете. При изпускане на част от газа той се разширява и следователно извършва работа. При това топлина към газа не се предава и по закона за съхранение на енергията газът се охлажда и образува капки в стъкления съд, където е разположен. По същото време швейцарският физик Р. Пикте (*R. Pictet*) успява да втечни кислород на няколко последователни етапа, на всеки от които той получавал втечняване на друг газ. Неговият метод впоследствие е наречен каскаден и се състои в следното. Газ, критичната температура[2] на който е по-висока от стайната, може да се втечни без предварително охлаждане. Получената по такъв начин течност се използва за охлаждане на втори газ, критичната температура на който е значително по-ниска от стайната. Течността, получена след втечняване на втория газ, може да се използва за втечняване на трети газ с още по-ниска критическа температура и т.н. Чрез своя метод Пикте втечнил кислород, използвайки в първия каскад серен двуокис, а във втория – въглероден диоксид. Пикте и Кайлете достигнали до едни и същи резултати по едно и също време по различни пътища. По стечение на

[2] температурата, при която изчезва границата между течна и газова фаза

обстоятелствата Кайлете официално бил признат за първия човек, който осъществил втечняване на кислород. Само седмица след успеха си той докладвал получаването на втечнен азот при температура на кипене -196 °C. След известно време Пикте, допълвайки трети каскад в своята установка, успява да втечни въздух. Въздухът, както е известно, се състои основно от азот и кислород и има температура на кипене между тези два съставни газа, а именно -194,4 °C. Въпреки че апаратурата на Кайлете е била неефективна, за първи път той демонстрира възможностите на втечняване на атмосферен въздух. Когато бил намерен много по-ефективен метод за получаване на течен атмосферен въздух няколко години по-късно, от метода на Кайлете окончателно се отказват и до 1932 г. той остава по същество забравен, представлявайки единствено исторически интерес. Следващата задача пред изследователите била формулирана през 1877 г. от френския физик Жаме пред Парижката академия на науките: „*Възможността за втечняване на кислород сега е доказана.., но как да задържим кислорода в течно състояние при температурата на негово кипене?*“. Кайлете умира през 1913 г. на 80 години и въпреки че работи усилено върху този проблем, не успява да го реши. По това време вече се бил появил цял нов отрасъл във физиката, свързан с втечняването на газове, като в началото на XX в. била разработена методика и станало възможно втечняването на всички газове и само един градус делял физиците от достигането на абсолютната нула. Отворила се сякаш нова реалност на странни физични явления, където не съществувало никакво електрическо съпротивление. Разбирайки за успешното втечняване на кислород, Джеймс Дюар купува от Париж апаратурата на Кайлете и през лятото на 1878 г. демонстрира капки от течен кислород на своите публични вечерни четения в Кралския институт в Лондон (Фигура 2).

Фигура 2. Лекция на Джеймс Дюар

Въодушевени от своите успехи, през 1884 г. Вроблевски и Олшевски провели серия опити по втечняването на водород по метода на Кайлете, но неуспешно. В началото на XX в. изследователските работи в областта на нискотемпературната физика се разделили на три основни направления. Първото е походът към абсолютната нула, а второто се отнася към изследванията, свързани със същността на процесите, произтичащи в новите открити области на ниските температури. Третото направление е било пряко свързано с развитие на технологичните методи и практическо приложение на новите научни открития. Струва си да се спомене, че в края на 80-те години на XIX в. в научната лексика се появила нова дума криостат (от гръцката дума cryos – студен). Така започнали да наричат контейнерите със специална конструкция, предназначени за съхранение на втечнените газове. Самата техника за получаване на ниски температури се нарича криогенна. Криостатът по онова време представлявал цилиндричен съд за течен газ, разположен в стъклен цилиндър, който се затварял плътно със запушалка. На дъното на цилиндъра имало сушилен агент, който поглъщал водните пари в пространството между стъклените стени и в същото време възпрепятствал замръзването на стените на съда. Така по време на лекция Дюар можел да внесе в лекционната зала течен кислород, приготвен по-рано и да демонстрира неговите свойства на аудиторията. Криостатът се превърнал в неотделима част от апаратурата за втечняване на газове.



Фигура 3. Прототипи на криостати, създадени от Джеймс Дюар

През 1893 г. Джеймс Дюар демострира вакуумен съд с двойни стени, (получил впоследствие неговото име), чиято конструкция остава непроменена до наши дни (Фигура 3). В криостатът, предложен от Дюар, въздухът намиращ се в пространството между стените на съда се изтегля до получаването на висок вакуум. В резултат на това рязко се понижава топлообменът между окръжаващата среда и веществото вътре в съда. За намаляване на топлинните загуби от излъчването на стените, образуващи вакуумното пространство, повърхностите

се покриват с тънък слой сребро и се полират. Съдове на Дюар масово се използват за съхранение на вещества при температура по-висока от тази на обкръжаващата среда. Така например термосите представляват Дюарови съдове, затворени в механична или пластмасова обвивка. Възможността за дълго съхраняване на течните газове в Дюарови съдове позволило на изследователите да провеждат експерименти със значително по-големи количества от втечнен газ, изчисляващи се вече не в кубически сантиметри, а в литри. През 1895 – 1896 г. както Дюар, така и много други учени по това време се опитвали да втечнят водород. В Краков над проблема работил Олшевски, а в Холандия се появил нов силен участник в надпреварата – Камерлинг Онес (Kamerlingh Onnes), който създал каскаден тип установка за втечняване на въздух. Първи на финала обаче стъпва Дюар. На 10.05.1898 г. той получил 20 cm^3 течен водород, който спокойно кипял в неговия вакуумен съд. Съобщение за това е било направено на 12.05.1898 г. Нито тогава, нито по-късно, Дюар е представил описание на своя втечнител. Той просто споменал, че първият положителен резултат в опитите по втечняване на водород е достигнат на установка, чрез която са пропускали със скорост 12 ft^3/min, предварително охладен до -205 °C (68 K) газообразен водород. След време в съда започнал да се набира течен водород, като за 5 min се събрали около 20 cm^3, след което апаратурата се замърсила с примеси и престанала да работи. Дюар се интересувал от температурата, която успял да достигне. Но електрическият термометър давал странни показания и било ясно че се бил повредил. Законите на природата, за които учените не подозирал дотогава, се проявявали при доближаване към абсолютната нула. Изследователят не могъл да установи температурата на кипене на течния водород, но с помощта на специално конструиран за целта газов термометър показал, че получената температура била много ниска, около 20 градуса по-висока от абсолютната нула [2].

Година след първия опит Д. Дюар успял да преведе втечнения водород в твърда фаза, това обаче била неговата последна победа по пътя към достигане на абсолютната нула. Много от физиците по онова време утвърждавали, че твърдият водород би трябвало да притежава свойствата на метал. Самият Дюар отричал такова твърдение, изхождайки от свойствата на течния водород. Резултатите от експеримента показали, че той е прав. Веднъж получил течен водород, Джеймс Дюар не се съмнявал, че е направил последната крачка към достигане на абсолютната нула. Но неговите по-нататъшни експерименти му показали, че греши. Водородът не бил газът с минимална температура на кипене. Следващият етап от изследванията на английският изследовател били експериментите с хелий. Хелият се отнася към благородните газове. Съдържанието му на Земята е малко и за първи път е открит на Слънцето. Освен

това, този газ е толкова химически инертен, че не образува никакви съединения с другите вещества и следователно не може да се открие с методите, с които се идентифицират другите редки елементи. В средата на XIX в. грандиозен успех в изучаването на свойствата на веществата добиват немските физици Кирхоф и Бунзен. Те анализират спектрите на излъчване, изпускани от нажежени газове, чрез спектроскоп – устройство, с помощта на което е възможно да се измерват дължините на вълните на излъчвания източник на светлина. На 18.08.1869 г., в деня на пълното слънчево затъмнение, изследователите за първи път насочили своя спектроскоп към слънчевата корона – широка смес от горещи газове, която ставала видима само тогава, когато слънчевият диск закрива Луната. Пълно слънчево затъмнение в тези години се наблюдавало в Индия и Малайзия. Всички учени, който го наблюдавали, забелязали в спектъра ярка жълта линия, която повечето от тях преписали на водорода, а някои – на натрия. Един от тях, Ж. Жансен (*J. Jansen*), се заинтересувал дали е възможно да се зафиксира жълтата линия. Неговите експерименти се увенчали с успех и за наблюдението той съобщил в Парижката академия на науките. След анализ на данните и сравнение на резултатите от тази и други линии, учените се убедили че тази жълта линия принадлежи на неизвестен дотогава химичен елемент. По предложение на Е. Френкланд (*E. Frankland*) и Дж. Локер (*J. N. Lockyer*), които изследвали интензивно тази линия, било прието този химичен елемент да се нарича хелий. Лорд Келвин представяйки резултатите във връзка с тяхната работа в своята президентска реч на събранието на Британската асоциация в 1871 г. казал: „*..изглежда е открито ново вещество, което те предлагат да се нарече хелий*“. Около 40 години след тези събития на никой не се е отдало да намери хелий на Земята. През 1895 г. английският химик У. Рамзи (*W. Ramsay*), успява да открие хелий, отделяйки го от минерала клевейт. Изяснило се много по-късно, че хелият се отделя от някой минерали и природни газове, в неголеми количества. Хелият е бил намерен и в Земната атмосфера, но в нищожни количества. Концентрацията му в атмосферата е по-малко от 0,001% и този газ остава в газообразно състояние дори при много ниски температури, които съответствали на твърдото състояние на водорода. Дюар разбрал, че втечняването на водорода не било последната крачка към абсолютната нула. За да се осъществи сложния план по втечняване на хелия, трябвало да се оцени неговата критична точка[3].

Тази точка той определя на 6 К, а Олшевски – на 1 К. След година опити

[3] Когато не съществува граница между течната и газообразна фаза на водата или на друго вещество, се казва, че сме достигнали неговата критичната точка. В този случай плътността на парите става равна на плътността на течната фаза и се счита, че тези две фази стават идентични.

Камерлинг Онес също потвърдил този резултат, изследвайки хелиево-водородни смеси. За щастие Онес не се доверявал на своите данни, чувствайки, че надеждна оценка може да се даде само чрез измерване на изотермите[4], на веществата. Новите данни, получени през 1907 г., потвърдили правотата на Дюар. Критичната точка лежала между 5 К и 6 К. През 1908 г. Дюар публикува статия под название „Най-ниската температурна точка (Надир) на температурата“. В нея описва трудностите съпровождащи го по пътя към втечняване на хелия. В края на статията имало известие, направено в коректурата. То гласяло: „Камерлинг Онес от Лайденския университет осъществил втечняване на хелия“. И така, състезанието било завършено. Джеймс Дюар не могъл да се възстанови от това поражение и постепенно загубил интерес към нискотемпературните изследвания. Съпругата му Роза Дюар впоследствие събрала и публикувала всички трудове на бележития учен, но в продължение на много години не се намерили изследователи във Великобритания, които да продължат неговите експерименти в областта на нискотемпературната физика. Джеймс Дюар не създал собствена школа. Неговите помощници по научна работа – Ленъкс, Хит и Грин, понякога били удостоявани с кратки благодарности в края на някоя обща статия, но никога не фигурирали в качеството си на съавтори, въпреки че бележитият учен им бил задължен за много идеи, които го вдъхновявали.

Литература

1. K. Mendelson, The Quest for Absolute Zero: the meaning of low temperature physics, (1977), Willey, ISBN-13:‚978-0470991480
2. Ya. A. Smorodinski, Temperature (Science for everyone), Mir, (1988), ISBN 13:9785030002293
3. L. Cailletet, The Liquefaction Of Oxyge", Science, 6 (128) 51–52. (1885), doi:10.1126/science.ns-6.128.51

The Long Journey to the Low Temperatures
part 1

Petko Krastev

The article reviews the achievements and development of low-temperature physics from the birth of science to the present day. Historically, the methods for liquefaction of some of the most common gases are considered, paying attention to the peculiarities of helium. The phenomenon of superconductivity is discussed, as well as the characteristic features of Bose-Einstein condensate (BEC).

[4] Изотерма се нарича крива, изобразяваща зависимостта на налягането на даден газ от неговия обем, при постоянна температура.

Академик Иван Юхновски на 85 години

На 12 август 2022 г. се навършиха 85 години от рождението на академик Иван Юхновски, ярка личност и учен, за когото науката е съдба, но и той самият променя съдбата на българската наука. В тежки времена, когато пълзяща промяна на ценности обхваща обществото, академик Юхновски успява да съхрани и утвърди авторитета както на Българската академия на науките, така и неотменността на науката и образованието като базови ценности във всеки един аспект на живота.

Иван Юхновски е роден през 1937 година в София. Родителите му са от руски произход, интелигентни хора, владеещи по два-три езика, с интереси и умения в много области, а и притежаващи таланти в областта на изкуството. И двамата са свирели на пиано, а бащата на бъдещия академик е рисувал прекрасно и е участвал в изложби. Въпреки недоимъка и оскъдицата, средата, в която са израснали Иван Юхновски и неговия брат, самите те определят като любвеобилна. Може би точно тази семейна среда спомага за превръщането на любопитното към всичко, талантливо и смело дете в силна, способна на емпатия, благородна личност.

През октомври 1945 г. внезапно събитие внася огромна тревога и променя живота на семейство Юхновски. Бащата получава заповед за изселването им от София: неизвестно къде, неизвестно за колко време и всъщност неизвестно за какво, но в рамките на 24 часа. След драматично пътуване разбират, че ще прекарат неизвестен брой години в Севлиево. Оказват се цели 18 години. Въпреки начинът, по който семейството попада в малкия тогава град, Иван Юхновски пази топли спомени от прекрасните хора, с които се е запознал, приятели за цял живот и любими, незабравими учители. Бъдещият учен прекарва много време в богатата читалищната библиотека, ненаситен към познанието идващо от света на книгите. Някъде през 1952 – 1953 г., за библиотеката е разпоредено „прочистване“. Издания на класиците на геологията, на биологията, натурфилософските школи – на руски, френски, немски и английски език попадат в Сладкарската кооперация, за да бъдат подлагани в тавите с тестени изделия. Младият Юхновски не може да приеме това, успява да намери над 100 кг. „Държавен вестник“, които предава на сладкарите и така спасява от унищожение изключително ценна литература.

През 1955 г. Иван Юхновски завършва гимназия в Севлиево. Въпреки опитите да не бъде допуснат до университетско обучение поради политическата ситуация в страната тогава, след многобройни спънки, той става студент в ХТИ – София (сега ХТМУ). През 1961 г. се дипломира сред първите трима по успех като инженер-химик в специалността „Органичен синтез, лекарствени

препарати и високомолекулни съединения“ и е поканен за асистент по органична химия в ХТМУ, където работи от 1961 до 1963 г. Още по време на студентското си обучение той разработва и издава научни статии в реномирани научни издания. Забележителна е способността му да си поставя интересни изследователски задачи с висока научна значимост. И. Юхновски е един от първите учени в България, който още като студент при разработването на дипломната си работа прилага методите на квантовата химия за изследване на електронния строеж на органични съединения, което едва не му струва бъдещата научна кариера, тъй като по онова време квантовата химия е причислена към буржоазните лъжеучения.

През 1963 г. започва работа в Института по органична химия при Българска академия на науките като научен сътрудник. Това е моментът, в който по думите на академик Юхновски „започва нова страница“ в живота му. През 1968 г. без ръководител защитава дисертация за кандидат на химическите науки (доктор). През 1979 г. основава самостоятелна лаборатория „Структурен органичен анализ“.

Значителна част от изследователската му дейност е посветена на изучаването на строежа и химичните трансформации на високореактивни продукти (интермедиати) в химичните и електрохимичните реакции. Преобладаваща част от тези йонни продукти са много нетрайни и не могат да се изолират, а данните за техния строеж са от фундаментално значение за изясняване на механизма и кинетиката на химичните реакции. Юхновски и сътрудници намират подходящи, специфични условия за получаването и изследването им с помощта на инфрачервени спектри и квантовохимични методи. Тези изследвания могат да се определят като новаторски. Осъществени са за първи път изследвания на спектри на нетрайните в обикновени условия радикал-аниони и карбаниони в специално конструирани за целта кювети за едновременно електрохимично генериране и измерване на инфрачервените им спектри, конструкцията на която е защитена с патент. Въз основа на големия експериментален материал и точната му интерпретация са формулирани редица закономерности. Изяснен е и механизмът на анионна полимеризация, предизвикан от редица радикал аниони. Комбинирането на експериментални и теоретични подходи е довело да правилно интерпретиране на структурата на стотици аниони, данни за които в литературата отсъстват или са оскъдни. С тези изследвания съществено са коригирани или изцяло отхвърлени като неверни редица, добили световна известност, литературни данни.

