



СЪЮЗ НА ФИЗИЦИТЕ
В БЪЛГАРИЯ

СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА

1'23

WORLD OF PHYSICS

НОБЕЛОВАТА НАГРАДА ПО ФИЗИКА ЗА 2022 Г. И МИСТЕРИИТЕ НА КВАНТОВИЯ СВЯТ

2022 г.-
МЕЖДУНАРОДНАТА ГОДИНА
НА ФУНДАМЕНТАЛНИТЕ НАУКИ ЗА
УСТОЙЧИВО РАЗВИТИЕ

ЗА НАЙ-
ВАЖНИТЕ СЪБИТИЯ
ВЪВ ФИЗИКАТА ПРЕЗ 2022 Г.

С В Е Т Ъ Т Н А Ф И З И К А Т А

ТОМ XLVI, кн. 1, 2023 г.

Издание на Съюза на физиците в България

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

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

ГЛАВЕН РЕДАКТОР

Сашка Александрова

ЗАМЕСТНИК-ГЛАВЕН РЕДАКТОР

Ана Георгиева, Мариана Кънева

ОТГОВОРЕН СЕКРЕТАР

Пенка Лазарова

ЧЛЕНОВЕ

Иван Лалов, Евгени Попов,
Питър Таунсенд, Радостина
Камбурова, Борислав Павлов,
Светлен Тончев, Желязка
Райкова, Игор Масляницин,
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 Bouchier Blvd,
1164 Sofia

☎ 02 8161 684

E-mail: worldofphysics@abv.bg

Предпечатна подготовка: Божидар Жеков

ISSN: 0861-4210

РЕДАКЦИОННО

Международната година на фундаменталните науки за устойчиво развитие IYBSSD-2022 беше открита 8 юли 2022 г., на специална церемония в Централата на ЮНЕСКО, Париж, и ще бъде закрыта на 6 октомври 2023 г. в ЦЕРН.

Според проф. Мишел Спиро, Председател на Управителния комитет на IYBSSD-2022 и Президент на Международния съюз по чиста и приложна физика, това, което трябва да помним е, че фундаменталните науки са водени от любопитство и желание за придобиване на знания. Те са основите на образованието и източниците на открития, които се превръщат в приложения. За да се постига устойчивото развитие, една от важните задачи е обучението на по-младите поколения. В статията си в настоящия брой проф. И. Лалов споделя, че един сериозен проблем пред него може да се окаже недостатъчният брой и слабата мотивация на квалифицираните специалисти. Затова е важно да се насърчават младите хора към обучение и кариера в областта на фундаменталните науки, както е важно и да се подчертава значимостта на фундаменталните изследвания за обществото като цяло. Стремешът е да се покаже на младите, че науката, в частност физиката, е интересна и вълнуваща област, че заниманията с наука не са трудни. Това послание обаче може да доведе и до схващането, че науката е нещо лесно и достъпно и само с размишления може да се постигне откритие, че всеки може да го направи, стига да поиска. Така възникват с нищо необосновани теории, приписват се на известни учени, разпространяват се чрез Интернет и намират почитатели, често агресивни, които искат да имат влияние в обществото. Затова нека приведем дефиницията за наука от *Encyclopedia Britannica*, а именно като „*Всяка система от знания, която се занимава с физическия свят и неговите явления, и която включва безпристрастни наблюдения и систематично експериментиране*“. Науката се движи напред благодарение на знанията, постигнати с образование, и които са резултат на усилията и труда на изследователите. В настоящия брой читателите на „Светът на физиката“ могат да „надникнат“ в кухнята на развитието на квантовата физика, да проследят сложните експерименти и теоретични описания на квантови явления и постигнатите резултати, за които беше присъдена Нобеловата награда по физика за 2022 г., и да се убедят в реалността на квантовия свят.

За някои от най-важните събития, експерименти, наблюдения и резултати във физиката през 2022 г. можете да прочетете в настоящия брой. Сред тях са резултатите от осемгодишното търсене на магнитния монопол, определянето на масата на неутриното, новините за планетата Юпитер от Междупланетна

станция „Джуно“, за квантовите компютри, за работата на Големия адронен колайдър (LHC), за развитието на научната инфраструктура в България.

Знаете ли, че най-ниската температура, достигната в лабораторни условия досега, е 38 pK ($1 \text{ pK} = 10^{-12} \text{ K}$)? Продължаваме разказа за дългия, почти 100-годишен път към най-студената точка на Вселената, в началото на който стои един нобелов лауреат – Камерлинг Онес. Всъщност темата, свързана с постигането на все по-ниски температури и изследването на свойствата на веществата, е създала може би най-голям брой нобелови лауреати – общо 9.

Радва ни ангажираността на нашите млади автори-ученици, които разказват за измененията на климата и отражението им върху природата, живота на хората и инфраструктурата навсякъде по Земята и за учените-пионери и техните постижения в изследването на климатичните промени.

Устойчивото развитие на човечеството означава да строим мост от настоящето към бъдещето. Това може да се случи само чрез приобщаване на подрастващото поколение към науката, чрез приемане на идеята, че науката, в частност физиката, е вълнуваща област. В рамките на обществото споделянето на научните факти, постижения и приложенията, които са част от модерния начин на живот, следва да поражда доверие в науката и възприемането ѝ като несъмнена ценност.

Сашка Александрова

главен редактор на „Светът на физиката“



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

НЯКОИ ОТ НАЙ-ВАЖНИТЕ СЪБИТИЯ ВЪВ ФИЗИКАТА ПРЕЗ 2022 ГОДИНА

Динко Динев

Настоящата статия е изготвена въз основа на материали на: *Nature*, *Science*, *Physics World*, NASA, FNAL, CERN *Courier*, *Science News*.

1. Първи резултати на космическия телескоп „Джеймс Уеб“

На 25.12.2021 г. с помощта на ракетата „Ариана-5“ беше изстрелян най-големият и усъвършенстван космически телескоп „Джеймс Уеб“ (*James Webb Space Telescope*, JWST). Това е съвместен проект на NASA, ESA и CSA. Телескопът работи в спектрален диапазон от видимата светлина до инфрачервената област, $\lambda = 0,6 - 28 \mu\text{m}$.

На 24.01.2022 г. телескопът достигна до проектната си дестинация – точката на Лагранж в системата Слънце-Земя L_2 . Тя се намира на 1,5 млн. km от Земята. Джеймс Уеб се движи по хало-орбита около тази точка.

Телескопът е снабден със следните инструменти:

- MIRI – прибор за средния инфрачервен диапазон.
- NIRCam – камера за близкия инфрачервен диапазон.
- NIRS PCC – спектрометър за близкия инфрачервен диапазон.

Главното огледало се състои от 18 шестоъгълни сегмента.

В продължение на няколко месеца протече напрегнат период на груба и фина настройка (с точност до нанометри) на оптиката на телескопа. Много важен беше и процесът на охлаждане на различните компоненти на телескопа до необходимата температура, 6 – 39 К. Този процес завърши през април 2022 г.

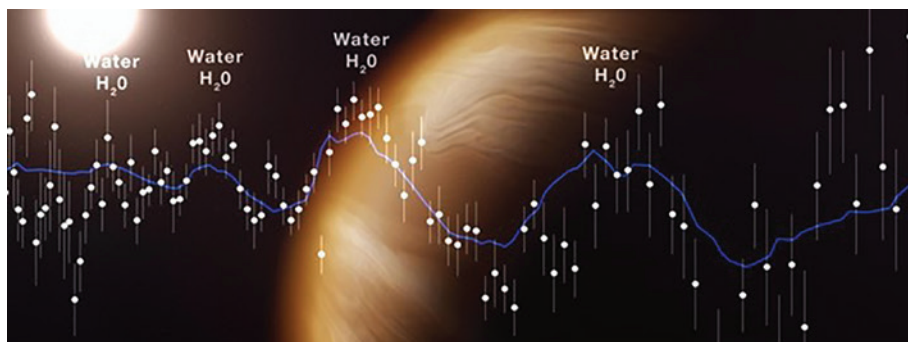


Фигура 1. Галактичният куп SMACS 0723

Първите пълноцветни фотографии на различни обекти във Вселената бяха демонстрирани на 12 юли 2022 г. Президентът на САЩ Джо Байдън и ръководителят на NASA Бил Нелсън показаха как е изглеждала съвсем младата Вселена преди повече от 13 млрд. години.

На Фигура 1 е показан галактичният куп SMACS 0723. Той се намира на 4,6 млрд. светлинни години от Земята. Общата маса на галактичния куп действа като гравитационна леща, изкривявайки пространството около него. Това позволява да се наблюдават извънредно отдалечени обекти, намиращи се зад него, и много слаби галактики.

На Фигура 2 е показан спектърът на екзопланетата WASP-96b. Това е планета с маса, равна на половината от масата на Юпитер. Открита е през 2014 г. Разположена е на 1150 светлинни години от Земята. Обикаля около своята звезда за 3,4 дни. Съставена е главно от газ. Сензационно в горните слоеве на нейната атмосфера са открити водни пари и е доказано съществуването на облаци и мъгла.



Фигура 2. Спектър на екзопланетата WASP-96b

JWST откри и най-старата наблюдавана до момента галактика. Това е GLASS-z13, която е на възраст само 300 млн. години след Големия взрив.

Разстоянието до отдалечени галактики не може да се изчисли непосредствено. То се оценява по измереното космологично червено отместване z . По дефиниция z е относителното увеличение на дължината на вълната на електромагнитното лъчение, идващо от далечните галактики.

$$z = \frac{\lambda_{obsv} - \lambda_{emit}}{\lambda_{emit}}$$

Съгласно закона на Хъбъл-Льометър:

$$cz = H_0 r,$$

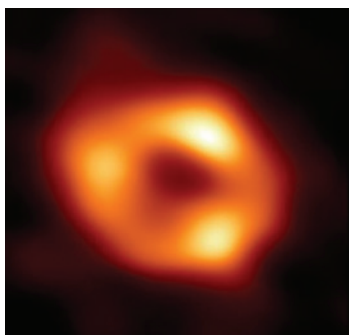
където: c – скоростта на светлината, H_0 – константата на Хъбъл, r – разстоянието

до галактиката. Съгласно измерванията на космическият телескоп Хъбъл (2019) $H_0 = 74,03 \pm 1,42 \text{ km/s/Mpc}$.

За галактиката GLASS-z13 $z = 13$. Малко по-късно беше съобщено, че е установено, че галактиката CEERS има $z = 16$, което отговаря на 250 млн. години след Големия взрив. Оказа се, че тези ранни галактики имат много по-сложна структура отколкото се очакваше.

1. First Images from the James Webb Space Telescope. <https://www.nasa.gov/webbfirstimages>
2. Д. Динев. Някои от най-важните постижения във физиката през 2021 година. Светът на физиката, №1, 2022, стр. 34 – 48

2. Получено е изображение на черна дупка в центъра на нашата Галактика



Фигура 3. Реконструираното изображение на черната дупка Sgr A*

На 12.05.2022 г. едновременно в шест страни се състояха пресконференции на участниците в международната радиоастрономическа колаборация *Event Horizon Telescope* (ЕНТ), на която беше показана „снимка“ на черната дупка Стрелец А* (*Sagittarius A**), намираща се в центъра на Млечния път. Това е второто изображение на черна дупка, реконструирано от колаборацията ЕНТ. Първото беше през 2019 г. и е на черната дупка М87.

ЕНТ комбинира сигналите от осем радиотелескопа, разположени по цялото земно кълбо. Заедно те имат разделителна способност, равна на тази на телескоп с размерите на Земята. Това са: две чилийски обсерватории АРЕХ и АLМА, две обсерватории, разположени на Хавайските острови – SМА и JСМТ, мексиканският 50-метров радиотелескоп LMT, радиотелескопът IRAM, разположен в южна Испания, радиотелескопът SMT, разположен на планината Грем в Аризона, и телескопът SPT на Южния полюс. Радиотелескопите на ЕНТ регистрират радиовълни с дължина на вълната 1,3 mm, при ъглова разделителна способност 25 дъгови μs .

Масата на черната дупка Sgr A* се оценява на четири млн. слънчеви маси.

Както е известно, самата черна дупка не издава никакви сигнали. Черната дупка не е нито вещество, нито радиация. Това е гравитационно поле, концентрирано в силно изкривена област на пространство-времето. Външната граница на черната дупка се нарича хоризонт на събитията. Сигнал, излъчен от вътрешността на хоризонта на събитията, не може да достигне до външен наблюдател. Черната дупка привлича газ и прах от околното пространство, образуващи гореща плазма, която се върти бясно по спирала около дупката,

т.нар. акреционен диск. Акреционният диск генерира синхротронно лъчение. Това е електромагнитно лъчение с широк спектър – от радиовълни до твърдо рентгеново лъчение. Тъй като плазмата около черната дупка SgrA* се върти много бързо, картината на околностите на тази черна дупка постоянно се променя – от 5 до 15 min. Това прави реконструкцията на изображението на SgrA* и на нейното плазмено обкръжение много трудна.

Изкривяването на лъчите в близост до хоризонта на събитията на черната дупка води до появата вътре в светлия пръстен, изобразяващ акреционния диск, на приблизително сферично тъмно петно. Това е своеобразната „сянка“ на черната дупка. Радиусът на тази сянка е 2,6 Шварцшилдови радиуса.

На Фигура 3 е показано реконструираното изображение на черната дупка SgrA*. Яркият ореол представлява радиоизлъчването на акреционния диск. Тъмното петно в центъра е сянката на черната дупка.