През 1982 г. Юхновски защитава докторска дисертация в областта на теоретичната органична химия, в която обобщава изследванията извършени под негово ръководство, а през 1984 г. е избран за професор. Той е автор и съавтор

на над 150 научни публикации и на глава от широкоизвестната монографична поредица „Химия на функционалните групи“, изд. *Wiley*, Лондон, написана по покана на редактора. Научен ръководител е на 12 докторанти и над 20 дипломанти.

По време на научната си кариера не изоставя интереса си към висшето образование. 24 години чете лекции по физични методи на органичната химия в Химическия факултет на Софийския университет. В съавторство с проф. Асен Трифонов през 1970 г. издават първия у нас учебник по тази дисциплина, като Иван Юхновски е автор на половината на учебника, посветен на методите и приложението на вибрационната и електронната спектроскопия.

За преподавателска и научна дейност акад. И. Юхновски е удостоен с Почетния знак със синя лента на СУ „Св. Климент Охридски“ (1997), почетна степен доктор хонорис кауза на Пловдивския университет „Паисий Хилендарски“ (2001), Варненския свободен университет „Черноризец Храбър“ (2004), Химикотехнологичния и металургичен университет в София (2005), Харковския университет, Република Украйна (2006). Редовен член е на Европейската академия на науките и изкуствата, Париж, (2003) и член на обществото Лайбниц, Берлин.

Много време и усилия акад. И. Юхновски посвещава на научно-приложната и внедрителска дейност. Тази дейност е свързана основно със създаването на множество високоефективни и екологични технологии за общата и специална галваника, микроелектроника, както и с методи за подготовка на метални повърхности. През 1974 г. за създаването на технологията за кисело блестящо помедняване проф. Юхновски, заедно с още двама учени, е удостоен с Димитровска награда – най-престижната за времето си награда за технически постижения. През 1980 г. Юхновски е удостоен със званието „Почетен изобретател“ за дейността си в приложната наука, а през 1970 г. и 1972 г. е удостоен два пъти с наградата „За принос в техническия прогрес“. Името му влиза в „Златната книга“ на изобретателите на България през 1998 г. Акад. И. Юхновски получава Почетния знак на проф. Асен Златаров на Съюза на химиците в България (2001), Почетния знак на Съюза на учените в България (2004), Орден „Стара планина“ първа степен на Република България (2004) и двукратно е награждаван с орден „Св. св. Кирил и Методий“ първа степен (2007 и 2018).

Иван Юхновски е първият демократично избран директор на Института по органична химия през 1989 г., като заема този пост до 1994 г. През 1989 г. е избран за член-кореспондент на БАН, а през 1997 г. – за академик. Избран е за зам.-председател на Българската академия на науките през 1990 г., а от 1996 г. до 2008 г. е три мандата председател на БАН.

През 2017 г. Химикотехнологичният и металургичен университет и Съюзът

на химиците в България обявиха учредяването на Национален конкурс за наградата „Акад. Иван Юхновски“ – „За изявен млад учен в областта на органичната химия“, финансирана с лични средства на акад. Иван Юхновски, която се връчва всяка година на изявени млади химици.

Акад. Иван Юхновски е учен, който категорично се противопоставя на фалшификациите в науката, учен, активно защитаващ почтената и чиста наука. В началото на 80-те години на миналия век проф. Юхновски се намесва като допълнително вещо лице в нашумял процес срещу т.нар. „Костенечки алхимици“. Той проучва осем завода в страната, ползващи багрила, произведени в Химически завод в Костенец и успява да докаже, че обвинението срещу ръководството на завода е скалъпено. Подсъдимите – шестима души, са напълно оправдани, а обвиняващият прокурор е понижен в длъжност. В течение на три години Иван Юхновски води борба и срещу секретна лаборатория към Химкомбината в Девня, произвеждаща и разпространяваща сред болни от рак в цялата страна лъжливия препарат ПТС 1300 (Противотуморно средство „1300 години България“). Доказва че препаратът съдържа недопустими количества от силно токсичния двуарсенов триоксид. Въпреки предупрежденията от Държавна сигурност, която толерира това производство, продължава да търси средства за спиране на смъртоносното лекарство. Успява да предизвика намеса на политически инстанции и прокуратурата и в края на 80-те години производството и прилагането на отровния продукт е прекратено. Акад. Юхновски проявява нетърпимост към псевдонауката и псевдоучените. Основател е на Клуба за борба с лъженауката към Събранието на академиците и член-кореспондентите на БАН. Инициатор е на редица подписки срещу преподаването на лъженауката хомеопатия в медицинските университети и професионалните гимназии у нас. Сега книгата му „Хомеопатията днес“ е под печат в Издателството на БАН „Проф. Марин Дринов“.

Академик Юхновски изминава целият научен и административен йерархичен път благодарение единствено на личните си качества, въпреки пречките, които създава политическата конюнктура в страната. Напълно заслужено получава най-високото звание в науката – академик, и заема поста на председател на Българската академия на науките. И днес той върви напред по необятните пътища на науката и пали пътеводните светлини за всички нас, които с респект и благодарност го следваме.

Следовници на акад. И. Юхновски от лаборатория „Структурен органичен анализ“ при ИОХЦФ – БАН

Лаборатория „Оптика и спектроскопия“ – предизвикателствата на новите материали, технологии, методи и приложения
част I

Мариана Кънева

Исторически бележки

Създадена заедно с възникването на Института по физика на твърдото тяло (ИФТТ) през 1972 г. и до неотдавна – с най-многочислен състав, лаборатория „Оптика и спектроскопия“ има разнообразна и богата изследователска дейност.

Основател на Лабораторията и най-дългогодишен неин ръководител е проф. Параскева Симова, с чието име са свързани първите изследвания в областта на спектроскопията във Физическия институт на БАН, започнали през 1951 г. Веднага след създаването (1951) на Секцията по спектроскопия започва разработката на нови методи за емисионен спектрален анализ с приложение в индустрията. Създават се полезни контакти с редица научни и промишлени звена, например с Катедрата по химия в Софийския университет (СУ), тъй като молекулната спектроскопия се е използвала при проследяване синтеза на нови вещества и за определяне на състава на вече съществуващи – напр. на петрола от находището в Долни Дъбник. През 1959 г. с преместването в новата/сегашната сграда на Института по физика Секцията по спектроскопия започва изследвания на вътрешномолекулни взаимодействия на вещества в различно агрегатно състояние с използване на ЯМР, Раманова и атомна спектроскопия, а П. Симова директно подпомага създаването на нови лаборатории за спектроскопични изследвания, както в научните институти по физика, химия, геология и медицина, така и в индустрията.

През 1972 г. Секцията се трансформира в сектор „Оптика и спектроскопия“. Започват интензивни изследвания по молекулна спектроскопия на твърдото тяло (IR, FTIR, FTFAR и Ra), сформират се групите по тънкослойна оптика (1975, с ръководител Георги Зартов), интегрална оптика (1976, с ръководител Иванка Саватинова), дифракционни решетки за интегралната оптика (1978, с ръководител Любен Машев) и влакнеста оптика (1985, с ръководител Андрей Андреев). За високата квалификация на учените от Лабораторията допринася правилната кадрова стратегия и назначаването на млади, добре подготвени и ентусиазирани специалисти.

Изследванията започват с вдъхновение и апаратура, много често

собственоръчно изработена (Фигури 1, 2).

Фигура 1. Вляво: н. с. Иванка Саватинова и физ. Мария Събева настройват най-мощния в България по това време (1971) лабораторен He-Ne лазер; вдясно: н. с. Любен Машев и физ. Светлен Тончев – изобретатели на метод за изработване на блестящи холографски дифракционни решетки (авторско свидетелство No. 33552). Носители на наградата „Златен интеграл“, 1983

Фигура 2. Вляво: ст. н. с. Андрей Андреев, н.с. Благой Панчев и ст. н. с. Парване Данеш пред установката за слоеве от аморфен силиций (2003); вдясно – установката за протонен обмен в ЛН и ЛТ (1989)

През 1992 сектор „Оптика и спектроскопия“ се преименува в Лаборатория „Оптика и спектроскопия“. Ефективната работа на учените от Лабораторията води до значителни успехи с международно признание в областта на оптиката и спектроскопията на твърдото тяло. Модерният набор от апаратура, технологии и методи, с които разполага Лабораторията днес, позволява създаване и многостранно охарактеризиране на различни материали.

През годините в Лабораторията за различни периоди от време са работили: доц. д-р Андрей Ангелов, доц. д-р Андрей Андреев, доц. д-р Благовеста Зафирова, гл. ас. Благой Панчев, ас. Божан Божков, доц. д-р Бойко Катранчев, гл.

ас. Борис Петров, ас. Владимир Канев, проф. д-р Георги Дянков, доц. д-р Георги Зартов, проф. д-р Георги Хаджихристов, проф. д.фз.н. Димитър Ангелов, проф. д.фз.н. Евгени Попов, доц. д-р Евгения Аначкова, доц. д-р Елена Видолова-Ангелова, гл. ас. д-р Елена Стоянова, доц. д-р Елка Караколева, доц. д-р Елка Кескинова, доц. д-р Иван Дозов, ас. Иван Пенчев, проф. д-р Иванка Саватинова, гл. ас. д-р Илко Милушев, ас. д-р Ирена Савова, Ирина Евстатиева, Йордан Колев, доц. д-р Йосиф Рангелов, проф. д.фз.н. Красимир Панайотов, доц. д-р Красимира Антонова, доц. д-р Любен Машев, инж. Любомила Дединска, доц. д-р Любомир Цонев, гл. ас. Людмила Кънчева, ас. Маргарита Горанова, доц. д-р Мариана Кънева, Мария Молерова, ас. д-р Мария Събева, проф. дфзн. Минко Петров, проф. д.фз.н. Николай Киров, инж. Орлин Аврамов, проф. д-р Параскева Симова, доц. д-р Пенка Кирчева, доц. д-р Петя Павлова, физ. Радослав Тодоров, доц. д-р Румяна Пеева, доц. Сава Симеонов, доц. д-р Светлана Джамбова, доц. д-р Светлен Тончев, проф. д.фз.н. Светослав Рашев, проф. д.фз.н. Симеон Съйнов, доц. д-р Таня Цветкова, доц. д-р Теодор Кръстев, доц. д-р Тихомир Тенев, доц. Тодор Ангелов, доц. д-р Тодор Кехлибаров, доц. д-р Харикюн Нарадикян, Юрий Сарафов, гл. ас. Ягода Узунова, Янка Велкова.

Фигура 3. Част от състава на Лабораторията през 2007 г.(от ляво надясно: Н. Киров, Х. Нарадикян, П. Симова, Б. Катранчев, К. Панайотов, М. Петров, Б. Петров, Е. Видолова-Ангелова, Т. Тенев, Н. Коленцов (лаб. „Електрични и оптични явления в широкозонни полупроводници“), Б. Божков, Р. Пеева, Е. Караколева., Б. Зафирова, Б. Панчев, Л. Цонев, М. Кънева, Кехлибаров, Т. Кехлибаров, И. Милушев)

Ръководители на Лабораторията са: проф. Параскева Симова (от 1951 до 1990), проф. Николай Киров (от 1990 до 2001), проф. Минко Петров (от 2001 до 2010), проф. Светослав Рашев (от 2010 до 2016) и доц. Тихомир Тенев (от 2017 г.).

Дейност

От самото създаване на Лабораторията голям дял в нейната дейност заемат изследванията с практическо приложение в индустрията, започвайки от качествен и количествен спектрален анализ и достигайки до най-модерни материали и структури, технологии за получаването им и спектроскопични методи за изследването и охарактеризирането им. Обучени са и редица специалисти за работа в промишлени лаборатории/звена, издадени са многобройни авторски свидетелства и патенти.

Научноизследователската дейност – експериментална и теоретична, обхваща широк спектър от области както от физиката на твърдото тяло, така и от физиката на течните кристали и биомолекулите, редица интердисциплинарни изследвания.

Понастоящем в Лабораторията са обособени тематично девет изследователски направления: тънкослойни и многослойни структури, интегрална оптика, холографски дифракционни решетки, влакнеста оптика, оптика и спектроскопия на течни кристали и нанокомпозитни материали, лазерна физика и нелинейна оптика, електронни и вибрационни спектри на многоатомни молекули, йонна имплантация, спектроскопични методи в археологията.

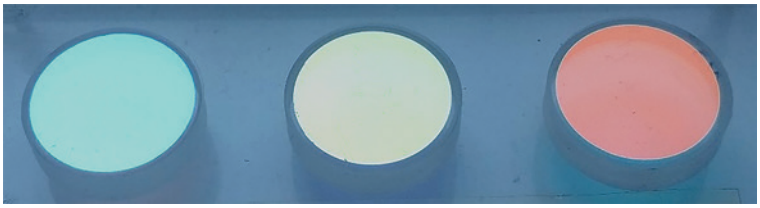
Тънкослойни и многослойни структури

Групата по тънкослойна оптика има дългогодишен опит при получаване на едно- и многослойни структури чрез изпарение на метали, за производство на лазерни огледала и филтри с предварително зададени параметри.

Първите експерименти започват със самоделна вакуумна инсталация за нанасяне на тънки слоеве с прецизен оптичен контрол на дебелината им за получаване на висококачествени оптични елементи: огледала, единични и сдвоени тесноивични филтри, отрязващи филтри, поляризационни светоделители, просветляващи покрития и др., на основата на многослойни интерференчни покрития. Добрите резултати са причина за включване на ИФТТ в проекта „Интеркосмос България 1300“, като групата по тънкослойна оптика изработва тесноивичните (с полуширина 20 nm) интерференчни филтри за спектрометъра „ЕМО-5“ – част от оборудването на спътника за научни цели „Б-1300“, изстрелян през 1981 г.

Работата продължава с уникални разработки по договори с Института по специална оптика (НИИСО) за моделиране и изработване на специални

оптични елементи за близката инфрачервена спектрална област, с изготвяне на огледало за работа в магнитно поле за нуждите на Оптико-механичния завод, София, както и изработване на лазерни огледала, интерференчни филтри и поляризатори за колеги в ИФТТ и за външни клиенти. Разработките са предмет на редица авторски свидетелства [1 – 3].



Фигура 4. Многослойни, тесноивични, интерференчни филтри за дължини на вълната 488 nm (син), 512 nm (зелен) и 633 nm (червен)

Сред постиженията на групата са получаването на различни многослойни широкоивични отражателни покрития за близката ИЧ и видимата област [4] с изследване на зависимостта на коефициента на отражение и дисперсията за всеки от материалите от технологичните параметри, конструирането и изработването на тесноивични интерференчни филтри във видимата област с полуширина под 2 nm, изготвянето на лазерни огледала за УВ област с използване на монослоеве от MgF_2 и LaF_3 (90% отражение за 230 nm, полуширина на ивицата 25 nm и отражение под 10% за цялата видима област) [5]. При използване на 4 такива огледала се получава тесноивичен пренастройваем (205 – 225 nm) УВ филтър с полуширина 15 nm и затихване във видимата област на спектъра 35 dB.

Създадени са редица модулатори, базирани на тънкослойни покрития – интерференчни филтри тип Фабри-Перо [6, 7], конструирани са хибридни оптични бистабилни устройства [8-10].

В рамките на договор с фирмата OPTIX AD са разработени и оптимизирани многослойни интерференчни структури – лазерни огледала, филтри, делители, антиотражателни покрития и др. Пример за това са предно и задно огледало за безопасна за окото лазерна генерация с дължина на вълната 1538 nm. Задното огледало има високо пропускане при 1067 nm, високо отражение при 1351 nm и частично отражение при 1538 nm [11].

По успешно изпълнен проект по Оперативна програма „Развитие на конкурентноспособността на българската икономика 2007 – 2013“ е обновено технологичното оборудване за научно-приложните разработки на многослойни оптични структури (Фигура 5).

Понастоящем дейността на групата е в посока оптимизиране на режимите на технологичните процеси за получаване на тънкослойни покрития от нови

оптични материали върху антирефлексни и огледални покрития за близката и далечната УВ област, с предварително зададени характеристики, с високовакуумните технологични системи „Симфония 9“ (електронно-лъчево изпарение с йонно асистиране) и B55 (терморезистивно изпарение), закупени със средства от проекта. Тези изследвания са по рамкови споразумения с редица фирми от индустрията, занимаващи се с разработки или използване на тънкослойни покрития като Оптикс АД, Кимкооп Холдинг ООД, Милкотроник ООД, Оптеко и партнърс ООД.