1. D. Castelvecchi. *Black hole at the centre of our Galaxy imaged for the first time*. Nature, v. **605**, 2022, pp. 402-404

2. Алексей Левин. *Черната дупка в галактика M87: портрет в интериор*. Светът на физиката, №1, 2020, стр. 45-51

3. Космическият апарат „Джуно“ („Юнона“) изпрати нови 3D фотографии на облаците на Юпитер

Американската междупланетна станция „Джуно“ (*Jupiter Polar Orbiter*) беше изстреляна на 5.08.2011 г., а на 5.07.2016 г. навлезе в удължена полярна орбита около планетата Юпитер. Основната цел на този космически апарат е изследване на атмосферата, на магнитното поле и оттам на разпределението на масата в недрата на планетата и изследване на вътрешната структура на Юпитер. Сред задачите на „Джуно“ е съставянето на тримерна карта на ветровете, определяне на съдържанието на вода в атмосферата и проверка на хипотезата за наличието при газовия гигант на твърдо ядро. При сближаването си с Юпитер станцията е на 1800 – 4300 km. Тя е снабдена с прецизен магнитометър (FGM), микровълнов радиометър (MWR) за изследване на дълбоките слоеве на атмосферата, трицветна видеокамера *JunoCam* (1600x1200 пиксела) и др. Разделителната способност на камерата в точката на най-голямо сближаване на космическата станция с Юпитер е 3 – 15 km на пиксел.

Стойността на космическата мисия е 1 млрд. USD.

През 2021 г. основната програма беше успешно изпълнена.

Поради това, че ресурсът на двигателите и инструментите на „Джуно“ не бяха изчерпани, се взе решение работата на станцията да бъде удължена до 2025 г. По време на разширената програма „Джуно“ ще извърши 44 обиколки около Юпитер. Апаратът ще осъществи също сближавания с Галилеевите спътници

на Юпитер: Ганимед (на 1000 km), Европа (на 320 km) и Йо (на 1500 km).



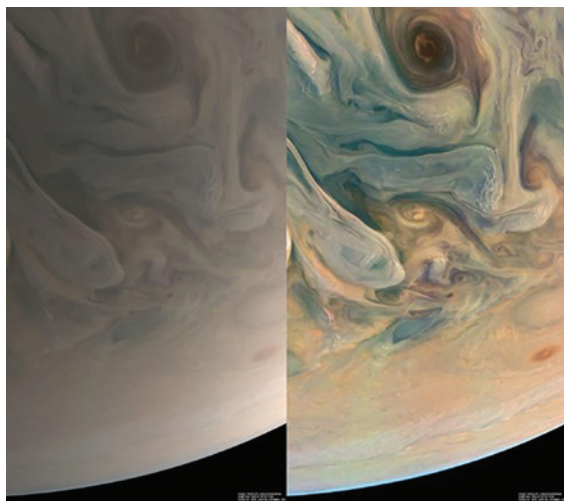
Фигура 4. Голямото червено петно, заснето от космическата станция на NASA „Джуно“

Атмосферата на Юпитер се състои от водород (75%), хелий (24%), амоняк, водни пари и др.

„Джуно“ изследва тримерната структура на гигантските вихри в атмосферата на Юпитер. Знаменитото голямо червено петно е всъщност дългоживущ гигантски ураган.

„Джуно“ проведе детайлно изследване на твърдото ядро на Юпитер. То има маса, равна на десет земни маси, и диаметър, равен на 1,5 земни диаметъра. Сондата показва наличието в него на тежки елементи.

Между ядрото и атмосферата е разположен слой от метален водород. Той се образува под действието на голямото налягане (200 – 4000 GPa) и е източник на гигантското магнитно поле на планетата. Под действие на голямото налягане водородните ядра (протоните) се сближават на разстояния, по-малки от радиуса на най-близката до ядрото електронна орбита. Разстоянието между протоните става сравнимо с дължината на вълната на дьо



Фигура 5. Космическата станция на NASA „Джуно“ наблюдава сложната структура на облаци на Юпитер по време на 43-тото си сближаване с планетата (5.07.2022 г.)

Бройл. Електроните стават слабо свързани с протоните и образуват свободен електронен газ, подобно на това в металите.

С помощта на прибори, работещи в инфрачервената и микровълновата области, се изследва разпределението на вода и амоняк в дълбоките слоеве на атмосферата. Беше изследвана структурата и атмосферната циркулация дълбоко под облачния слой.

1. Official website: Juno-Mission to Jupiter-NASA
https://www.nasa.gov/mission_pages/juno/main/index.html

4. Започна *Run 3* на Големия адронен колайдър на ЦЕРН

На 5 юли 2022 г. в Европейския център за ядрени изследвания (CERN), разположен до Женева, започна третият сеанс (*Run 3*) на работа на Големия адронен колайдър (LHC). *Run 3* ще продължи четири години. През този сеанс енергията на насрещните удари между двата протонни снопа ще бъде безпрецедентно висока – 13,6 TeV в СЦМ. *Run 3* се предшества от тригодишно прекъсване на работата на колайдъра, което беше използвано за съществена модернизация на всички ускорители от веригата ускорители на ускорителния комплекс на ЦЕРН, а също така на детекторите. Тази модернизация позволи енергията на колайдъра да се повиши до проектната и да се увеличи на порядък интензитетът на сблъскващите се снопове от протони и тежки йони. След модернизацията в точките на ударите (IP) сноповете ще се фокусират до напречен размер от 10 μm , което ще позволи интегралната светимост на колайдъра за *Run 3* да се увеличи до 300 fb^{-1} (*inverse femtobarns*). Това силно ще повиши производителността на работа на колайдъра.

Модернизацията на детекторите и на свързаната с тях компютърна инфраструктура ще позволи регистрирането на значително повече събития, включително и много редки, и ще улесни обработката на събрания огромен обем информация.

Основните детектори ATLAS (*A Toroidal LHC ApparatuS*) и CMS (*Compact Muon Solenoid*) ще могат да изучават свойствата на бозона на Хигс с рекордна прецизност и да търсят нови канали на разпад, в частност до мюони – частици от второ поколение.

Важни въпроси, на които ще се търси отговор, са: произходът на наблюдаваната асиметрия материя-антиматерия и търсенето на кандидати за тъмната материя.

Детекторът LHCb след модернизацията ще може да събира десет пъти повече данни. Ще се търси потвърждение или отхвърляне на наблюдаваното през *Run 2* нарушаване на лептонната универсалност (*lepton flavor asymmetry*).

Изследванията с удари между ускорени до ултрарелативистки скорости

Pb ядра (енергия 2,76 TeV/u) се провеждат с помощта на детектора ALICE (*A Large Ion Collider Experiment*). Изучава се поведението на ядрената материя при екстремни температура и плътност. При тези условия възниква ново състояние на материята – кварк-глюонна плазма (QGP). Вселената е била в състояние на QGP през първите 10 μ s след Големия взрив.

На LHC се извършват и няколко по-малки експерименти.

TOTEM (*TOTAL cross section, Elastic scattering and diffraction Measurement at LHC*) е посветен на изучаване на структурата на протона.

FASER (*ForWard Search Experiment*) търси леки и много слабо взаимодействащи частици, предсказвани от някои модели, отвъд SM.

FASERv е емулсионен неутринен детектор. През 2011 г. този експеримент показва, че за първи път са регистрирани шест взаимодействия на неутрино, създадено при удари между високоенергетични протони в колайдър. Този детектор може да регистрира неутрино от трите вида и антинеутрино. Оценява се, че през *Run 3* ще могат да се регистрират до 10 хиляди неутринни взаимодействия.

LHCf използва частиците, излъчени под малък ъгъл спрямо посоката на първичния протон (*forward*), за моделиране на космичните лъчи.

MoEDAL (*the Monopole and Exotics Detwector at the LHC*) е детектор, посветен на търсенето на магнитен монопол – хипотетична частица, притежаваща само „северен“ или „южен“ магнитни заряди, а не и двата вида едновременно.

1. The third run of the Large Hadron Collider has successfully started

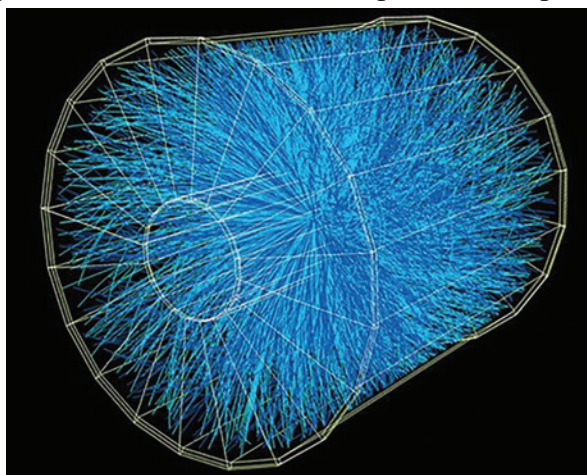
<https://home.cern/news/news/cern/third-run-large-hadron-collider-has-successfully-started>

2. Д. Динев. *Когато кварките бяха свободни*. Светът на физиката, №2, 2018, стр. 106-113

5. Неутрино на фокус

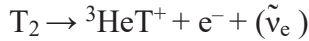
През 2022 г. беше съобщено за първото директно измерване на масата на неутрино. То е извършено с помощта на детектора KATRIN (*Karlsruhe Tritium Neutrino*) в Технологичния институт в Карлсруе (*Karlsruhe Institute of Technology*, KIT).

В този експеримент неутрино се получава при бета-разпада на молекулен



Фигура 6. Следите (tracks) на вторичните частици, родени при Pb-Pb удари в LHC (експеримент ALICE)

тритий:



Енергията на неутрино то се определя въз основа на прецизното измерване на енергията на съпътстващия го електрон.



Фигура 7. Един от основните компоненти на детектора KATRIN, бета спектрометъра, на път за KIT

KATRIN използва най-интензивния тритиев източник. Енергията на разпадните електрони се определя от гигантски бета-спектрометър. Взети са специални мерки за намаляване до минимум на шума от фонова радиация.

След откриването на осцилациите на неутрино то стана ясно, че то има ненулева маса. Има индиректни указания, че тази маса трябва да е по-малка от 1 eV.

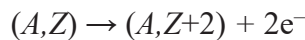
В експеримента KATRIN се поставя горна граница на масата на неутрино то, равна на 0,8 eV, с 90% доверителен интервал.

В друг експеримент се тества дали неутрино то е Майоранова частица.

През 1937 г. италианският физик Еторе Майорана (*Ettore Majorana*) изказва хипотезата, че неутрино то може да е частица, която е идентична на своята античастица. Това би дало ключ към обясняването на наблюдаваната във Вселената асиметрия между материя и антиматерия.

Днес във физиката на микросвета се наложи Стандартният модел на елементарните частици и техните взаимодействия (СМ), една много успешна теория. Но откриването на осцилациите на неутрино то поставиха въпроса за необходимостта от допълване и усъвършенстване на този модел. Поредно предизвикателство за СМ ще бъде, ако се окаже, че неутрино то е Майоранова частица.

Един от начините да се провери тази хипотеза е чрез търсене на възможното съществуване на безнеутринен двоен бета-разпад ($0\nu\beta\beta$). Това е процес:



Съществуването на подобен процес би хвърлило светлина върху проблема за масата на неутрино то и би означавало нарушаване на закона за запазване на лептонния заряд L.

Идеята за съществуването на двоен бета разпад по схемата:

$$(A, Z) \rightarrow (A, Z+2) + 2e^- + 2(\tilde{\nu}_e)$$

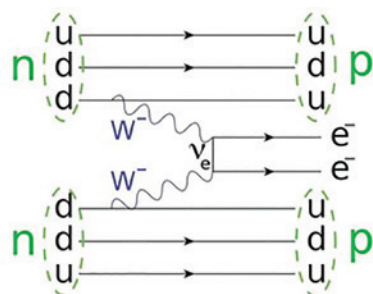
е изказана от М. Гьоперт-Майер (*Maria Goeppert Mayer*) през 1935 г. Подобен процес се наблюдава при много изотопи. Това е процес от втори порядък с времена на живот $10^{18} - 10^{21}$ у.

Ако неутриното е Майоранова частица, то ще може да се излъчва и поглъща в един и същ процес, без да се появява в крайното състояние. Така се получава кварковата диаграма на безнеутринния двоен бета-разпад показана на Фигура 8.

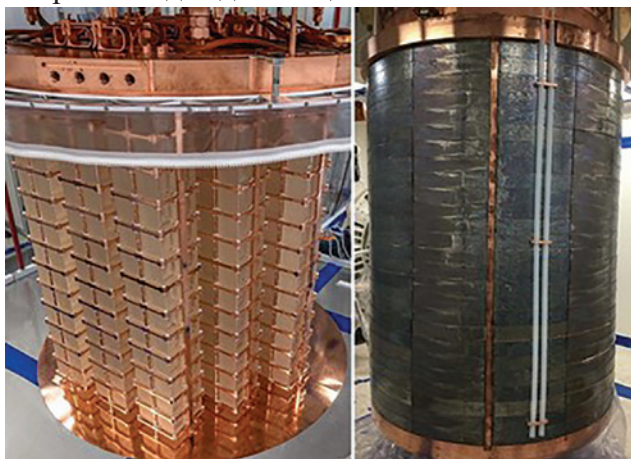
Досегашните опити да се регистрира подобен процес са били неуспешни. Тествани са изотопите: ^{48}Ca , ^{76}Ge , ^{82}Se , ^{96}Zr , ^{100}Mo , ^{116}Cd , ^{130}Te , ^{136}Xe , ^{150}Nd .