Фигура 5. UV-VIS-NIR спекрофотометър Lambda 1050 (Perkin Elmer), Фурие спектрофотометър FTIR Vertex 70 (Bruker Optik).и високовакуумната система нанасяне на тънки слоеве Symphony 9 (Tecport Optics)

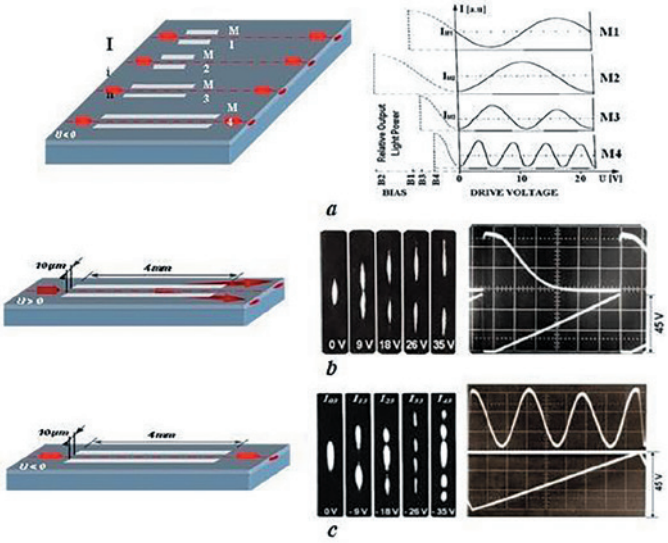
Усвояват се многослойни покрития за близката и далечната УВ област – антирефлексни и огледални чрез използване на устойчиви окиси – Al_2O_3 и SiO_2. Реализирани са тесноивични огледала (минус филтри) с над 40 слоя за дължини 520 и 1040 nm с високо пропускане в широка спектрална област (270 – 900 nm) [5].

Оптичните свойства на слоевете се изследват и характеризират с помощта на UV-VIS-NIR спекрофотометър Lambda 1050 (*Perkin Elmer*) и Фурие спектрофотометър FTIR Vertex 70 (*Bruker Optik*), което позволява да се определят оптичните константи на материалите, които ще бъдат използвани за синтез на многослойни структури с различно предназначение. Провеждат се и експерименти за получаване на метал-диелектрични структури върху различни

повърхности и дифракционни решетки за получаване на плазмонен оптичен резонанс с високо отражение и малки оптични загуби с акцент върху възможността за практическото им използване в оптични сензори във видимата и близката ИЧ област [12].

Интегрална оптика

Основните дейности на групата по интегрална оптика са разработване, модифициране и оптимизиране на технологии (йонен и електростимулиран йонен обмен в стъкла, титанова дифузия в литиев ниобат и протонен обмен в сенетоелектрични кристали – $LiNbO_3$, $LiTaO_3$, KTP) за получаване на висококачествени планарни и ивични вълноводи и елементи на тяхна основа – фазови и амплитудни модулатори, призми, дефлектори, лещи, превключватели, за нуждите на фотониката [13 – 17], както и фундаментални изследвания по материалознание за определяне на механизмите, обуславящи вълноводния ефект и за охарактеризиране на вълноводите.

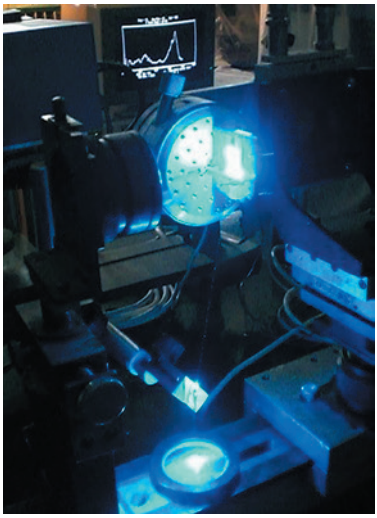


Фигура 6. Вълноводни елементи и устройства в Ti:LiNbO3 (обект на авторски свидетелства):
(a) АЦП (BG Patent № 39271,1985; BG Patent № 39270, 1985)
(b) разделител/модулатор (BG Patent № 37807,1984)
(c) електрично-индуциран ивичен вълновод (BG Patent № 35437, 1983)

Групата по интегрална оптика е една от няколкото изследователски групи по света с най-съществен принос в получаването и изследването на оптични вълноводи, получени с протонен обмен в литиев ниобат и литиев танталат от самото създаване на технологията, която понастоящем е една от двете

основни технологии за локално повишаване на показателя на пречупване в тези кристали.

Ползата от тези изследвания е възможността за създаване по бърз и евтин начин на редица елементи, използвани като главна част на сензорните чипове за различни фотонни устройства. Тези устройства съдържат различни интегралнооптични компоненти като модулатори, съединители, поляризатори и т.н. Най-важните от тях са фазовите модулатори и интерферометричните Мах-Цендер модулатори, с приложение при различни навигационни прибори (най-вече жироскопи) и в други системи за контрол (напр. сензори за електрично поле или температура). Предимствата на устройствата, използващи оптични вълноводи, получени с протонен обмен в литиев ниобат, са възможността за работа при по-високи оптични мощности и по-малки дължини на вълната, отколкото тези с вълноводи, получени с термична дифузия на титан в същия кристал, както и поляризиращото действие на PE вълноводи, поради което не се налага в устройството да се въвежда допълнителен поляризиращ елемент, необходим за работата на много от сензорните елементи. По този начин вълноводите с протонен обмен подобряват работата на устройството, предотвратявайки допълнителни загуби.

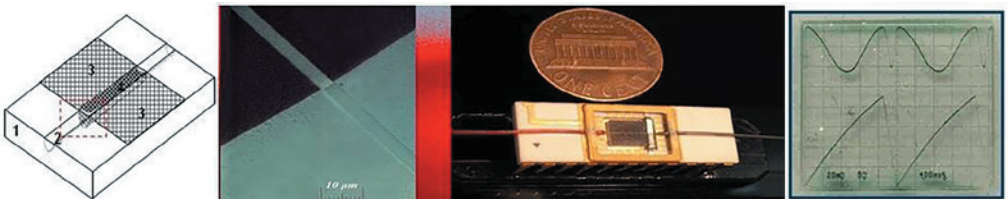


Фигура 7. Установка за вълноводна Раманова спектроскопия

Сред постиженията на групата са създаването на нов метод за охарактеризиране на вълноводи – вълноводна Раманова спектроскопия [18] (Фигура 7), метод за определяне на електро-оптичните коефициенти на вълноводните слоеве [19], изследване на фоторефракцията и механизмите, обуславящи загубите в протонно-обменените вълноводи [20], влиянието на стехиометрията върху параметрите на вълноводите [21], изследване на механичното напрежение

във вълноводите в зависимост от степента на протониране [22] и комбинирана спектроскопична методика за идентификация на фазите и разпределението им в дълбочина, за определяне на относителния дял на всяка фаза в многофазовите протонно-обменни слоеве [23], еволюцията на вълноводните параметри във времето и фазовите трансформации при термично третиране [24], физичните условия и процеси, чрез които технологичните параметри влияят върху фазообразуването и следователно върху параметрите на получаваните протонно-обменни вълноводи, предлагането на различни технологични модификации за получаване на вълноводи с нови параметри [25]. Един такъв пример е методът на двустъпален протонен обмен с междинно отгряване, с който се получават дълбоки вълноводи с много голямо изменение на показателя на пречупване ($\Delta n_e \sim 0{,}15$ за 633 nm) без повреждане на повърхността [26].

Предложен е и модулатор от принципно нов тип – едноивичен Мах-Цендер (Фигура 8), базиран на поляризиращите свойства на вълноводите, получени с протонен обмен в литиев ниобат и литиев танталат, с изключителна простота на конструкцията и възможности за миниатюризация [27].



Фигура 8. Едноивичен Мах-Цендер модулатор (BG Patent No. 63788, 2002)

Литература

[1] Р. Пеева, Б. Зафирова, Г. Зартов, К. Антонова, Авторско свидетелство № 30286 от 07.12.1979г., ИНРА (издаден акт за внедряване)
[2] Г. Зартов, К. Антонова, Р. Пеева, Б. Зафирова, Авторско свидетелство № 30436 от 07.12.1979г., ИНРА (издаден акт за внедряване)
[3] Г. Зартов, Б. Зафирова, К. Антонова, Р. Пеева, Авторско свидетелство № 33709 от 17.03.1980г., ИНРА
[4] G. Zartov, R. Peyeva, B. Zafirova, K. Antonova, Optica Acta, 27, 869 (1980)
[5] I. Miloushev, T. Tenev, R. Peyeva, K. Panajotov, AIP Conference Proceedings, 1203, 618 (2010)
[6] G. Zartov, R. Peyeva, K. Panajotov, Optica Acta, 32, 1339 (1985)
[7] G. Zartov, K. Panajotov, R. Peyeva, Phys. Lett., 11A, 405 (1985)
[8] G. Zartov, K. Panajotov, R. Peyeva, Appl. Phys. B, 39, 111 (1986)
[9] G. Zartov, K. Panajotov, R. Peyeva, Opt. Comm., 61, 6 (1987)
[10] G. Zartov, T. Tenev, K. Panajotov, E. Popov, R. Peyeva, H. Thienpont, I. Veretennicoff, JOSSA A, 18, 1741 (2001)
[11] T. K. Tenev, I. K. Miloushev, R. A. Peyeva, Journal of Physics: Conference Series 223, 01202 (2010)
[12] T. Tenev, I. Miloushev, R. Peyeva, S. Tonchev, O. Parriaux, Plasmonics; 9, 311 (2014)

[13] I. Savatinova, S. Tonchev, Appl. Phys. A, 36, 113 (1985)
[14] I. Savatinova, S. Tonchev, Appl. Phys. A, 31, 187 (1983)
[15] B. Panchev, A. Kebedjiev, I. Savatinova, in: Nolting, HP J, Ulrich, R (eds.) Integrated Optics. Springer Series in Optical Sciences, 48, 125 (1985)
[16] S. Tonchev, I. Svatinova, J. Opt. Commun., 6, 103 (1985)
[17] I. Savatinova, S. Tonchev, J. Opt. Commun., 9, 17 (1988)
[18] I. Savatinova, S. Tonchev, M. Kuneva, Appl. Phys. A, 56, 81 (1993)
[19] I. Savatinova, S. Tonchev, R. Todorov, M. Armenise, V. Passaro, C. Ziling, IEEE J. Lightwave technology, 14, 403 (1996)
[20] I. Savatinova, S. Tonchev, P. Kircheva,. Ferroelectrics, 249, 257 (2001)
[21] I. Savatinova, M. Kuneva, Z. Levi, V. Atuchin, C. Ziling, and M. N. Armenise, Proc. SPIE, 1374, 37 (1991)
[22] M. Kuneva, S. Tonchev, K. Christova, in: Newest Updates in Physical Science Research, 5, 140, BPInternational (2021)
[23] M. Kuneva, S. Tonchev, R. Gorgorov, in: Advances in Microelectronics: Reviews, 2, 183, Ed. by S. Yurish, IFSA Publishing (2019)
[24] C. Ziling, L. Pokrovskii, N. Terpugov, I. Savatinova, M. Kuneva, S. Tovchev, M. N.Armenise, V. Passaro, J. Appl. Phys., 73, 3125 (1993)
[25] M. Kuneva, S. Tonchev, P. Dimitrova, Journal of Materials Science - Materials in Electronics, 14, 859 (2003)
[26] M. Kuneva, S. Tonchev, M. Pashtrapanska, Cryst. Res. Technol., 32, 387 [1997]
[27] S. Tonchev, M. Kuneva, Proc. SPIE, 3950, 246 (2000)

Laboratory of Optics and Spectrosdopy – Challenges of New Materials, Technologies, Methods and Applications part 1

Mariana Kuneva

This year marked the 50th anniversary of ISSP–BAS and of one of its largest laboratories – the Laboratory of optics and spectroscopy. The review on the work of the scientists of the Laboratory in three parts is dedicated to this anniversary. The first part comprises some historical notes and a short overview of the scientific and applied achievements in two of the nine areas of the Laboratory's work – thin-layer and multilayer structures and integrated optics.

Акад. Евгени Будевски – блестящ учен-електрохимик, пламенен иноватор и вдъхновяващ ръководител

Евелина Славчева

Фигура 1. Акад. Евгени Будевски (1922 – 2008)

Тази година възпитаници и последователи на акад. Евгени Будевски отбелязваме 100-годишнината от неговото рождение и бихме искали да направим читателите на списание „Светът на физиката“ съпричастни на вълнуващия спомен за нашия учител.

Евгени Будевски е първороден син на Богдан и Дима Будевски, роден на 29 юли 1922 г. в София. Богдан, усвоил от баща си Ганчо Будевски (изобретател и фабрикант в производството на взривни и пиротехнически материали) интерес към химията, е висококвалифициран предприемач. Когато представя за първи път в България потенциометричен pH-метър с платинен хинхидронов електрод (1937 – 1939), за превода на инструкциите за ползване се доверява на сина си Евгени, който по това време учи в немско училище [1]. Навярно това е бил и първият сериозен урок за младежа по електрохимия. На Евгени се паднала и честта да бъде батко на Надя и Омуртаг и да има шанса от рано да изявява и развива заложените в себе си лидерски качества.

Освен отличен ученик, от дете Евгени проявява силен дух в тренирането на различни спортове. Преди всичко той е изключително добър скиор, който се разминава с участие в Олимпийските игри поради избухването на Втората световна война [1]. Страстен любител на природата, той до преклонна възраст активно практикува водни и планински спортове, като в тези занимания увлича и многобройните си приятели и колеги.

След завършване на училище през 1943 г. Евгени постъпва във факултет „Артилерия“ на Академията за запасни офицери в Банкя. Добрите му математически способности при изчисление на балистика го отвеждат на фронта, където ръководи стрелбите на намиращата се пред фронтовата линия българска артилерия. За проявена смелост при отстраняване на прекъсната свързочна връзка в особено опасна ситуация Евгени е награден с Военен кръст и Георгиевски кръст [1].

През есента на 1944 г. се записва за студент по химия в Природоматематическия факултет на Софийски университет. Още във втори курс става любимец на проф. Ростислав Каишев, при когото учи физикохимия, а

след завършване на следването си през 1949 г. става негов асистент в катедра „Физикохимия“. През 1958 г. защитава дисертационен труд на тема „Електрохимична кинетика“ и е преназначен за старши асистент в същата катедра. Следват още много стъпала в науката, които той непоколебимо изкачва в своята кариера: доцент от 1960 г. и професор от 1964 г. на Софийския университет; ст.н.с. I ст. от 1967 г., член-кореспондент от 1984 г. и академик от 1995 г. на Българска академия на науките; гост професор на университети в Япония, Германия, САЩ и др.

Проф. Будевски продължава преподавателската си дейност в Софийския университет до 1967 г., при все че от 1959 г. е научен сътрудник в новооснования от проф. Ростислав Каишев Институт по физикохимия (ИФХ) на БАН. Вече като ръководител на секция „Електрохимия“ в ИФХ, той се заема да изпълни съкровената мечта на учителя си – да намери експериментално доказателство на изведената през 30-те години на миналия век теория на Странски-Каишев за двумерното зародишообразуване при растежа на кристалите.

Фигура 2. Проф. Иван Странски (седнал) сред групата на Евгени Будевски (зад гърба му в дясно) при посещението си в БАН през 1969 г

В хода на организацията и работата по изпълнение на тази задача Будевски се утвърждава като основоположник на българската електрохимична школа. С голямо усърдие и усет той сформира интердисциплинарен колектив от млади и изключително способни учени, които под неговото ръководство успяват за първи път в света да получат електролитно растяща в стъклена капиляра бездефектна стена на сребърен монокристал с атомно гладка повърхност. По уникален метод, чрез прецизно измервани и контролирани електрически величини (напрежение и плътност на тока), те косвено измерват кристалния растеж на сребро от воден разтвор на сребърен нитрат. Контролират растежа на кристала чрез задаване на кратък импулс по напрежение. Прилагайки своя уникален

подход да модулират постоянния ток на растеж с променлив ток с оптимизирани амплитуда и честота, успяват да осигурят „правилното“ позициониране на сребърните атоми в кристалната решетка и да получат идеално гладка монокристална повърхност [2 – 4]. С това е изпълнен само първият етап от проекта. С неимоверен ентусиазъм и търпение те продължават своите многобройни опити за намиране потвърждение на теорията на Странски и Каишев. И успяват! Резултатите от наблюденията им върху поведението на скоростта на растеж при постоянно пресищане (т.е. върху големината на тока при постоянно свръхнапрежение), недвусмислено показват, че идеалната кристална стена расте чрез образуване и разрастване на двумерни зародиши [5 – 6]. Също така, протоколите за капилярно отлагане биват използвани за количествено валидиране на теорията на Франк за растеж чрез винтови дислокации и за оценка на въздействието на морфологията на повърхността върху структурата на двойния слой и свързани с адсорбцията явления [7].