През 2022 г. в *Nature* бяха публикувани резултатите от най-прецизния досега експеримент CUORE (*Cryogenic Underground Observatory for Rare Events*). Този детектор е разположен в Националната подземна неутринна лаборатория на Италия (*Gran Saso National Laboratory*). Детекторът е надеждно защитен от космическата радиация и от атмосферните мюони. Има и солидна локална радиационна защита от олово. Тества се изотопа ^{130}Te под формата на 19 „кули“ от телуров диоксид. Детекторът работи при температура 10 мК.

Събраните в течение на четири години данни не показват следи от безнеутринен двоен бета-разпад. Поставена е долна граница на времето на полуживот от $2,2 \cdot 10^{25}$ у при 90% доверителен интервал.



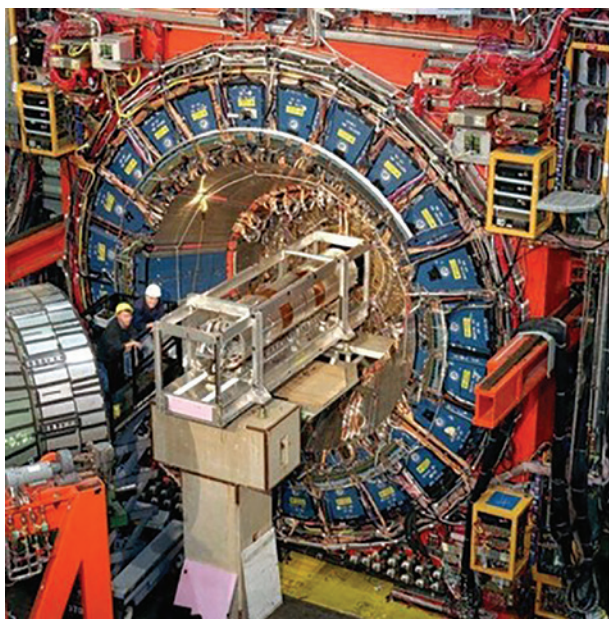
Фигура 8. Кваркова диаграма на безнеутринен двоен бета-разпад



Фигура 9. Детекторът CUORE в Националната неутринна лаборатория Гран Сасо

1. The KATRIN Collaboration. *Direct neutrino mass measurement with sub-electronvolt sensitivity*. Nature Physics, v. **18**, 2022, pp. 160-166
2. The CUORE collaboration. *Search for Majorana neutrinos exploiting millikelvin cryogenic with CUORE*. Nature, v. **604**, 2022, pp. 53-58

6. Масата на W-бозона задава въпроси

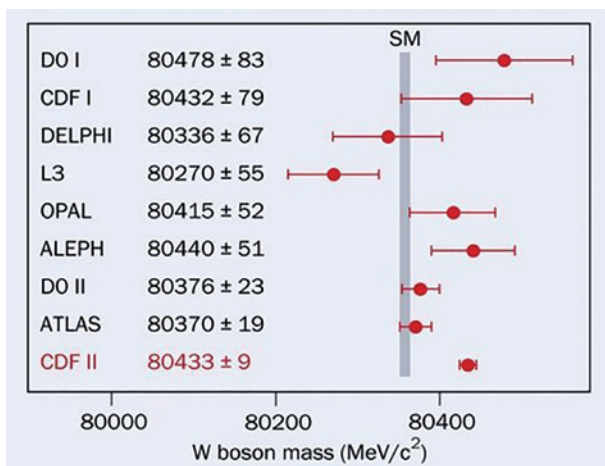


Фигура 10. Детекторът CDF в Националната лаборатория „Е. Ферми“

През 2022 г. в *Science* бяха публикувани резултатите от прецизния анализ на данните от един стар експеримент, проведен през 2001 – 2011 г. с помощта на детектора CDF (*Collider Detector at Fermilab*) на протон-антипротонния колайдър *Tevatron* в Националната лаборатория на САЩ „Е. Ферми“ по определянето на масата на W-бозона.

Анализирани са над 4 млн. W-бозона. Те се раждат при удари между протони и антипротони при енергия в СЦМ 1,96 TeV и почти мигновено се разпадат на електрон или мюон плюс съответното неутрино. Анализът показва,

че масата на W-бозона е с 0,1% по-голяма от предсказанията на Стандартния модел на елементарните частици и техните взаимодействия (СМ).



Фигура 11. Най-новата стойност на масата на W-бозона

W⁺, W⁻ бозоните заедно с Z⁰ бозона са преносителите на слабото взаимодействие. В слабото взаимодействие участват всички фермиони – лептони и

кварки. На слабото взаимодействие се дължи бета-разпадът на атомните ядра и ядрения синтез. В резултат на слабото взаимодействие, кварки от един аромат може да се превърнат в кварки от друг аромат. W^+ , W^- и Z^0 могат да съществуват самостоятелно. Това са най-тежките частици, създавани в лаборатория, с маси осемдесет пъти по-големи от масата на протона.

В Стандартния модел масата на W -бозона е строго определена от други параметри на модела. Стойността на тази маса е тест за самосъгласуваността на Стандартния модел.

Независимо че разликата между измерената маса на W -бозона и предсказанията на Стандартния модел е малка, прецизността на новото измерване говори за възможен пробив в Стандартния модел и за нова физика отвъд този модел.

1. T. Aaltonen et al. *CDF collaboration*. *Science*, v. **276**, 2022, pp.170-176

7. MICROSCOPE направи най-прецизния тест на принципа на еквивалентност

На 25.04.2016 г. на ниска околоземна орбита беше изстрелян френският научен спътник MICROSCOPE (*Micro-Satellite with Compensated Drag for Observing the Principle of Equivalence*). Задачата на този космически апарат беше да направи прецизна проверка на слабия принцип на еквивалентност (WEP). Работата на спътника продължи до 16.10.2018 г. Оттогава върви внимателен



Фигура 12. Френският научен спътник MICROSCOPE

анализ на натрупаните експериментални данни. През 2022 г. бяха публикувани окончателните резултати от този експеримент, които показаха валидността на слабия принцип на еквивалентност с точност $2,7 \cdot 10^{-15}$.

MICROSCOPE е малък спътник с тегло 500 kg и консумирана мощност от само 500 W.

Слабият принцип на еквивалентност гласи: В еднородно гравитационно поле всички движения протичат точно така, както и в равномерно ускорена координатна система при отсъствието на гравитация (А. Айнщайн, 1907). Всички обекти, независимо от тяхната маса и/или състав, падат по един и същ начин в гравитационно поле, при условие че всички други смущаващи движения фактори, например съпротивлението на въздуха, са отстранени.

Накратко: гравитационната и инертната маси са равни.

В експеримента се сравняват ускоренията на свободно падане, получени от две маси от различен материал, докато те обикалят около Земята. За целта се използва свръхчувствителен диференциален електростатичен акселерометър, създаден от ONERA. Сравняваните тела са цилиндри от платинова и титанова сплави. Те се зареждат електрически. С помощта на електростатична сила тези маси се държат в състояние на равновесие. Много точно се измерва напрежението необходимо, за да се държат масите в равновесие.

Определя се параметърът, въведен от Л. Йотвъш (*L. Eötvös*):

$$\eta(2, 1) = 2 \frac{a_2 - a_1}{a_2 + a_1} = 2 \frac{m_{g2}/m_{i2} - m_{g1}/m_{i1}}{m_{g2}/m_{i2} + m_{g1}/m_{i1}},$$

където a_i са ускоренията на свободно падане, m_g е гравитационната маса, а m_i – инертната маса. В експеримента е намерено, че:

$$\eta(\text{Ti,Pt}) = (-1,5 \pm 2,3(\text{stat}) \pm 1,5(\text{syst})) \cdot 10^{-15}.$$

Pierre Touboul et al. *The MICROSCOPE space mission: the first test of the equivalence principle in a space laboratory*. *Classical and Quantum Gravity*, 2022, v. 39, p. 200401

8. Развитие на научната инфраструктура в България

В сътрудничество с Федералния технологичен институт в Цюрих (ETH *Zurich*) и Политехническият университет в Лозана (EPFL) през 2022 г. в България беше създаден Институт за компютърни науки, изкуствен интелект и технологии (INSAIT). Този институт е структуриран като специално звено към Софийския университет „Св. Климент Охридски“ и е създаден в партньорство с швейцарските ETH *Zurich* и EPFL, два от най-добрите технологични университети в света. Идеолог на създаването на INSAIT е световно известният български специалист по изкуствен интелект проф. Мартин Вечев, който ръководи Лабораторията за сигурни, надеждни и интелигентни системи на ETH *Zurich*. Председател на Консултативния съвет на INSAIT е проф. Драгомир Радев, който преподава компютърни науки в Университета в Йейл.

Създаването на INSAIT е повратен момент в развитието на науката и технологиите в нашата страна.

Също през изминалата 2022 г. към Факултета по химия и фармация и Физическия факултет на Софийския университет беше открит Лабораторен комплекс, кампус „Лозенец“. Общата площ на лабораториите е над хиляда m^2 . Лабораторният комплекс включва: Лаборатория по рентгенофазов и рентгеноструктурен анализ; Лаборатория за получаване и (електро)химично характеризирани на метали и метал-съдържащи съединения; Лаборатория по

проектиране на високотехнологични продукти за фотониката; Лаборатория по лазерни технологии; Лаборатория по охарактеризиране свойствата на пени, емулсии и порьозни материали; Лаборатория за развиване и приложение на нови методи за охарактеризиране на повърхностна енергия и омокряне; Център за високоефективни изчисления и Лаборатория „Функционални дисперсни системи“. В тези лаборатории ще бъде представен почти пълният цикъл от дизайна и създаването до изучаването на разнообразни функционални свойства и употребата на съвременни материали и активни вещества; ще се разработват и технологии с приложение при контрола на чистотата на околната среда и съхраняването на енергия.

През 2022 г. в Националната астрономическа обсерватория Рожен започна работа нов роботизиран телескоп с диаметър на главното огледало 1,5 m. Той е изработен от австрийската фирма *ASA Astrosysteme GmbH*. Новият телескоп е изцяло роботизиран, като наблюденията се извършват без присъствието на оператор. Този инструмент ще даде нов импулс на провежданите от Института по астрономия с НАО фундаментални изследвания в областта на астрономията, астрофизиката, хелиофизиката, небесната механика и космологията.

9. Научните списания отбелязаха също:

➤ На 23.02.2022 г. започна работа слънчевият телескоп DKIST, разположен на Хаваите, на височина 3,084 m. Диаметърът на главното огледало на телескопа е 4,24 m. С помощта на иновативна адаптивна оптика се коригират аберациите, свързани със земната атмосфера, което позволява постигането на разделителна способност 20 km.

Официална уеб-страница: www.nso.edu/telescopes/dki-solar-telescope

➤ Изследователски екип от японския институт RIKEN съобщи, че за първи път е създаден клъстер от четири неутрона, т.нар. тетранеутрон. Масата на новия резонанс е 2,4 MeV, а ширината на пика 1,8 MeV.

M. Duer et al. *Observation of a correlated free four-neutron system*. Nature. Vol. 606, June 23, 2022, p. 678

➤ Колаборацията BASE в CERN направи най-прецизното досега сравняване между свойствата на протоните и антипротоните и показа, че те се държат по един и същ начин в гравитационно поле. Измервайки отношението електрически заряд към маса, експериментът показа, че:

$$\left(\frac{e}{m}\right)_p / \left(\frac{e}{m}\right)_{\bar{p}} = 1,0000000000003.$$

M.J. Borchert et al. *16-parts-per-trillion measurement of the antiproton-to-proton charge-mass ratio*. Nature, v.601, 2022, pp. 53-57

➤ Осемгодишното търсене на магнитен монопол от неутринната обсерватория *IceCube* не даде резултат. Магнитният монопол е хипотетична фундаментална частица, притежаваща магнитен заряд и създаваща радиално магнитно поле. Съществуването на подобна частица е предложено от П. Дирак през 1931 г. и по-късно от Дж. Хофт и А. Поляков. *IceCube* се опитва да регистрира магнитен монопол по Черенковото лъчение, което би трябвало да създава при преминаването си през арктическия лед.

R. Abbasi et al. *Search for relativistic magnetic monopoles with eight years of IceCube data*, Phys. Rev. Lett. 128, 051101 (2022).

➤ Колаборацията MoEDAL на Големия адронен колайдър в CERN има друг подход в търсенето на магнитен монопол. Тя използва ударите между оловни ядра, ускорени в колайдъра до висока енергия. Те са източник на много силно магнитно поле, 10^{16} Т, което може да създава двойка магнитен монопол и неговата античастица чрез процес, известен като механизъм на Швингер. Измерванията не дадоха положителен резултат, но поставиха долна граница на масата на хипотетичната частица от 75 GeV.

B. Acharya et al. *Search for magnetic monopoles produced via the Schwinger mechanism*. Nature volume 602, pp. 63–67 (2022)

➤ Ново прецизно измерване на електрическата поляризация на протона. То е извършено в Националната лаборатория на САЩ „Т. Джеферсън“ чрез виртуално Комптоново разсейване на ускорени до висока енергия електрони в мишена от свръхохладен течен водород. Неочаквано е намерено локално нарастване на електрическата поляризация на протона при увеличаването на енергията на електроните.