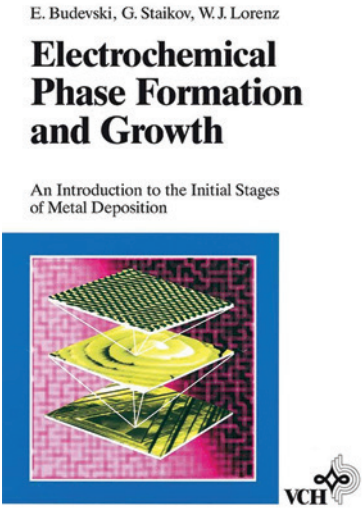
Още първите публикации на екипа, посветени на явленията на зародишообразуване върху повърхности на сребърни монокристали без дислокации (100) от 1966 г. [3 – 4], предизвикват жив интерес в международната научна общност. През следващата година проф. Будевски е поканен да чете лекции в най-известните университети в САЩ. Откритието дава импулс на разработки, свързани с дислокациите в кристалните структури, които намират приложение в електрониката.

Фигура 3. Акад. Ростислав Каишев (втори отляво надясно) заедно със своите възпитаници Стефан Рашков, Евгени Будевски (трети отляво надясно), Йордан Малиновски, София, 1978 г.

През 1967 г. Евгени Будевски приема ново голямо предизвикателство – да поеме ръководството на Централната лаборатория по електрохимични източници на ток (ЦЛЕХИТ) при БАН, на която става съосновател заедно с Дечко Павлов. Новосъздадената ЦЛЕХИТ, в която основно ядро са учените от секция „Електрохимия“ в ИФХ, приема отговорната задача да подкрепя разрастващата се в България акумулаторна индустрия чрез фундаментални и научноприложни изследвания за подобряване производството на оловни акумулатори, както и за създаване на нови видове неоловни батерии.

През следващите десетилетия Евгени Будевски и неговите сътрудници в

ЦЛЕХИТ продължават да създават уникална експериментална техника, с която развиват и усъвършенстват научните познания в областта на електрокристализацията – установяват директния механизъм на електроотлагане на метални йони [8], подпотенциалната адсорбция на собствени йони и адсорбцията на чужди йони [9 – 10]; измерват импеданс на бездислокационни кристални стени [11]. Будевски е участник в международния екип, получил за първи път в света in situ STM изображения на отделни кристални стени с атомна разделителна способност [12].



Фигура 4. Корица на книгата

Академик Будевски е оставил богато наследство от над 150 научни публикации и 40 патента със значително влияние в научния свят (над 4000 цитирания към 2022 г.). Най-ярко сред трудовете му се откроява издаваната вече два пъти (1996 и 2008 г.) книга „Електрохимично фазово формиране и растеж – въведение в началните етапи на отлагане на металите“ [13]. В съавторство с Георги Стайков и Волфганг Лоренц в нея той обобщава огромния си опит и познания в областта на електрокристализация на металите.

Проф. Будевски има ярки приноси и в редица приложни области на електрохимичната наука. Със създаването на ЦЛЕХИТ той сформира група „Метал-въздушни системи“ и лично работи в екипа, разработващ газодифизионен електрод от хидрофобен тип. Още през 1969 г. с авторско свидетелство и патенти в чужбина е защитен изобретен в ЦЛЕХИТ електрод от порест хидрофобен материал на базата на ацетиленови сажди и тефлон. Електродът достатъчно надеждно се снабдява с кислород от въздуха, като същевременно препятства изтичането на електролит през електродите. Същата година за първи път в България е демонстриран електрокар, задвижван с разработена в ЦЛЕХИТ първична батерия цинк-въздух (40 ЦВП 200). През 1970 г., изпреварвайки с шест месеца General Motors, лабораторията бележи постижение в световен мащаб с демонстрирането на електромобил ЕЛМО 70, изминал с първична батерия цинк-въздух (160 ЦВП 300) пробег от 210 км със средна скорост 55 км/ч. През лятото на 1970 г. ЦЛЕХИТ първи в света демонстрира и електрокар със свой желязо-въздушен акумулатор. Тези и други постижения са реализирани с активното участие на проф. Будевски. Разработките на батерии за електромобили са прекратени заради преимущественото използване на икономически по-изгодните двигатели с вътрешно горене, но Будевски насърчава и ръководи проекти за

разработване на иновативни метал-въздушни системи и през 1981 г. първични батерии цинк–въздух са внедрени в производство в завод „Мусала“, Самоков. Батерии цинк-въздух с висок капацитет и ниска мощност (ZV500 и ZV3000) са използвани за захранване на навигационни шамандури в Балтийско море повече от 10 години. През 80-те години на XX в. с батерии от същия тип са оборудвани българските експедиции в Хималаите (Lhotze 1981, Everest 1984 и Anapurna 1986). При все екстремните условия – надморска височина от 5000 м (ниска концентрация на кислород във въздуха) и температури до -30°C, те надеждно служат за захранване на телекомуникационната система и за електрическо осветление в базовия лагер. През 80-те години на миналия век в ЦЛЕХИТ са разработени и втора генерация механично зареждаеми батерии цинк-въздух. През 1995 г. при изпитания, проведени на пистата в Солт Лейк, САЩ, електромобил с такива батерии, произведени в завод „Мусала“, прави ненадминат и досега световен рекорд на пробег от 640 км с едно презареждане. Днес ИЕЕС – БАН продължава разработването на нови поколения цинк-въздух и други метал-въздушни системи.

Евгени Будевски е директор на ЦЛЕХИТ от 1967 до 1993 г. Изключителните му лидерски умения са залог за впечатляващи успехи на звеното. Школите на акад. Дечко Павлов (оловни акумулатори), проф. Здравко Стойнов (електрохимични методи и импедансна спектроскопия), проф. Илия Илиев и проф. Анастасия Каишева (метал-въздушни батерии), проф. Рафаил Мощев и проф. Карекин Харпарцумян (литиеви батерии), акад. Александър Попов (твърди метални електроди), проф. Тодор Витанов и Веселин Бостанов (електрокатализ и електрокристализация) са завоювали висок международен престиж.

Като човек работил по наноструктуриране на твърди повърхности, акад. Будевски не остава безучастен и към актуалната в края на 90-те години на XX в. тема за развитие на нанотехнологиите. Той става визионер за развитието им в страната и региона. През 1999 г., залагайки на проверения в дългогодишната си успешна научна кариера подход, той създава Експертен съвет по нанотехнологии в България и работи всеотдайно за изграждане на мултидисциплинарно „Нано-общество“ в Югоизточна Европа. Целта е обединение на експерти от различни области, които да споделят идеи и експертиза за осъществяване на съвместни проекти в областта на нанотехнологиите. Будевски ръководи проекта COSENT, спонсориран от UNESCO-ROSTE (2002 – 2004), в рамките на който успява да изгради „виртуална“ мрежа от 194 учени, работещи в областта на нанонауката и нанотехнологиите, представители на 81 партньорски академии, университети, институти, малки и средни предприятия.

Последната научна „страст“ на акад. Будевски е така популярният в последните години „зелен водород“. Оценявайки възможностите на водородните

технологии като реална алтернатива за ефективно използване на енергията от възобновяеми източници, Будевски е сред малцината основатели на Българското водородно общество (2004 г). Като председател на Научния съвет на обществото, той се заема с присъщата си отговорност и отдаденост да обедини учени с експертни познания в тази област, които не само да реализират научно-приложни проекти, но и да работят за широкото популяризиране на водородните технологии в България. Още през 2002 г. под негово ръководство екип от учени на ИЕЕС – БАН участва заедно с колеги от Гърция, Сърбия и Македония в успешното изпълнение на първия за региона Европейски проект („PROMETHEAS“, 6РП на ЕК) за получаване на водород чрез електролиза на вода в клетки с полимерна протон проводяща мембрана – технология, която днес вече е комерсиална и намира все по-широко практическо приложение за производство на чист водород. В рамките на проекта екипът на ИЕЕС разработва мембранен електроден пакет с оригинална архитектура и десетократно намалено съдържание на благородни метали в каталитичните слоеве на катода и анода (магнетронно разпрашени тънки филми Pt и IrOx) в сравнение с най-добрите постижения, докладвани в литературата, при запазване на ефективността на процеса на електрохимично разграждане на водата, което намалява значително цената на произведения водород [14].

По идея на акад. Будевски е разработена оригинална „EasyTest Cell“ експериментална методика [15, 16], която позволява бързо, надеждно и безопасно тестване и оптимизация на активни материали (катализатори, каталитични носители, полимерни мембранни електролити) и електродни структури, използвани в ПЕМ горивните елементи и електролизьори, без използване на характерните за този тип системи сложни и скъпи периферни устройства.

Будевски сформира поредния екип от отдадени на каузата учени, които през 2008 г. първи в България прокарват идеята за създаване на енергонезависима „Зелена къща“, разработват технологичния модел и пресмятат енергийния баланс на пълния зелен водороден цикъл и правят първи стъпки към реалното ѝ изграждане. Заразени от неуморния му дух и неизчерпаем оптимизъм, членовете на екипа продължават работата по претворяване на дело на тази идея и след неговата кончина. През 2021 г. в рамките на Национална научна програма „Нисковъглеродна енергия за транспорта и бита, ЕПЛЮС“ в ИЕЕС – БАН е изграден и успешно функционира демонстрационен енергонезависим „Зелен офис“.

Като учен с блестящ ум и отлични комуникативни качества, владеещ няколко езика, акад. Будевски е приет и уважаван достойно и от международната електрохимична общност. Бил е член на редакторските колективи на престижните списания *Electrochimica Acta*, *Journal of Applied Electrochemistry*

и *Journal of Power Sources*.

Акад. Евгени Будевски развива активна експертна дейност с обществено значение в широк национален и международен мащаб: чуждестранен член на Саксонската академия на науките в Лайпциг (1974), вицепрезидент на Международното електрохимично дружество ISE (1974 – 1977), член на Комисията по електрохимия при Международния съюз по теоретична и приложна химия IUPAC (1979 – 1987), член на академиите „Леополдина“ и „Сърфис“, Германия (1989 – 2008), член на Съвет за запазване и съхранения на енергията към ROSTE-UNESCO, Италия (1991 – 1997), член на Американското електрохимично дружество (2003 – 2008), член на Консултативния съвет за национално развитие към Президента на Република България (1999 – 2001), председател на Българското електрохимично дружество (2003 – 2008), основател на Национален координационен съвет по нанотехнологии при БАН (1998 – 2008), основател и председател на Националния експертен съвет по нанотехнологии (2003 – 2008).

Сред многобройните национални и международни награди, с които акад. Будевски е удостоен, са: Димитровска награда (1968), орден „Кирил и Методий“ I ст. (1972 г.), орден „Народна република България“ I ст. (1982), Наградата за изследвания на отдела „Електроотлагане“ на Американското електрохимично дружество (1982), медал „Марин Дринов“ на лента на Българската академия на науките (2002).

Акад. Будевски работи активно до 2008 г., когато след кратко боледуване на 13 октомври си тръгва от този свят, но остава във вечността с непреходността на своите научни постижения.

В негова памет Институтът по електрохимия и енергийни системи на БАН (бивш ЦЛЕХИТ) от 2012 г. носи името на акад. Евгени Будевски.

Авторът изказва благодарност към Дина Иванова за оказаното информационно и техническо съдействие и към целия колектив на ИЕЕС, съхранил и развиващ оставеното от акад. Будевски научно и духовно наследство.

Литература

[1]. Z. Stoynov, W. Obretenov, Academician Evgeni Budevski. Bulgarian Chemical Communications, Volume 49 Special Issue C (2017) pp. 42-50, http://www.bcc.bas.bg/

[2]. В. Обретенов, Експериментална проверка на теорията за двумерно зародишообразуване и растеж на кристалите, Списание на БАН, т. 9 кн. 4 (2019) стр. 9-13

[3]. E. Budewski, W. Bostanoff, T. Vitanoff, Z. Stoinoff, A. Kotzewa, R. Kaischew, Zweidimensionale Keimbildung und Ausbreitung von monoatomaren Schichten an versetzungsfreien (100)-Flächen von Silbereinkristallen. Physica Status Solidi 13 (1966) 577-588, https://doi.org/10.1002/pssb.19660130227

[4]. E. Budewski, W. Bostanoff, T. Witanoff, Z. Stoinoff, A. Kotzewa, R. Kaischew,

Keimbildungserscheinungen an versetzungsfreien (100)-flächen von silbereinkristallen, Electrochimica Acta, 11 (1966) 1697-1707, https://doi.org/10.1016/0013-4686(66)80083-X
[5]. V. Bostanov, W. Obretenov, G. Staikov, D.K. Roe, E. Budevski, Rate of crystal growth by 2D nucleation in the case of electrocrystallization of silver. J Crystal Growth 52 (1981) 761-765, https://doi.org/10.1016/0022-0248(81)90373-0
[6]. V. Bostanov, W. Obretenov, G. Staikov, E. Budevski, Monolayer formation by instantaneous two-dimensional nucleation in the case of electrolytic crystal growth. J Electroanal Chem 146 (1983) 303-312, https://doi.org/10.1016/S0022-0728(83)80591-9
[7]. R. Kaischew, E. Budevski, Surface processes in electrocrystallization, Contemporary Physics, 8:5 (1967) 489-516, https://doi.org/10.1080/00107516708205514
[8]. T. Vitanov, A. Popov, E. Budevski, Mechanism of Electrocrystallization. J. Electrochemical Society, 121 (1974) 207-212, https://doi.org/10.1149/1.2401782
[9]. H. Bort H., K. Jüttner, W.J. Lorenz, G. Staikov, E. Budevski, Underpotential-overpotential transition phenomena in metal deposition processes, Electrochimica Acta, 28 (1983) 985-991, https://doi.org/10.1016/0013-4686(83)85176-7
[10]. E. Budevski, G. Staikov, W.J. Lorenz, Electrocrystallization Nucleation and growth phenomena, Electrochimica Acta, 45 (2000) 2559-2574, https://doi.org/10.1016/S0013-4686(00)00353-4
[11]. E. Budevski, On the mechanism of electrocrystallization, Journal of Crystal Growth, 13-14 (1972) 93-96, https://doi.org/10.1016/0022-0248(72)90069-3
[12]. M. Höpfner, W. Obretenov, K. Jüttner, W.J. Lorenz, G. Staikov, V. Bostanov, E. Budevski, STM studies of real and quasi-perfect silver single crystal surfaces used in electrochemical experiments, Surface Science, 248 (1991) 225-233, https://doi.org/10.1016/0039-6028(91)90076-5
[13]. E. Budevski, G. Staikov, W. Lorenz, Electrochemical phase formation and growth: an introduction to the initial stages of metal deposition, 421 pages in English, VCH, 1996, re-published by John Wiley & Sons in 2008, ISBN: 978-3-527-61492-9.
[14]. E. Slavcheva, I. Radev, S. Bliznakov, G. Topalov., P. Andreev, E. Budevski, Sputtered iridium oxide films as electrocatalysts for water splitting via PEM electrolysis, Electrochimica Acta, 52 (2007), 3889-3894
[15]. E. Budevski, I. Radev, E. Slavcheva, Performance characteristics and degradation studies using the EasyTest Cell, in "Mini-Micro Fuel Cells Fundamental and Applications", NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, Eds. S. Kakac, A. Pramuanjaroenkij, L. Vasilev, Springer, 2008, pp. 133-152, https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8295-5
[16]. I. Radev, E. Slavcheva, E. Budevski, Investigation of nanostructured platinum based membrane electrode assemblies in EasyTest cell, International Journal of Hydrogen Energy, 32 (2007) 872–877, https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2007.01.015

Acad. Evgeni Budevski – Brilliant Scientist – Electrochemist, Passionate Innovator and Inspiring Leader

Evelina Slavcheva

A brief biographical review of the life and professional achievements of the outstanding scientist and our respected teacher acad. Evgeni Budevski (1932 – 2008) to mark the centenary of his birth.

Рубриката „35 под 35“ се осъществява с финансовата подкрепа на фондация „Еврика“

35 под 35: Радослав Симеонов

Радослав Симеонов е докторант във Физически факултет на СУ „Св. Климент Охридски“. Той е един от двамата докторанти, които тази година получават стипендия от Фондация Карол Знание за участие във второто лятно докторантско училище на тема „Космически изследвания, технологии и приложения“, което се проведе от от 3 до 10 юли в Националната астрономическа обсерватория – Рожен. Организатор е секция „Космос“ към Съюза на физиците в България.

Представяме Радослав Симеонов с негов разказ от първо лице.
Източник: https://karollknowledge.bg/6541-2/

Казвам се Радослав Симеонов и в момента съм докторант към Физическия факултет на СУ „Св. Климент Охридски“. Интересът ми към физическите науки започна още като ученик в Софийската математическа гимназия, смея да твърдя, че се случи по случайност. Бях запален по математиката, но в един момент творческият подход към неразгаданите задачи на физиката, който в голяма степен ми бе разкрит от доц. д-р Димитър Мърваков, наклони везните и преминах от тъмната страна. Реших да запиша бакалавър в СУ заради специалността „Квантова и космическа теоретична физика“, където основен фокус е именно математическият апарат, който се използва за описание на Вселената.

Завършването на бакалавър е всъщност едно интересно изпитание за волята. Всеки студент трябва да е готов да отдели необходимите време и усилия, за да прокара своя път в науката, а това е мястото за първите крачки. Основна роля при мен изигра срещата ми с доц. д-р Венелин Кожурахов. Неговото отношение към курсовете му, към студентите и към материята на предмета ме накараха да искам да работя с него от първата минута на запознанството ни. Той ми даде възможността още като бакалавър да се докосна до истинската наука. Тогава тъкмо започваше същинската работа по PADME – експеримент, чиято основна задача е търсенето на тъмен фотон посредством електрон-позитронна анихилация. В съвременната физика остават множество нерешени проблеми в термините на Стандартния модел, а един от основните е съставът на тъмната материя. Една от хипотезите предполага, че съществува цял набор от тъмни

частици, които взаимодействат с частиците от познатия ни свят посредством т. нар. частици „портали“. Тъмният фотон и аксионо-подобните частици са примери за такива портали. Споменавам аксионо-подобните частици, защото всъщност те бяха моя портал към науката.

Първата ми задача беше чрез базирани на метода Монте Карло симулации да оценя чувствителността на експеримента PADME към такива частици. Последваха няколко специализации на самия експеримент в лабораторията INFN-LNF във Фраскати, Италия, където взех участие при сглобяването на вето детекторите за заредени частици, при тяхното тестване и калибровка. Тогава и за пръв път карах смени на експеримент на ускорител на елементарни частици. Достъпът там до множеството лаборатории, различните експерименти и възможността да се докосна до метода на работа на учени от цял свят ми помогнаха в изграждането на собствени работни навици.

Друг фактор, който се оказа решаващ за работните ми навици, също придобих по време на обучението си за бакалавър. Тогава всъщност започнах да се занимавам и с преподавателска дейност. Стартирах първо като ментор по програмиране за деца в начален и прогимназиален етап, а след това започнах да преподавам математика, включително и да подготвям ученици за състезания. Ученическите въпроси и желанието им за разбиране на обграждащия ги свят са ключови за мен. Истинското ми мерило, че разбирам това, което правя, е когато мога да го обясня на учениците си и те самите го разберат. Заради това и преподавателската дейност я извършвам отчасти и днес.

Продължих изследванията си по експеримента PADME и по време на магистратурата си, която карах отново в СУ, а резултати представих на двата провели се форума за съвременни космически изследвания организирани от клон „Космос“. След завършването на магистратурата се сбъдна и една моя мечта, която се зароди по време на лекция на проф. д-р Леандър Литов, която посетих още докато бях ученик, а именно – да посетя CERN. Възможностите за работа по физична задача в CERN стартират още от бакалавърско ниво на обучение. Програмата за летен студент в CERN е един отличен старт на научната кариера и я препоръчвам на всички студенти, които имат интерес в областта на физиката на елементарните частици. Също така се организират и в България международни училища по физика. През 2017 г. се проведе такова в сътрудничество с CERN, в което взех участие. Има и други възможности в зависимост от работната насоченост на кандидата, включително и програми за ученици.

Моят път към CERN обаче започна малко преди началото на докторантурата ми.

Паралелно с участието си в PADME стартирах работа и по FoCal – адронен

калориметър, който е планиран като част от предстоящия ъпгрейд на експеримента ALICE. Самият експеримент се намира на ускорителната линия на големия адронен колайдер и се занимава с изследването на т.нар. пето състояние на материята – кварк-глуонната плазма. Това е състояние, в което Вселената е преминала след Инфлацията – един от най-ранните моменти след Големия взрив.

Като част от работата за дисертацията ми до момента съм извършил имплементирането на модел за Монте Карло симулации, базиран на GEANT4 с цел анализ на данните набрани от първия прототип на въпросния калориметър, резултатите от които представих на международни научни форуми из Европа. Тук бих искал да спомена конференцията CALOR 2022, която е най-значимата за калориметрията и на която тази година представих резултати в Брайтън, Великобритания. Наскоро приключиха тестовете, свързани с електрониката на калориметъра. Те отново се проведоха в CERN, а фокусът сега е изграждането на следващия прототип, данните от който вероятно ще бъдат анализирани в рамките на календарната година.

В бъдеще планирам изследвания върху възможностите за изучаване на тъмната материя и нейната структура в рамките на експеримента ALICE, като отново фокусът ми ще бъдат аксионо-подобните частици. Редките физични процеси са ми от особен интерес, а природата на кварк-глуонната плазма се оказва, че съдържа в себе си физика, която е изключително интересна, красива и меко казано – шантава.

Пред мен се явява предизвикателството поне отчасти да я разбера. Не бих отказал през научната си кариера да се наредя сред откривателите на някоя нова елементарна частица. Но не съм сигурен, че искам да кръстят някоя новооткрита на мен, все пак хубавите производни на името ми вече са взети за елементите Радий и Радон. Всъщност работата в CERN за мен никога не е работа, а е едно постоянно учене. Постоянно възникват нови и нови въпроси, а природата така се е постарала да си подреди къщичката, че винаги ми е

интересно да надникна в следващата стая.

Но поне за момента Чешърският котарак не се е появил на ALICE, сигурно се е уплашил като е разбрал за мисления експеримент на Шрьодингер. В тази връзка се надявам все повече студенти да не се плашат, а да провокират своето любопитство и да се осмелят да положат своите усилия в намирането на отговори за света, Вселената и всичко останало.

Аз избрах да изкарам всичките си години на обучение в България, защото видях, че във Физическия факултет на СУ има и преподаватели, които са готови да ни подкрепят през целия път до изграждането ни като учени, а вратите към света, които ни отварят, са неоценими.

Международните връзки, които са изградени, както и възможността за работа в най-добрите лаборатории по света, предоставят отлични възможности за развитието на космическите науки и тук. Много е важно да се популяризира дейността на експертите в областта, за да се привличат и все повече млади учени към сферата, с което намирам ролята на клон „Космос“ за съществена.

Извън физиката обичам да се занимавам със спортно катерене, да пътувам, да снимам. Хубавото е, че тези хобита лесно се комбинират и мога да ги извършвам заедно. Отскоро започнаха да се зараждат идеи и да вкарам физика в тях. След като сложиха метеорологична станция на 8 800 м в подножието на Еверест, може пък аз един ден да занеса детектор за елементарни частици на К2.

Обичам вечер преди лягане да чета книги. Светът на Тери Пратчет и университетът на Анкх-Морпорк донякъде ми напомнят на нашия факултет. Само се надявам самият аз да не съм олицетворение на Ринсуинд.

Рубриката е подкрепена от клон „Космос“ към СФБ.

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

Нарушената симетрия

Мария Занева

Разглеждат се историческите корени на концепцията за симетрия и как тя се развива с времето и достига съвременната си по-абстрактна форма. Представени са основните видове симетрия, теоремата на Ньотер и ролята ѝ в теоретичната физика, както и някои основни понятия от Теория на групите. Разглеждани се някои от Нобеловите награди, довели до развитието на теорията на Стандартния модел.

1. История

Историята на думата „симетрия“ отбелязва началото си при древните гърци и римляни, за които е била синоним на хармония, красота и съвършенство. Днешното значение на термина „симетрия“, под който обикновено разбираме огледална лява и дясна част на дадена форма или обект, е породено в Италия в началото на Ренесанса. Идеята се доразвива с времето като плавно се достига до математическото описание и симетрията на законите на физиката.

2. Симетрията във физиката

В природата съществуват безброй много примери на почти идеално симетрични форми (Фигура 1).

Фигура 1. Примери за идеално симетрични природни форми

Приложението на симетрията по отношение на законите във физиката, а не върху дадени геометрични обекти, става основна част от модерната физика. Една от първите формулировки, отнасяща се за връзката между симетрия и физика, е на Пиер Кюри. В края на XIX в. с изследванията си върху редица свойства на кристалите той открива, че те са свързани директно със структурата – т.е.

симетрията на въпросния кристал. Той повдига въпроса кои физични феномени биха били възможни, ако дадена среда има специфични симетрични свойства. Формулировка на отговора Пиер Кюри публикува в труда си „*Sur la symétrie dans les phénomènes physiques, symétrie d'un champ électrique et d'un champ magnétique*“ през 1894 г. със следните заключения:

- Един феномен може да съществува в дадена среда със своята характерна симетрия или с тази на някоя от подгрупите му. Това, което се изисква, за да възникне даденият феномен, е липсата на определени симетрии: „Асиметрията е това, което създава феномена“.
- Симетрията на дадено физично свойство трябва обезателно да съдържа симетрията на причината (полевата величина), която го поражда, но обратното не е вярно (ефектите могат да са по-симетрични от причината) (*Принцип на Кюри*).

С годините и други физици обобщават принципа на Кюри и допринасят за по-общото му разбиране като условие върху връзката между симетриите на дадено уравнение и неговите решения.

От съвременна гледна точка под симетрия на определена фигура терминът се разбира в един малко по-различен смисъл, който не е свързан с пропорциите на обекта. Симетрията на геометричните фигури се определя по отношение на тяхната инвариантност при определени групи ротации и отражения, т.е. след извършена трансформация първоначалната фигура остава непроменена. Ключов етап се оказва въвеждането на специфични математически операции като (огледално) отражение, ротация и транслация. Например сферата има централна, огледална и ротационна симетрия и неслучайно кълбото е смятано за най-съвършената форма от древни времена.

С навлизането на квантовата механика симетриите стават още по-важна част от изучаването на природата. Тяхната важност е допълнително подсилена и от Стандартния модел във физиката на елементарните частици, който демонстрира по-голямото наличие на симетрии в микросвета в сравнение с макросвета. От гледна точка на космологията това означава, че Вселената възниква от Големия взрив като силно симетрична структура, въпреки че голяма част от симетриите ѝ не биват наблюдавани днес.

3. Теория на групите

Повратната точка в използването на симетрията в науката идва с навлизането на концепцията за *групите* и по-нататъшното развитие на науката, която ги изучава. Използването на математиката на теорията на групите за изучаване на теории във физиката става от основно значение в началото на XX в., като централни фигури са Ф. Клайн, Д. Хилберт, Х. Вайл и по-късно Е. Ньотер.

Теорията на групите е част от съвременната математика и чрез математически формули може да опише симетриите. Под *група* се разбира съвкупност от структура (множество G) от недефинирани елементи и една недефинирана бинарна операция, като трябва да се удовлетворят и допълнителни условия, за да има група. Под *група на симетрия* се разбира съвкупността от всички ортогонални преобразувания, при които някаква фигура съвпада сама със себе си. Това позволява по-широкото приложение на термина не само за геометрични обекти или фигури, а и за абстрактни модели и математически изрази, което води до големи ползи в областта на теоретичната физика.

4. Теорема на Еми Ньотер (*Noether's Theorem*)

Фигура 2. Еми Ньотер

Еми Ньотер е немски математик, който има забележителен принос към абстрактната алгебра. Тя формулира теорема, даваща елегантна връзка между законите за запазване и симетриите на дадена система, която има фундаментално значение за математическата физика. В началото на XX в. Дейвид Хилбърт и Феликс Клайн канят Еми Ньотер в Гьотинген да съдейства със своята експертиза по проблем в новата теория на гравитацията на Алберт Айнщайн. Хилбърт забелязва, че запазването на енергията изглежда е нарушено в Общата теория на относителността, но Ньотер разрешава парадокса.

Теоремата на Ньотер, която тя доказва още същата година, гласи, че на всяка непрекъсната симетрия съответства запазваща се величина. Трябва да се отбележи, че теоремата е приложима единствено за определен клас теории и в оригиналната си версия се отнася за теории, описвани от Лагранжиан, а Лагранжевият формализъм изпълнява по-голямата част при доказването на теоремата.

Може да се даде пример с шайба, която се движи без триене по гладка повърхност без влиянието на външни сили, откъдето знаем, че импулсът на тялото ще бъде запазен. Нещото, което може да отклони шайбата от равномерното ѝ праволинейно движение, може да бъде единствено промяната на пространството (повърхността). Тоест теоремата на Ньотер показва, че запазването на инерцията е свързано със симетрията на транслацията в пространството – физиката не се влияе от линейни премествания. Аналогично симетрията при ротация (ротационна инвариантност) води до запазване на ъгловия импулс, а симетрията на времевата транслация – запазването на енергията. Разбира се, теоремата на Ньотер се отнася и не до толкова интуитивни симетрии като ротация и транслация, но и до по-абстрактни такива, като

например симетрията, свързана с електромагнитната теория, която води до запазване на електричния заряд.

5. Видове симетрии

Глобалната симетрия е такава симетрия, чието действие трябва да бъде едновременно приложено върху всички точки във време-пространството, а локалната – дадено свойство остава инвариантно, когато различна трансформация на симетрия е приложена върху всяка точка от време-пространството. Интересно е да се отбележи, че непрекъснатите трансформации могат да доведат до закони за запазване в класическата механика, както вече бе даден пример, а дискретните трансформации – закони за запазване в квантовата механика.

Глобалните симетрии са транслацията във времето, транслация в пространството и ротация в пространството. Дискретните симетрии биват „P“, „C“ и „T“, където:

- P – *огледална симетрия* – t, x, y, z → t, -x, -y, -z.

Законът за запазване, до който води огледалната симетрия е P-четност – ако една система се отразява в пространството, тя не променя физическото си поведение. Т.е., не би трябвало да съществува разлика между „ляво“ и „дясно“ и физиката не би трябвало да се влияе от това дали пряко се наблюдава нещо или се наблюдава в огледало.

- C – *зарядова симетрия* – Q → - Q.

Законът за запазване, до който води, е C-четност – ако знаците на зарядите в една система се заменят с противоположните им, системата не би трябвало да промени поведението си.

- T – *симетрия относно времето* t → -t

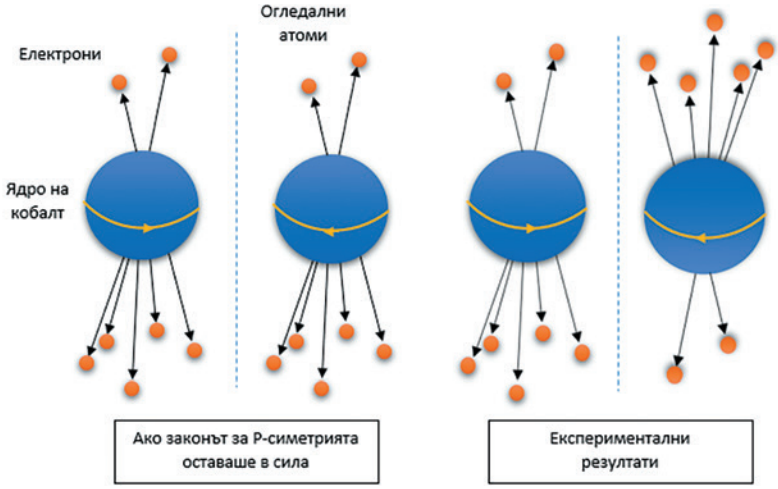
T-четност – обръщането на времето не би трябвало да променя физичните закони.

6. Нарушаване на симетрията в Стандартния модел

Стандартният модел представлява синтез на знанията за най-малките градивни елементи, които са получени до момента. Теоретичната основа, върху която стои, включва принципите на симетрията от квантовата физика и Теорията на относителността. Фундаменталната симетрия във физиката на елементарните частици е CPT симетрията (зарядова, пространствена, времева).

В средата на миналия век двама теоретици Чен Нин Янг (*Chen Ning Yang*) и Цунг Дао Ли (*Tsung Dao Lee*), удостоени с Нобеловата награда през 1957 г., поставят под съмнение спазването на огледалната симетрия при слабото взаимодействие. Това води до преоценка на принципите на квантовия свят. Нарушаването на симетрията описва, как една физична система може изведнъж

да прояви предпочитание към една посока спрямо друга. Може да се представи един много прост пример с молив, който стои на върха си върху дадена повърхност. Докато стои вертикално всички хоризонтални посоки са равностойни, но когато падне тази симетрия се губи и само една посока е от значение. Последвалата серия от опити с разпад на атомното ядро на кобалт-60 разкрива, че електроните, които напускат ядрото, имат предпочитание към определена посока измежду всички други, противно на очакваното.



Фигура 3. Нарушаване на P-симетрията

През 1964 г. удостоените по-късно с Нобелова награда за 1980 г. Джеймс Уотсън Кронин (*James Watson Cronin*) и Вал Логстън Фитч (*Val Logsdon Fitch*) отново наблюдават нарушение на симетрията при слабото взаимодействие. При радиоактивен разпад на каони се оказва, че част от частиците нарушават двойната CP-симетрия, което отново изправя теорията пред предизвикателство, тъй като до преди това физиците не са вярвали, че едновременното нарушаване на зарядовата и огледалната симетрия е било възможно. Андрей Сахаров е руски физик, лауреат на Нобелова награда за мир и първият човек, който обръща внимание на важността на нарушената симетрия за произхода на Вселената. Още през 1967 г. формулира три необходими условия за възникването на свят като нашия, като първият е именно, че законите на физиката правят разлика между материя и антиматерия, което е открито точно с нарушаването на CP-симетрията.