R. Li, N. Sparveris et al. *Measured proton electromagnetic structure deviates from theoretical predictions*, Nature, 19 October 2022

➤ Учени от Университета в Калифорния в Санта Барбара публикуваха изследване на ново поколение полупроводников материал на основата на кубичен боров арсенид. Чрез комбиниране на сканираща електронна микроскопия и свръхкъси лазерни импулси те показват, че „горещите“ електрони в полупроводниковия материал имат дълго време на живот (200 ps). Това може да се използва за създаването на по-ефективни слънчеви панели и фотодетектори. The Current, UC Santa Barnara

<https://www.news.ucsb.edu/2022/020753/next-wonder-semiconductor>

➤ Учени от *City College* в Ню Йорк съобщиха за нова квазичастица, която отчасти е материя и отчасти светлина. Те изследват пакет от много тънки NiPS₃ слоеве, поставени в оптичен микрорезонатор, и наблюдават силна корелация между спиново ориентираните екситони и фотоните. Новата квазичастица, екситон-поларитон, има свойствата на екситоните, фотоните и спина. Този

резултат може да намери приложение в лазерната техника и в запаметяващите устройства.

Florian Dirnberger et al. *Spin-correlated exciton-polaritons in a van der Waals magnet*. Nature Nanotechnology v. 17, 2022, , p.1060

➤ Суперкомпютърът *Frontier* на Националната лаборатория на САЩ Оук Ридж навлезе в екзоскалата, достигайки производителност от 1,6 ExaFlop/s ($\text{exa} = 10^{18}$). Този суперкомпютър използва HPE Cray EX235a архитектура и процесори AMD EPYC™ (8 730 112 ядра).

Frontier supercomputer debuts as world's fastest, breaking exascale barrier. Съобщение на Oak Ridge National Laboratory, May 30, 2022

➤ Корпорацията IBM пушна в действие най-мощния в света квантов компютър 433-qubit IBM *Quantum Osprey*.

Официален web-site на IBM:

<https://research.ibm.com/blog/next-wave-quantum-centric-supercomputing>

SOME OF THE MOST IMPORTANT EVENTS IN PHYSICS IN 2022

Dinko Dinev

The review is dedicated to the most exciting events in physics in 2022 year. Our choice has fallen on: first results from the James Webb space telescope, black hole at the centre of our Galaxy imaged for the first time, Juno probe that provides the first 3-D view of Jupiter's atmosphere, LHC Run-3 starting at record energy, direct neutrino-mass measurement, search for Majorana neutrinos, most precise measurement of the W-boson mass, the most exact test of the weak equivalence principle. We have marked also: DKIST solar telescope, tetra-neutron finally found, the most precise comparison between proton and antiproton, search for magnetic monopole, the supercomputer Frontier.

Не около производителите на нов шум, а около създателите на нови ценности се върти светът. Той се върти беззвучно.¹

*Friedrich Nietzsche
Also sprach Zarathustra*

ФИЛОСОФИЯ И ФИЗИКА: КВАНТОВО ПРЕПЛИТАНЕ

Иван Тодоров

Шепа аутсайдери („сенилният Айнщайн“, гоненият Дейвид Бом, „прахосващият таланта си“ Джон Бел, недопуснатият до професура Джон Клаузер, ...) въстанаха срещу святостта на Копенхагенската интерпретация на квантовата механика и откриха ново явление: *квантово преплитане*. Неговото изучаване и опитите за използването му продължават и до днес.

Нобеловата награда по физика за 2022 се „присъжда съвместно на Ален Аспе, Джон Клаузер и Антон Цайлингер за експерименти с преплетени фотони, които установяват нарушаването на неравенствата на Бел и дават начало на квантовата информатика“. Прави впечатление големият интервал време между първото опитно доказателство, че неравенствата на Бел се нарушават (Freedman-Clauser 1972, Clauser-Horne 1974, Clauser 1976), неговото независимо потвърждение (Aspect-Delibard-Roger 1982) и присъждането на Нобеловата награда (съответно 50 и 40 години). Два дена след съобщението на Нобеловия комитет в Института за изкуство и идеи в Ню Йорк излезе статия [1], която започва с думите, че новината „е ... горчиво-сладка: Джон Бел (John Bell), чиято теоретична работа даде стимул и основа на експериментите, проведени от лауреатите, не доживя да получи същото признание за своето постижение“. Подобно забавяне не е безпрецедентно в историята на Нобеловите награди по физика (Райнес (Frederick Reines) получи отличието 40 години след експерименталното детектиране на неутриното, 20 години след като неговият съавтор Коуън (Clyde Cowen) бе починал), но случаят отразява настроенията и отношенията във GHSZ общност и заслужава да се проследи.

Историята започва с работата на Айнщайн (емигрирал в Америка, от 1933 г. в Принстън), Подолски и Розен (АПР): „*Може ли описанието на физическата реалност в квантовата механика да се разглежда като пълно?*“, публикувана

¹Превод на автора. Оригинален текст: *Nicht um die Erfinder von neuem Lärme: um die Erfinder von neuen Werthen dreht sich die Welt; unhörbar dreht sie sich.* (бел. Ред.)

през 1935 г. [2]. Това е първата публикация на Айнщайн по темата. Той от самото начало не приема Копенхагенското тълкуване на релациите за неопределеност в квантовата механика, което отрича съществуването на определени координати и импулси у микрочастица преди те да бъдат измерени. Води епични дискусии с Бор по време на Солвеевските конгреси през 1927 и 1930 г.; Бор обяснява съотношенията на Хайзенберг с неизбежното вмешателство в състоянието на микросистемата при всяко измерване. Сега АПР предлагат нещо ново: те разглеждат система от две корелирани частици, така че при измерване на една от тях да могат да определят координатата и импулса на другата без да ѝ въздействат. (Макар че координатата x_i и импулсът p_i на всяка частица $i = 1, 2$ се представят с некомутиращи помежду си оператори, пълният импулс $P = p_1 + p_2$ и разликата между координатите $x = x_1 - x_2$ комутират и значи могат да бъдат измерени точно едновременно. При $P = 0$, в системата на центъра на масите, в която импулсите на двете частици са равни по големина и противоположно насочени, можем да считаме точно известно разстоянието помежду им. Съгласно принципите на квантовата механика първата частица придобива определен импулс p_1 в процеса на измерване на импулса, но тогава автоматично се променя и състоянието на втората – тя също придобива определен импулс $p_2 = -p_1$; това би означавало действие на разстояние, което е анатема за Айнщайн. Приемайки, че измерването на импулса на първата частица не може да промени състоянието на отдалечената втора, АПР заключават, че втората частица преди това е имала определен импулс и значи квантово-механичното описание е непълно. Статията [2] е написана ясно (за физици) и звучи убедително. Бор, разтревожен, веднага започва „да изяснява недоразумението“², но неговият измъчен отговор звучи повече философски. Той признава, че позоваването на въздействието на апарата не е приложимо в случая: „не става дума за механично въздействие върху системата..., но ...стои въпросът за влияние върху самите условия, които определят възможните предсказания за бъдещото ѝ поведение. Тъй като тези условия представляват неразделна част от явлението, към което терминът „физическа реалност“ може да се приложи, виждаме, че аргументът на авторите не оправдава тяхното заключение, че квантово-механичното описание е съществено непълно“. Джон Клаузер [3] (с. 67) отбелязва, че аргументът на Бор се изяснява, когато си дадем сметка, че той е основан на отрицание на реализма: *състоянието на втората подсистема възниква едва след измерването на първата* (поради това няма действие на разстояние). Коментарът на Бел – главното отсъстващо лице от Нобеловата награда – вероятно е сходен с впечатлението на малкото непредубедени физици,

²Виж увлекателния разказ на Ален Аспе [8] по спомена на сътрудника на Бор, Розенфелд (виж също [9]).