През 1972 г. Макото Кобаяши (*Makoto Kobayashi*) и Тошихиде Маскава (*Toshihide Maskawa*) дават отговор на въпроса защо се нарушава двойната симетрия с една 3x3 матрица. Каоните, или наричани още K-мезони, са група от четири мезона, която се отличава с квантовото число, наречено странност,

съставени от комбинация от кварк и антикварк. Слабото взаимодействие води до непрестанното превръщане на кваркът в антикварк и обратното и съответно каонът – в антикаон. Матрицата, която двамата изследователи пресмятат, съдържа вероятностите, описващи превръщането на кварките. Теорията на Кобаяши и Маскава предсказва и нарушаването на симетрията при B-мезоните, които са много по-тежки от каоните (експериментално потвърдено през 2001 г.). Кварките и антикварките сменят своята самоличност в рамките на тяхното семейство, което води до необходимост от съществуване на още едно семейство, за да се обясни нарушаването на двойната симетрия при смяната на самоличностите на материя и антиматерия. До момента са известни шест разновидности кварки – горен (u), долен (d), странен (s), чаровен (c), дънен (b) и върхов (t), но до тогава са били известни само две от тях. В по-късните експерименти се откриват и теоретично предсказаните – чаровният кварк бива открит през 1974 г., дънният – през 1977 г., като последният върхов кварк е открит едва през 1994 г.

Ученият Йоичиро Намбу (*Yoichiro Nambu*) е първият, който въвежда спонтанното нарушаване на симетрията във физиката на елементарните частици през 1960 г. Това по-късно му носи Нобелова награда по физика за 2008 г. заедно с Кобаяши и Маскава. Първоначално той изучава явлението свръхпроводимост и това как тя се описва от спонтанното нарушаване на симетрията. Ученият въвежда този модел в света на елементарните частици, който навлиза в теорията на Стандартния модел и днес методите му се използват за пресмятане на ефектите от силното взаимодействие. Както е известно, ние сме заобиколени от различни квантови полета. В дадения пример с молива: падайки той избира едно направление и нарушава симетрията на първоначалната система. Ако нещата се погледнат от друга страна, състоянието му всъщност е станало по-стабилно и той е достигнал най-ниското си енергетично състояние. Във физиката вакуумът е състоянието с най-ниска енергия, т.е. най-ниското енергетично ниво и не съответства на най-симетричното състояние. Както в примера с молива симетрията на квантовото поле е нарушена и е избрано само едно направление от всички възможни.

В Стандартния модел Механизмът на Хигс е основен за обясняването на свойството „маса“ на частиците. Хипотетичното квантово поле на Хигс и спонтанното нарушаване на симетрията му биха довели до отговора на въпроса за произхода на масата на частиците. Когато Вселената изстива след Големия взрив, полето попада в състоянието си с най-ниско енергетично ниво, което нарушава първоначалната му симетрия и някои от частиците взаимодействат с него и получават определена маса.

7. В търсене на CPT-нарушение

CPT теоремата (теорема на Людерс-Паули) е фундаментална теорема, доказана от физиците Герхард Людерс (*Gerhart Luders*) и Волфганг Паули (*Wolfgang Pauli*), която гласи, че светът е инвариантен при едновременното зарядово спрягане (C), инверсия на пространството (P) и обръщането на посоката на времето (T). Тя изисква строго съответствие между материя и антиматерия – частиците и античастиците трябва да имат равни маси, магнитен момент, еднакво време на живот, равни по големина и противоположни по знак заряди, равни по стойност и противоположни по посока спинове. От CPT трансформацията на нашата Вселена се получава Антивселена, в която времето тече наобратно. Материята е заменена от антиматерия и е огледално отражение на Вселената, но всичко в нея ще се подчинява на познатите закони.

До момента от експериментите е известно, че C-, P-, T- и CP- симетриите се нарушават поотделно, но нарушаването на CPT симетрията би довело до нарушаването на инвариантността на Лоренцовите трансформации и преосмисляне на разбирането за природата.

И до днес продължават опитите в търсене на най-фундаменталните закони на нашата Вселена и важната роля на нарушаването на спонтанната симетрия във физиката. Интересен е въпросът дали нашата Вселена е възникнала като напълно симетрична система, която бива разрушена от космологичната еволюция, или е била родена с дефекти, които са довели до нарушаването на нейните симетрии.

Въпреки че Стандартният модел е теория, която търпи големи успехи през годините и с голяма точност предсказва експерименталните резултати, не може да бъде последната дума във физиката на елементарните частици. Много въпроси остават без отговор, включително и проблемът, че Стандартният модел не включва гравитацията и обединяването на двете теории се оказва предизвикателство.

Литература

[1] R. Feynman, R. Leighton, M. Sands, The Feynman Lectures on Physics, Vol. I
[2] R. Feynman, R. Leighton, M. Sands, The Feynman Lectures on Physics, Vol. III
[3] Michael Selzer, The Symmetry Norm and the Asymmetric Universe
[4] Katherine Brading, Elena Castellani, and Nicholas Teh, "Symmetry and Symmetry Breaking", The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2017 Edition)
[5] Pierre Ramond, Group Theory: A Physicist's Survey
[6] Steve Nadis, How Mathematician Emmy Noether's Theorem Changed Physics
[7] Nobel Prize in Physics 2008, Popular information, Unravelling the Hidden Symmetries of Nature (https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2008/popular-information)
[8] Ваня Милева, „Бръсначът на Окам“ – Симетрията, (http://bgchaos.com/596/fractals/symmetry/)

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

Младежката научна сесия 2022: „Физика, околна среда и климатични промени“

Пенка Лазарова

Младежката научна сесия със съорганизатор фондация „Еврика“ традиционно се провежда в рамките на ежегодната Национална конференция по въпросите на обучението по физика с цел създаване интерес и научен мироглед у младите хора към физиката и природните науки и стимулиране към професионален избор в областта за развитието на изследванията, технологиите и иновациите. По време на подготовката за участие в сесията младежите затвърдяват и разширяват знанията си по избраната от тях тема, обогатяват уменията си за търсене и анализиране на информация, за работа в екип, за презентиране, за комуникация с аудиторията. Всяко участие в този форум прави участниците в него по-уверени в знанията и възможностите си.

Темата на Младежката научна сесия 2022: „Физика, околна среда и климатични промени“, е свързана с околната среда и изменението на климата – едно от основните предизвикателства, пред които сме изправени днес. Борбата с климатичните промени изисква промени и в нашето поведение, култура и начин на живот, както и пряко ангажиране на гражданите. Тази трансформация започва още в училище. Ключ към въпроса как да се справим с това предизвикателство е образованието. Това обуславя и актуалността на темата във всеки от компонентите на Младежката сесия, защото участниците при разработките на проектите си получават знания за климатичните промени и приноса на науката и технологиите за опазване на околната среда и устойчивото развитие.

Участниците в Младежката сесия нея имаха възможност да покажат своите знания по темата: „Физика, околна среда и климатични промени“.

За втора поредна година Младежката научна сесия беше проведена хибридно – присъствено и онлайн. Тя се осъществи паралелно: присъствено в Зала „Планетариум Европа“ на ЦПЛР – НАОП „Николай Коперник“, гр. Варна, и дистанционно в онлайн режим чрез платформа *Google Meet*. Желаещите да наблюдават сесията можеха да се присъединят към нея чрез линк за достъп на участниците и гостите в сесията. Бяха представени 45 проекта на 80 ученици в две възрастови групи (5 – 8 кл. и 9 – 12 кл.) от 30 основни и средни училища от страната, 1 обсерватория, Академия „Никола Тесла“ – София и STEALM

Academy – София. Подготвените презентации на проектите бяха на изключително високо ниво, а по съдържание много от тях бяха изследователски по същество. Радостен факт е, че в нея участваха ученици и от 5 клас.

Бяха представени в рамките на 10 минути отлично направени презентации със задълбочени проучвания и съответно с цитиране на източниците на информация, добри комуникационни умения при представянията на проектите, в много от които участниците бяха включили свои научни изследвания и демонстрационни установки по темата на сесията.

Участниците защитиха своите проекти в рамките на 10 минути пред жури с председател проф. д.т.н. Сашка Александрова от ТУ – София и членове: Пенка Лазарова, доц. д-р Мария Коларова, доц. д-р Радост Василева, Милка Джиджова, Мария Атанасова и Иван Иванов. Проектите бяха обсъдени и класирани съгласно следните критерии: съответствие с темата на сесията, научно ниво на проекта, ниво на представянето. Класацията беше извършена в две възрастови групи 5 – 8 клас и 9 – 12 клас. Раздадени бяха награди от I до III място, както и поощрителни награди: 1 за групата 5 – 8 клас и 5 за групата 9 – 12 клас, както и специални награди за оригинална презентация, за извършено проучване и реализиране на експеримент, за исторически подход към темата и за успешно екипно сътрудничество с БАН.

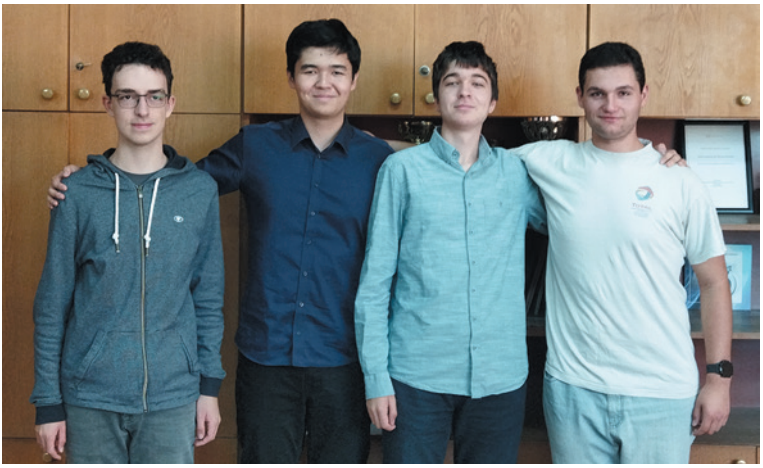
Списък с отличените проекти, класирани съгласно следните критерии: съответствие с темата на Младежката сесия, научно ниво на презентацията, ниво на представянето, се намира на сайта на конференцията: http://upb.phys.uni-sofia.bg/conference/NK/KlasiraneMladejkaSesiq2022.pdf .

В заключителното заседание на конференцията беше представен „Оптичен сензор на магнитно поле и електричен ток“, обединяващ два от представените проекти на десетокласниците Даниел Иванов, Милен Вучев, Константин Кръстев, Силвия Канджичка, Мира Генчева, Явор Неделчев от НПМГ „Акад. Л. Чакалов“ с научни ръководители Валентина Маринова от НПМГ и проф. д-р Георги Дянков от ИОМТ – БАН.

На всички участници в Младежката сесия и техните научни ръководители бяха раздадени сертификати за участие, а на училищата – безплатен абонамент за списание „Светът на физиката“ за 2022 г. Училищата, от които има отличени проекти с I, II и III награда в двете възрастови групи, получиха плакети, а авторите на отличените проекти с I, II, III и поощрителни награди, както и техните ръководители – грамоти.

Четвърта балканска олимпиада по физика (BPO4)

Българският отбор се представи отлично в Четвъртата бакланска олимпиада по физика, която се проведе на 8 октомври 2022 г. Златни медали спечелиха Маргулан Исмолдаев (МГ „Д-р Петър Берон“, Варна) и Георги Костадинов (ППМГ „Акад. Никола Обрешков“, Бургас), а сребърни – Румен Димитров (СМГ „Паисий Хилендарски“, София) и Гео Калфов (ПЧМГ, София).

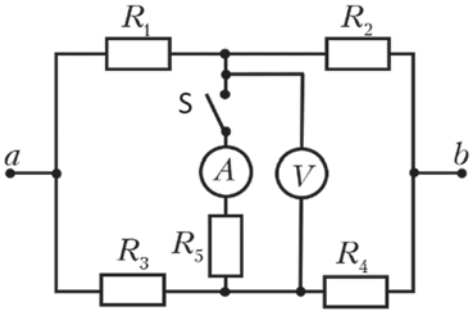


Олимпиадата се организира за 4-та година от Балканския физически съюз, като избирането на отборите се възлага на съответния Съюз на физиците от страните участници. Участието на Българския отбор в олимпиадата беше организирано от д-р Мая Жекова и д-р Лилия Атанасова, а проф. Мирослав Абрашев и проф. Виктор Иванов подбраха и предложиха на Международния научен комитет на Олимпиадата задачи за състезанието. Проф. Абрашев, д-р Мая Жекова и д-р Лилия Атанасова са членове на УС, а проф. Иванов – на Контролния съвет на СФБ.

Представяме ви задачите състезанието, като решенията им можете да намерите на интернет страницата: https://sites.google.com/view/bpho2022/problems-solutions.

Задача 1: „Електрична верига“

Постоянно напрежение U_0 е подадено между краищата a и b на показаната на фигурата верига. Резисторите имат съпротивления съответно $R_1 = R_2 = R_5 = R$, $R_3 = 2R$, $R_4 = 4R$. Волтметърът и амперметърът са идеални.



А (9 т.) Когато ключът S е отворен получете:

А1 (4 т.) еквивалентното съпротивление, R_{ab}, между краищата a и b на веригата;
А2 (3 т.) показанията на амперметъра и волтметъра;
А3 (2 т.) мощността на резистора R_4.
В (13 т.) Когато ключът S е затворен получете:
В1 (9 т.) еквивалентното съпротивление, $R_{ab,}$ между краищата a и b на веригата;
В2 (2 т.) показанията на амперметъра и волтметъра;
В3 (2 т.) мощността на резистора R_4.
С (3 т.) Ключът S се затваря и отваря периодично, като за период T, 2/3 от времето е затворен, и 1/3 – отворен. Определете средната стойност на мощността на резистора R_4. Приемете, че всички стойности на тока се достигат моментално.

Задача 2: „Спускане на скиор“

Скиор се спуска по наклонен хълм. Ъгълът между хълма и хоризонталната равнина е $\alpha = 30{,}0°$. Гравитационното ускорение е $g = 9{,}81$ m/s^2. Масата на скиора е $m = 80{,}0$ kg. Коефициента на триене μ между ските и снега е неизвестен. Силата на съпротивление F_D между скиора и въздуха се описва по формулата $F_D = 1/2C\rho Av^2$, където C е неизвестен, т.нар коефициент на съпротивление, зависещ от формата на скиора, плътността на въздуха е $\rho = 1{,}28$ kg/m^3, $A = 0{,}600$ m^2 е ефективното му сечение (площта от скиора, взаимодействаща с въздуха), перпендикулярна на неговата скорост, а v е неговата скорост спрямо въздуха. Въздухът не се движи (няма вятър). Спускането на скиора е заснето, като анализът на заснемането дава някои от позициите му по оста на движение x_i, в различни моменти t_i след започване на спускането. Данните са представени в таблицата.

i	t_i/s	x_i/m
1	2,00	7,21
2	2,50	11,22
3	3,00	16,08
4	3,50	21,76
5	4,00	28,24
6	4,50	35,49
7	5,00	43,47
8	5,50	52,14
9	6,00	61,49
10	6,50	71,46

Използвайки данните, е възможно да се пресметнат стойностите на коефициента на триене μ със снега, коефициентът на съпротивление с въздуха C, максималната постижима скорост на скиора $\upsilon_{\max}$ (при положение, че започва спускането от достатъчно голяма височина).

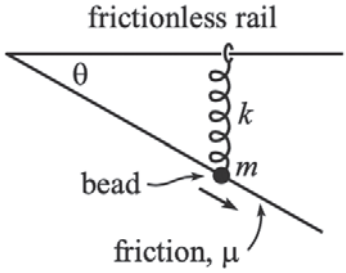
А (7 т.) Използвайки подходящи нови променливи, представете зависимостта на движението на скиора по начин, по който е възможно да се изследва графично и да бъде извлечена информация за параметрите, описващи движението на скиора като коефициента на съпротивление с въздуха C, коефициента на триене μ със снега и максимално постижимата скорост υ_{max}. Изразете новите променливи и параметрите, които използвате като функция на дадените парамтетри α, g, m, ρ, A.

В (4 т.) Пресметнете стойностите на новите променливи за всяко измерване, от дадените данни и попълнете празните колони.

С (4 т.) Начертайте графика на зависимостта на милиметрова хартия.

D (10 т.) Използвайки начертаната графика, пресметнете стойностите на коефициента на съпротивление с въздуха C, коефициента на триене μ със снега и максимално постижимата скорост υ_{max}. (ако се спуска от достатъчно голяма височина).

Задача 3. „Топче на пружина“



Нека имаме установка като тази, показана на фигурата. Топче с маса m е принудено да се движи по релса, която е свързана с друга релса под ъгъл θ. Релсата има триене с коефициент на триене с топчето μ. Топчето е свързано с пружина с константа k. Другият край на пружината се движи по релса без триене. Пружината е винаги перпендикулярна на релсата поради факта, че релсата е без триене и пружината няма маса. В равновесно положение дължината на пружината е нула. Приемете също, че системата не се влияе от гравитационни ефекти.

Топчето започва да се движи от върха на релсата, а пружината е с нулева дължина. Топчето започва да се движи със скорост v_0 по протежение на релсата. На фигурата е показана конфигурацията на системата в момент $t > 0$.

A (6 т.) Начертайте диаграмата на силите в произволен момент и изразете математически силите, които сте начертали. Ако x е разстоянието, което мънистото е изминало по релсата си, определете всички сили и ги изразете с помощта на x и другите дадени константи.

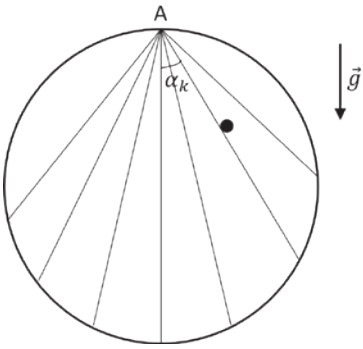
B (8 т.) Изведете израз за разстоянието, което изминава топчето, преди да спре за първи път.

C (5 т.) Определете условието, при което мънистото може да започне да се движи отново. Определете посоката, в която ще се движи мънистото. Предположете, че коефициентът на статично триене е също μ.

D (6 т.) Предположете, че топчето наистина се движи към пресечната точка на релсите. Определете скоростта му, когато стигне до там.

Задача 4: Галилео Галилей – „Минималното време за спускане“

Тази година светът на физиката чества 380 години от смъртта на Галилео Галилей, един от основателите на съвременната физика. През последните си години Галилео се занимава с интересна задача: „Минимално време за спускане“, днес наричана „Задачата на Галилей“.



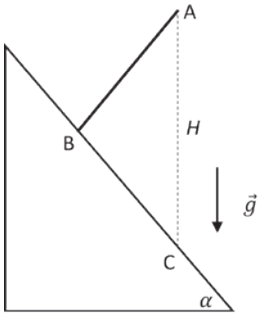
A (5 т.) От точка A, с нулева начална скорост, материални точки се спускат в еднородно гравитационно поле (знаейки константата g), без триене по наклони с различни ъгли (фигурата вдясно). Ако точка A е най-високата точка, определете:

A1 (2 т.) с кой от наклоните, точката ще достигне до кръга за най-кратко време.

A2 (3 т.) Геометрично място от точки, заето от материалните точки, във всеки момент, при тяхното движение по наклоните. (т.е. геометричната фигура, описана от движещите се материални точки във всеки един момент от време, ако се заснеме).

B (9 т.) Наклонена равнина сключва ъгъл $\alpha = 60°$ с хоризонталната равнина (вж.

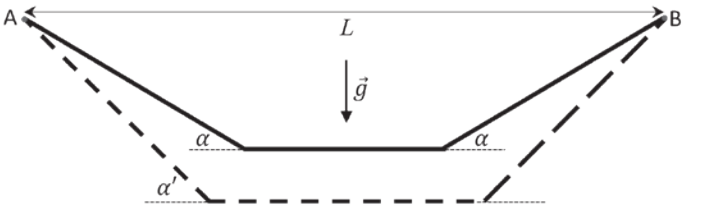
фигурата вдясно). Точка A е разположена над наклонената равнина на височина H = AC = 29,43 m вертикално над наклонената равнина:



B1 Намерете положението на точка B върху наклонената равнина (т.е. математическия израз за дължината на отсечката BC), така че материална точка, напускаща A с нулева начална скорост и плъзгаща се без триене по праволинейната рампа AB, да пристигне в B за най-кратко време. Гравитационното ускорение е g = 9,81 m/s^2 и има една и съща стойност във всички точки. Изчислете числената стойност на дължината на отсечката BC.

B2 Определете математическия израз за минималното време за спускане по рампата AB и пресметнете числената му стойност.

C (11 т.) В последната си книга, в която движението се разглежда математически за първи път в историята, Галилей анализира проблема за най-бързото спускане в равномерно гравитационно поле без триене и стига до извода, че дъгата на окръжност е по-бърза от всички нейни хорди. Въпреки че по-късно е доказано, че окръжността не е пътят на най-бързото спускане, Галилей признава, че всяка възможна грешка ще бъде отстранена след бъдещия напредък в математиката. Задачата за най-бързото спускане (наричана още брахистохронна задача) – формулирана през 1696 г. от Йохан Бернули и решена от по-големия му брат Якоб Бернули – всъщност показва, че кривата е различна от окръжност и се нарича циклоида, име, дадено от самия Галилей.



Тъй като задачата за брахистохрона е сложна, тя може да се моделира просто чрез три свързани праволинейни рампи, като времето за спускане превишава циклоидното само с няколко процента. За да се опрости още повече моделът, ще се разгледа симетрично разположение, както е показано на фигурата по-горе. Материална точка се пуска в A, с нулева начална скорост и се плъзга по рампите без триене от A до B. Средната рампа е хоризонтална и преходът от една рампа към следващата е плавен. Хоризонталното разстояние между неподвижните точки A и B е L = 5,66 m.

Забележка: При промяна на ъгъла α, като точките A и B остават фиксирани, дължините на всички рампи ще се променят. За ъгъл $\alpha' > \alpha$ новата конфигурация е представена с прекъснати линии на горната фигура.

C1 (8 т.) Определете ъгъла α наклонените рампи така, че времето за достигане τ от A до B да бъде минимално.

C2 (2 т.) Изведете израза за дължината на целия път на материалната точка, L_{tot}, когато времето за преход е минимално, и пресметнете числената му стойност.

C3 (1 точки) Изведете математическия израз за минималното време за преход τ_{min} и изчислете стойността му.

Рубриката „Европейска нощ на учените 2022“
се реализира с любезното съдействие на проект 101061564 – K-TRIO – HORIZON-MSCA-2022-CITIZENS-01, финансиран от Европейския съюз по дейностите „Мария Склодовска Кюри“ на програма „Хоризонт Европа“

Европейска нощ на учените 2022: *Учените в триъгълника на знанието*

Пенка Лазарова

Европейската нощ на учените е европейска инициатива, която се осъществява всяка година в цяла Европа (в над 300 града) по традиция в последния петък на м. септември с цел да приближат учените и тяхната работа до широката общественост и по този начин да се увеличи осведомеността на хората за научните дейности и постижения, както и ефектът им върху ежедневния живот, което, от своя страна, да привлече младите хора към научна кариера.

Първата Европейска нощ на учените в България се проведе през 2006 г. във Физическия факутет, като координатор на проекта беше Софийският университет „Св. Климент Охридски“. Оттогава досега Университетът организира общо 14 издания на Нощта на учените, като с времето привлече и нови партньори от сферата на образованието, научните изследвания и индустрията. Университетът е координатор на консорциума на проекта за провеждането на Европейската нощ на учените 2022 – K-TRIO (*Researchers in the Knowledge Triangle*), който се осъществява с финансовата помощ на Европейския съюз по дейностите „Мария Склодовска-Кюри“ на Програма „Хоризонт Европа“, както и с подкрепата на екипа на проект УНИТе (Университети за Наука, Информатика и Технологии в е-обществото), финансиран от Европейския фонд за регионално развитие чрез ОП „Наука и образование за интелигентен растеж“ 2014 – 2020.

Участниците в проекта K-TRIO са: Форум „Наука“, Институт по математика и информатика на БАН, Клуб „Млади Таланти“, Център по растителна и системна биология и биотехнологии – Пловдив, Академия за музикално, танцово и изобразително изкуство – Пловдив, Тракийски университет – Стара Загора, Русенски университет „Ангел Кънчев“, Университет „Проф. Асен Златаров“ – Бургас, Единен център за иновации на БАН, Регионален исторически музей – София. Проектът се осъществява и със сътрудничеството на над 30 асоциирани или подкрепящи партньори, сред които ежегодно е и Съюзът

на физиците в България.

През 2022 г. мотото на Европейската нощ на учените (https://nauka.bg/nosht2022/), беше „*Науката и иновациите са ключ към желаното бъдеще*“. Особено внимание по време на събитията беше обърнато на ролята на науката и иновациите за прехода към Зелена и Дигитална икономика в Европа. Затова в центъра на всички събития бяха научните резултати на Центровете за върхови постижения (УНИТе, GATE, ИКТ, PlantaSYS), в които партньорите участват. Това допринесе за повишаване на осведомеността на широката общественост относно постиженията на тези центрове, както и по специфични въпроси, свързани с въздействието на изследователските инфраструктури върху устойчивото регионално развитие, чистотата на природата, здравето и благосъстоянието на гражданите, вкл. на приноса им за развитие на Интернет на нещата, Фабрики на бъдещето, интелигентни градове, високопроизводителни изчисления и др. Много от инициативите бяха посветени на постиженията на младите хора и на Международната година на фундаменталните науки за устойчиво развитие.

Гостите на Европейската нощ на учените можеха на 30 септември и 1 октомври 2022 г. да се включат в различни събития в София, Пловдив, Русе, Бургас, Стара Загора, Хасково, Ямбол, Габрово, Силистра, Севлиево, Видин, Разград и Тараклия (Молдова) и да участват в дискусионни клубове, кабинети по любопитство и др.; да научат повече за науката и иновациите като основни движещи сили на обществото на знания, както и за голямото им въздействие върху ежедневието на гражданите и устойчивото бъдеще; да се срещнат с изследователи от различни научни области и да научат повече за тяхната дейност и начин на живот; да получат повече информация за европейските инициативи за изграждане на Европейско научноизследователско пространство и промяната на Европа към „по-зелена“ и по-конкурентоспособна чрез науката и иновациите. Програмата на Европейската нощ на учените 2022 г. включваше следните компоненти: забавни и образователни експерименти и викторини в „Ателие на младите таланти“ (K-TRIO за деца); представяне на резултати от национални и местни конкурси за деца и младежи, награждаване на победителите (K-TRIO конкурси); демонстрации и експерименти в Клубове по любопитство, дискусионни клубове, панаири на знания, отворени лаборатории и др. (K-TRIO за всички); видеоматериали за научни постижения, изложба „Лица в науката“, работилници „Зад кулисите“, дискусии „Изследователи на сцената“ (K-TRIO лица).

Събитията в София (https://night.nauka.bg/sofia-2022/) бяха ситуирани основно в Аулата и пространство пред нея в Ректората на Софийския университет и Античния културно-комуникационен комплекс (АККК) „Сердика“, където се състоя и официалното откриване на Европейската нощ на учените

2022. По време на откриването бяха връчени наградите на студенти и докторанти от конкурса на Клуб Млади Таланти „*YES – Young and Energetic Scientists*“, който има за цел да открие, мотивира и промотира идеите на млади и амбициозни хора с научни интереси.

Под мотото: „Наука с принос за обществото и регионалното развитие“ под купола на Ларгото бяха представени някои от най-мащабните научни проекти, в които участва Софийският университет „Св. Климент Охридски“.

Проектът на Центъра за върхови постижения УНИТе: „Върхови научни постижения в Информатика и ИКТ“ цели изграждане и развитие на конкурентен и международно признат научноизследователски комплекс, който да отговаря на изискванията за модерна научна инфраструктура и високо ниво на научните изследвания в приоритетната област „Информатика и ИКТ“ и да допринесе за подобряване на възможностите на изследователите и академичните кадри от Бургас, Русе, София и Шумен да сътрудничат помежду си и с партньори от целия свят.

В програмата на Институт GATE, озаглавена „На крачка от бъдещето с GATE“, чрез демонстрации и срещи с изследователите от проекта беше представена дейността на Института в основните научноприложни области на „Градове на бъдещето“, „Дигитално здравеопазване“ и „Откриване на дезинформация“, както и резултати от проекти, с които се демонстрираха силата и полезността на Големите данни и изкуствения интелект.

На щанда на Центъра за технологии на информационното общество, създаден през 1999 г. в резултат от проект по програмата ФАР за институционално изграждане на Център за върхови постижения в областта на технологиите на информационното общество, бяха представени резултатите от редица успешни международни проекти, финансирани по програми на ЕС, както и участието му в координацията на EURAXESS – България, Националната мрежа за кариера и мобилност на изследователите.

Европейският щанд представи информация за политиката на Европейския съюз и за различни дейности в подкрепа на науката и иновациите в Европа и в България.

Свои успешни проекти представиха на щандове Институтът за технологично развитие (ITD), както и Институтът по математика и информатика при БАН.

В Кабинетите по любопитство бяха подготвени както забавни и образователни експерименти и викторини за деца („Батерии и водородни технологии“, „Електрохимични системи за зелена енергия“, „Изворът на живота“ в Епископската базилика на Филипопол в контекста на STEAM“, „Презареждаем газ-дифузионен електрод, съдържащ зеолит“ и др.), така и за

посетители от всички възрасти („Безпилотни летателни апарати и приложенията на машинно самообучение“, „50 години България – космическа държава“, „Геополимери – нови екологични материали“, „Неозойски растителни фосили от находища в България“, „Дигитални проекти на Института за литература към БАН“, „Биофизични методи в биомедицината“, „Фотосинтезата – източник на живот“ и др.).

Изложби, историческа вечер, демонстрации и лекции, организирани от Регионалния исторически музей, и още много интересни събития бяха част от програмата на Европейската нощ на учените в АККК „Сердика“ на 30 септември и 1 октомври.

Приоритет в програмата на 30 септември 2022 г. в Аулата в Ректората на Софийския университет и в пространството пред нея бяха събитията под мотото „Науката в детските очи“, посветени на детската аудитория.

Участниците с отличени проекти от Младежката научна сесия в Европейската нощ на учените 2022

Голям интерес предизвикаха представените отличени проекти с научни изследвания на ученици – участници в Младежката научна сесия на тема: „Физика, околна среда и климатични промени“ по време на 50-ата Юбилейна национална конференцията на Съюза на физиците в България (юни 2022 г., Варна. Ето имената на участниците по реда на представянията им:

1. Симеон Момков – 12 кл.; СПГЕ „Джон Атанасов“ – София; Стоян Илов – студент в СУ „Св. Климент Охридски“. „Водата – втори живот“. Научни ръководители: Милена Гошева и Грета Райковска (III място).

2. Стиляна Христова, Андреа Давидова – 11 кл.; ППМГ „Акад. проф. д-р Асен Златаров“ – Ботевград. „Екологична къща, реалност или утопия?“. Научен ръководител: Цеца Христова (награда за оригинална презентация).

3. Михаил Филков, Радослав Ямаков – 9 кл., НПМГ „Акад. Любомир Чакалов“ – София. „Парникови газове и изменението на климата“. Научен ръководител: Нели Михайлова (II място)

4. Даниел Иванов, Константин Кръстев, Мира Генчева, Явор Неделчев – 10

кл., НПМГ „Акад. Л. Чакалов“ – София; „Оптичен сензор на магнитно поле и електричен ток“. Научни ръководители: Валентина Маринова и проф. д-р Георги Дянков – ИОМТ – БАН (награда за екипно сътрудничество с Българската академия на науките).

Участниците не само демонстрираха задълбочени научни познания и тяхното приложение в научните си проекти, естетическо и техническо оформяне на представените резултати, но и умения за публично представяне и защита на идеите си. Надяваме се, че представените проекти и посланията на техните автори към ученическата аудитория в Аулата ще мотивират повече ученици да участват в подобни проекти, както и да ги убедят, че научните знания ще им помагат в живота и в професионалната реализация в бъдеще.

Естествено продължение в програмата беше награждаването на финалистите от Националния конкурс за ученици и студенти „По стъпките на българските учени“, които чрез своите есета, презентации и проекти, представиха постиженията, научните открития и приноса на български учени в днешния живот, наука и европейска култура на родени в България учени, живяли и работили в страната или извън нея, и тяхното място в България и по света.

Победителите в Националния конкурс за детски рисунки за ученици на възраст между 7 и 18 години на тема „Естествен *Vs.* изкуствен интелект“, избрани чрез електронно гласуване и жури, също получиха своите отличия на събитието, а събралите най-много гласове рисунки бяха представени на изложба в пространството пред Аулата.

Незабравимо преживяване за младите посетители на събитията в Европейската нощ на учените в нашата Алма Матер беше посещението на Музея по палеонтология и историческа геология на Софийския университет, в който най-голям интерес предизвика реставрираният скелет на динозавър (7 m дължина и 4,20 m височина), род Дейнотериум, изграден от автентично запазени кости (повече от 90 %).

Сред онлайн дискусии в Европейската нощ на учените 2022 ще обърнем внимание на кръглата маса на тема „Енергийно бъдеще – предизвикателства и пробивни иновативни решения за генериране, управление и съхранение на енергия. Иновации в областта на водород и горивни клетки, сероводород, батерийни системи, ВЕИ и интелигентни мрежови решения с цел оптимално управление и използване на енергията“, организирана от Единният център за иновации на БАН. На форума бяха обсъдени актуални теми, свързани с диверсифициране на енергийни източници, модели за управление на енергийни потоци и иновативни технологии за производство/съхранение на енергия.

Онлайн като част от Детската програма в Европейската нощ на учените 2022 можеше да се видят фотоизложбата с отличени фотоси от Националния конкурс за ученици и студенти „Физика и климат“ (https://night.nauka.bg/fizika-i-klimat-nacionalen-fotokonkurs-za-uchenici-i-studenti/) и видеа на проекти от Ученическата сесия „Физика, околна среда и климатични промени“ – компоненти от Младежката научна сесия, по време на 50-ата Юбилейна национална конференцията на Съюза на физиците в България (юни 2022 г.) (https://www.youtube.com/playlist?list=PLICLq-ijVyoFcNjcktOzWuFgVh_Tx9REA). Информация за Младежката научна сесия 2022, както и за отличените есета в Националния конкурс „Физика, физици и околна среда“ можеше да се получи на адрес: https://night.nauka.bg/knijka-fizika-okolna-sreda-i-klimatichni-promeni/).

Считаме, че за читателите на сп. „Светът на физиката“ интерес ще представляват видеопродукциите на д-р Олег Константинов от катедра „Информационни технологии“ на Факултета по математика и информатика – СУ „Св. Климент Охридски“:

▪ Оптичните метаповърхности като средство за управление на светлината, посветен на дейността на Лабораторията по лазерна физика и приложения и в частност на проекта METAFAST (*Metasurfaces for ultrafast light structuring*), фокусиран върху управление на светлината чрез метаповърхности. (https://www.youtube.com/playlist?list=PLCqDQgcXMlFnPYZtD0aOGtbeUT42dz25b)

▪ Екстремална кохерентна светлина в инфрачервената област като изследователска инфраструктура, представящ дейността на Лабораторията по лазерна физика и приложения по проекта HEPHAESTUS/ХЕФЕСТ (*Extreme Mid-IR and Coherent X-rays Light as a Laboratory Infrastructure*). (https://www.youtube.com/playlist?list=PLCqDQgcXMlFlrlm5mDqbzCT9p7bmhdkPG)

▪ Как да получим суперматериала графен, представящ дейността на Лабораторията „Плазмени технологии“ и в частност работата по създаване на графенови и графен-композитни материали, прилагани широко в съвременната индустрия. (https://www.youtube.com/playlist?list=PLCqDQgcXMlFnP0MQ8e6HJqBmAYliNUzGl).

Това са само част от събитията в Европейската нощ на учените 2022 в София. Повече информация за събитията в София, както и в другите градове от страната (https://night.nauka.bg/category/events/), както и разнообразни видеоматериали и публикации за изследователи и научни постижения, са публикувани на интернет страницата на проекта K-TRIO: https://night.nauka.bg/, на официалната му Facebook страница: https://www.facebook.com/ktrioproject/, както и на сайтовете на участниците в проекта.

European Researchers' Night 2022: *Researchers in the Knowledge Triangle* (K-TRIO)

Penka Lazarova

This paper gives an overview of some of the events and highlights from the European Researchers' Night (ERN) 2022 in Bulgaria – the Horizon Europe project „Researchers in the Knowledge Triangle" (K-TRIO) coordinated by Sofia University „St. Kliment Ohridski". The main goal of K-TRIO project is to bring together researchers and the general public and attract young people to scientific careers. Under the motto of ERN „Research and innovation are key for the future we want", from September 30 to October 1 people in different Bulgarian cities had the opportunity to take part in the public scientific events. In Sofia University the program started with the four student presentations of scientific projects awarded during the Youth Scientific Session „Physics, Environment and Climate Change" at the 50th Anniversary National Conference of the Union of Physicists in Bulgaria (June 2022, Varna). Videos of the session's physics projects are available online (https://www.youtube.com/playlist?list=PLICLq-ijVyoFcNjcktOzWuFgVh_Tx9REA), as well as the photo exhibition with award-winning photos from the Physics and Climate National Competition for students (https://night.nauka.bg/fizika-i-klimat-nacionalen-fotokonkurs-za-uchenici-i-studenti/), organized by UPB.

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

„От учители за учители“ – последващото събитие на Международния фестивал „Наука на сцената 2022“

Ана И. Георгиева, Теодора Конова

Представени са споделените на последващото събитие впечатления на българската делегация на 12-ия Европейски фестивал „Наука на сцената“ 2022 в Прага, както и новите идеи и добри практики, които са обогатили опита им в преподаването на STE(A)M предмети в класната и извънкласна дейност им дейност. Като част от събитията в Европейската нощ на учените 2022 по проекта K-TRIO и от Националната програма за отбелязване на Международната година на фундаменталните науки за устойчиво развитие, на форума бяха представени в лекции и работилници връзките между научните дейности и постижения в областта на природните науки, както и ефектът им върху образованието и ежедневния живот.

Съгласно правилата на Европейската платформа „Наука на сцената“ (*Science on Stage*), всяка страна членка трябва да организира у дома едно „последващо“ събитие към Международния фестивал (вижте връзката https://www.sons2022.eu/en/home, което се счита за обучение на останалите национални STEM учители.

Българското последващото събитие под надслов „От учители за учители“ на 12-ия Европейски фестивал „Наука на сцената“ в Прага се организира от Националния и Местния организационен комитет на програмата „Наука на сцената – България“, Съюза на физиците в България (СФБ), Министерство на образованието и науката (МОН) и Средно училище „Васил Левски“ – Севлиево. То се реализира с подкрепата на българския сайт на технологичния гигант SAP и Фондация „Работилница за граждански инициативи“ (ФРГИ), които спомогнаха и за организирането на 8-мия Национален фестивал „Наука на сцена“ през 2021 г. (https://scienceonstage.bg/home/fest/), и за участието на българската делегация на Международния фестивал в Прага (https://www.science-on-stage.eu/science-stage-festival-2022).

Това последващо събитие, се проведе традиционно в СУ „Васил Левски“, Севлиево, на 30.9.2022 – 1.10.2022 г. То е част от Националната програма на **Европейската нощ на учените 2022** по проект „Изследователи в триъгълника на знанието“ (K-TRIO), която се провежда на тези дати в много европейски страни с цел основно да приближи учените и тяхната работа до широката общественост и по този начин да се увеличи осведомеността на хората за научните дейности и постижения, както и ефектът им върху ежедневния живот.

Това, от своя страна, трябва да привлече и мотивира повече млади таланти към стремеж за научна кариера, което е свързано и с отделяне на специално внимание на обмена на добри практики в обучението между преподаватели – цели, които споделя събитието в Севлиево.

Последващото събитие е включено и в **Националната програма за отбелязване на Международната година на фундаменталните науки за устойчиво развитие** (МГФНУР), определена от ООН за периода 07. 2022 – 07. 2023, тъй като повишаване качеството на образованието е една от основните предпоставки за устойчиво развитие.

Фотос 1. Интересно за деца

Всички дейности от програмата на събитието се проведоха в Заседателната зала на СУ „Васил Левски“, гр. Севлиево. Домакините организираха изложба на постери, представящи българските проекти на щандовете на фестивала в Прага и подредиха няколко атрактивни щанда във фоайето пред Заседателната зала.

За по-голяма достъпност до събитието беше осигурено хибридно излъчване от Моника Ковашка-Димитрова от SAP и екипа от учители по ИТ от СУ „Васил Левски“. Програмата се предаваше на живо през онлайн платформа, което позволи на всички, които не можаха да дойдат на място, да проследят случващото се с заедно с присъстващите.

В презентация след официалното откриване на събитието проф. д.н. Ана Георгиева, председател на Националния организационен комитет, представи кратка информация за Международната година на фундаменталните науки за устойчиво развитие и отбелязването ѝ у нас по инициатива на СФБ, като член на Международния съюз по чиста и приложна физика (*International Union for Pure and Applied Physics* – IUPAP), направил предложението за обявяването МГФНУР от ООН.

Програмата на събитието продължи с **популярната лекция „Космическата наука и космонавтиката – източници на атрактивни примери в обучението по физика“** на проф. д.н. Гаро Мардиросян от Института за космически изследвания и технологии на Българската академия на науките. В нея той аргументира изключително силната връзка между физиката и всички нейни дялове, включващи и класическите физични постулати, и най-съвременните ѝ постижения, с космическите изследвания. По тази причина космическата

наука и космонавтиката са благодатен и ефективен източник на атрактивни и лесно запомнящи се примери в обучението по физика в средния училищен курс. Това твърдение бе илюстрирано с конкретни примери и бяха посочени и най-значителните постижения на българските учени и специалисти в космическата област – повод за заслужена гордост и пример за подрастващите.

Участието на България, споделения опит с участниците от другите страни и впечатленията на българската делегация от Международния фестивал „Наука на сцената – 2022“ в Прага представи г-жа Теодора Конова – зам.-директор на СУ „Васил Левски“, Севлиево, и част от Организационния комитет на Националния фестивал „Наука на сцената“.

Впечатленията на българските участници във фестивала в Прага и новите идеи и добри практики, които са обогатили опита им в преподаването на STE(A)M предмети в класната и извънкласна дейност, бяха споделени в много атрактивна кратки видеоклипове, заснети от всеки от членовете на делегацията.

Членовете на българската делегация на Международния фестивал бяха представени като посланици на „Наука на сцената – България“, а Наско Стаменов, учител по химия в Националната природо-математическа гимназия в София, беше избран за български посланик на „Наука на сцена – Европа“. Всички те получиха грамоти.

Фотос 3. Работилница „Заедно от разстояние“ на Майкъл Грегъри и Наско Стаменов

Традиционно на голям интерес се радват **работилниците за учители и ученици**, а нашите представяния винаги са високо оценени и на Международните фестивали. Работилницата „**Заедно от разстояние**“ на Майкъл Грегъри от „Наука на сцена Франция“ (онлайн) и Наско Стаменов показаха на ентусиазираните участници интересни и лесни експерименти по химия и физика, прости за изпълнение не само във всяка класна стая, но дори и у дома.

Преподавателите от Софийска професионална гимназия по електроника „Джон Атанасов“ Милена Гошева и Грета Райковска с техен ученик демонстрираха работилница „**Как да направим наука в кутия!**“, която даде идея на учителите по физика и природни науки как да повишат мотивацията на учениците за учене чрез основите на роботиката, съчетавайки умения за програмиране на микроконтролери, с които се илюстрират законите на физиката

по увлекателен начин.

Тези два семинара бяха последвани от много мотивиращите за учителите по природни науки лекции:

- „К**онтакти от международните фестивали и идеи за създаване на съвместен проект**“ на Румянка Гълчавова, учител по природни науки от Силистра, в която тя подчерта възможностите за педагогическо общуване по време на националните и международни фестивали „Наука на сцената“. Това взаимодействие естествено може да прерасне в съвместни проектни дейности на различни нива – в едно училище, град, държава и международно. Независимо от класирането налице е принадена стойност в общността – материална и дигитална база ресурси, партньорства, реализирани и възникнали нови идеи и сътрудничество при комбиниране на идеи.
- „**Вдъхновяващи STEM ресурси в класната стая и извън нея**“ на Иво Джокин от Общински център за извънучилищни дейности – с. Байкал, в която той представи ресурси и проекти, в които учителите по природни науки могат да участват със своите ученици. Тези дейности могат да се провеждат, както в класната стая, така и извън нея чрез използване на полево базирано обучение и изследователски подход.

В събитието участваха 62 учители по природни науки (STEM – учители) от всички нива на образованието у нас, вкл. от предучилищно и детски градини (15 – онлайн и 47 – присъстващи), което ни дава надеждата, че в бъдещите национални събития ще имаме повече участници и при селекцията на най-добрите проекти журито на предстоящия Национален фестивал „*Science on Stage*“ ще има по-богат избор.

From Teachers for Teachers – Follow up Event of the International Festival „Science on Stage“ 2022

Ana I. Georgieva, Teodora Konova

The impressions shared by the Bulgarian delegation at the 12th European festival „Science on Stage“ 2022 in Prague, as well as the new ideas and good practices that have enriched their experience in teaching STE(A)M subjects in class and extracurricular activities. As part of the events of the European Researchers` Night under the K-TRIO project and of the National Program to mark the International Year of Basic Sciences for Sustainable Development, the forum presented in lectures and workshops the links between scientific activities and achievements in the field of natural sciences, as well as their effect on education and daily life

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

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

Корица: „Какво причинява горенето на гуми на климата“, автор: Димитър Димитров, 10 клас, Професионална гимназия по строителство архитектура и геодезия, гр. Шумен. 8-мо място, класиране по художествена стойност в Национален фотоконкурс за ученици и студенти „Физика и климат“

Нашите автори:

Сашка Александрова – проф. д.т.н., Технически университет, София;
Динко Динев – доц. д-р, Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика, Българска академия на науките;
Борислав Александров – доц. д-р инж., Български антарктически институт, катедра „Геодезия и геоинформатика“, УАСГ;
Петко Кръстев – гл. ас. д-р, Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика, Българска академия на науките;
Бистра Стамболийска – доц. д-р, Институт по органична химия с Център по фитохимия при БАН;
Мариана Кънева – доц. д-р, Институт по физика на твърдото тяло, БАН;
Евелина Славчева – чл.-кор, директор на Институт по електрохимия и енергийни системи „Акад. Евгени Будевски“ на БАН;
Мария Занева – студент, специалност ПФКМ, ФПМИ, ТУ – София;
Пенка Лазарова – Съюз на физиците в България;
Ана И. Георгиева – проф. д.фз.н., Институт за изследвания на климата, атмосферата и водите, Българска академия на науките;
Теодора Конова – зам.-директор на Средно училище „Васил Левски“, Севлиево

ФОНДАЦИЯ ЕВРИКА София 1000, бул. „Патриарх Евтимий“ №1

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

Фондацията осъществява пет програми:

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

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

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

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

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

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

СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА 4'2022
СЪДЪРЖАНИЕ

Редакционно

Награди

– Нобеловите награди по физика за 2022 г.

Наука

– Д. Динев – Наблюдаван е гравитационен ефект на Ааронов-Бом

– Б. Александров – Изследване на връзката между някои метеорологични елементи и колебанията на океанското ниво в района на Българската антарктическа база

История

– П. Кръстев – Походът към ниските температури, част 1

Юбилей

– Академик Иван Юхновски на 85 години

Годишнина

– М. Кънева – Лаборатория „Оптика и спектроскопия“ – предизвикателствата на новите материали, технологии, методи и приложения, част 1

Personalia

– Е. Славчева – Акад. Евгени Будевски – блестящ учен-електрохимик, пламенен иноватор и вдъхновяващ ръководител

Интервю

– 35 под 35: Радослав Симеонов

Млади изследователи

– М. Занева – Нарушената симетрия

– П. Лазарова – Младежката научна сесия 2022: „Физика, околна среда и климатични промени“

Физика и обучение

– 4-та Балканска олимпиада по физика

Европейска нощ на учените

– П. Лазарова – Европейска нощ на учените 2022: *Учените в триъгълника на знанието*

– А. И. Георгиева, Т. Конова – „От учители за учители“ – последващото събитие на „Наука на сцената 2022“

THE WORLD OF PHYSICS 4'2022
CONTENTS

Editorial 243

Awards

– The Nobel Prize in Physics 2022 246

Science

– D. Dinev – Observation of Gravitational Aharonov-Bohm Effect 251

– B. Aleksandrov – Study of the Relationship between some Meteorological Elements and Ocean Level Fluctuations in the Area of the Bulgarian Antarctic Base 259

History

– P. Krastev – The Long Journey to the Low Temperatures, part 1 269

Jubilee

– Academician Ivan Yuhnovski at 85 278

Anniversary

– M. Kuneva – Laboratory of Optics and Spectrosdopy – Challenges of New Materials, Technologies, Methods and Applications, part 1 282

Personalia

– E. Slavcheva – Acad. Evgeni Budevski – Brilliant Scientist – Electrochemist, Passionate Innovator and Inspiring Leader 292

Interview

– 35 under 35: Radoslav Simeonov 300

Young Researchers

– M. Zaneva – The Broken Symmetry 304

– P. Lazarova – Youth Science Session 2022: „Physics, Environment and Climate Change“ 311

Physics and Teaching

– 4th Balkan Physics Olympiad (BPO4) ..313

European Researchers' Night

– P. Lazarova – European Researchers' Night 2022: *Researchers in the Knowledge Triangle* (K-TRIO).....317

– A. I. Georgieva, T. Konova – From Teachers for Teachers – Follow up Event of the „Science on Stage“ 2022 324