които са си дали труд да вникнат в полемиката. След като казва, че аргументът на Айнщайн е ясен, в статия от 1981 г. Бел [4] пише: „Аз много слабо разбирам позицията на ...Бор. От друга страна, повечето съвременни теоретици мислят, че Бор е победителят в дискусиата с Айнщайн и си представят, че те споделят неговите възгледи“. Уитъкър (*Whitaker*) [5], който разглежда по-пълно цялата дискусия, справедливо отбелязва, че мнозинството физици, според които Бор за пореден път е показал грешката в остарелите възгледи на Айнщайн, не са прочели нито АПР, нито нейната критика...

Още един отзвук от старото поколение идва от Грац, от Шрьодингер (1887 – 1961). Той пише статии на немски и на английски [6], позовавайки се на АПР с думите:

„Появата на тази работа мотивира сегашната – да кажа лекция или изповед?“. Въвежда термина квантово *преплитане* (*Verschrankung, entanglement*) както и своята, прочула се, ни жива ни умряла котка. Понятието преплитане използва малко по-късно и Уендъл Фюри (*Wendell Furry*) [7] (американски физик, преподавал 50 години, 1934 – 1984, в Харвард). И това е всичко. В течение на 15 години младите „действащи“ физици не забелязват АПР.

Първата стъпка, съживила интереса към проблема, прави излязлата през 1951 г. „Квантова теория“ на Бом³. Авторът преформулира мисления опит на АПР в термини на (некомутиращи) спинов променливи. Това прави едновременно постановката по-чиста математически (спиновите проекции имат дискретен спектър и техните собствени състояния са нормируеми (така че вероятността на достоверното събитие да е единица), докато пълният импулс и относителната координата имат непрекъснат спектър, който не допуска собствени вектори с крайна норма) и превръща „мисления“ опит в реално осъществим. През 1957 г., вече в Хайфа, Бом и неговият ученик Ааронов (*Yakir Aharonov*) предлагат реалистичен експеримент с поляризиращи фотони [12] за проверка на ефекта на АПР. Но смисъла на АПР-Бом изяснява Джон Бел

³*David Bohm* (1917 – 1992), докторант на Опенхаймер (*Oppenheimer*), след войната е асистент в Принстънския университет, има близък контакт с Айнщайн. Повикан на разпит (1949) от *House Un-American Activities Committee* (НУАС), той отказва да донася за свои колеги, подозирани комунисти, позовавайки се на „Петата поправка“, [9, 10]. Арестуван през 1950 г., той е оправдан по всички обвинения и освободен през май 1951 г., но популярният принстънски президент Харолд Додс (*Harold Dodds*) отказва да възобнови контракта му. Айнщайн иска да го вземе като асистент, но Опенхаймер, от 1947 г. директор на Института, не му позволява. Бом е принуден да емигрира, отначало в Бразилия (там му отнемат американския паспорт от посолството), после – през Израел – за Англия. Неговата статия [11] за „скрити параметри“ в квантовата теория започва да се цитира усилено едва 30 години след публикуването ѝ.

(1928 – 1990). Роден и учил в Белфаст, Северна Ирландия, той е заинтригуван от основите на квантовата теория още от училище [13]. Рано осъзнава предубеждението против тази тема. За него тя е хоби: той си изкарва хляба с реакторна физика и физика на високите енергии в *Harwell* край Оксфорд от 1949 г. и в CERN, Женева, след 1960 г. Колегата му в ЦЕРН, Велтман (*Martinus Veltman*), цени приноса на Бел в общите им работи, довели до Нобеловата му награда (заедно с Т'Хуфт (*Gerard 't Hooft*), 1999), но пише за занятията на Бел с квантова теория „глупост, която не става за нищо реално“ ([14, с. 180]). Бел има и вътрешен стимул за „реални занятия“. Година преди смъртта си той казва на Гирарди: „*ти знаеш колко важни за мен са фундаменталните проблеми. Обаче, трябва да кажа, че да се посветиш само на тях е лукс. Човек трябва да прави и нещо по-практично, за да му плащат. Затова аз съм свързан в ЦЕРН с физиката на ускорителя*“ ([15, §3.10, с. 44]). Когато Яух (*J.-M. Jauch*) от Университета в Женева говори в ЦЕРН през 1963 г. за усиляване на „теоремата на фон Нойман за невъзможност на скрити параметри в квантовата теория“, Бел го посреща на нож: той знае, че моделът „вълна-пилот“ на де Бройл-Бом [12] опровергава подобна забрана. Бел предпочита да спори с Яух⁴, сведущ защитник на ортодоксалната интерпретация на квантовата теория, отколкото да слуша лековерни съмишленици ([14, с. 188]). На 23.11.1963 г. (ден след убийството на Кенеди!) съпрузите Бел заминават за Станфорд и Джон може да отдели повече време на своето хоби. Отговорът му на Яух и, по-общо, критиката му на забраната на фон Нойман, се съдържат в обзорна статия *On the Problem of Hidden Variables in Quantum Mechanics* ([4, Глава 1]). Когато статията излиза (1966 г. – с две години закъснение), Бел получава писмо от Розенфелд (пазителят на олтара на починалия през 1962 г. Бор): „Гледам на Вашето ловуване на скрити параметри като прахосване на Вашия талант; ...“ (виж увода на [16]). Всичко в последвалата втора „американска“ статия на Бел, пратена вече от Брандайс, е необичайно: от заглавието *On the Einstein – Podolsky – Rosen paradox* – закрита тема, след като Бор е „изяснил недоразумението“ преди 30 години; от избора на журнала – първи том на „Физика“, списание, основано от Филип Андерсън (*P. W. Anderson*) (Нобелова награда, 1977) и Матиас (*B. Matthias*) (с название на английски, френски и руски/български, с амбиция да играе роля подобна на *Harper's* – популярното литературно списание), но просъществувало едва до 1968 г. – до диапазона от посрещналите я реакции – от игнориране и безразличие до свръхпохвалата на Хенри Стап (*Henry Stapp*) (от

⁴Увлекателно пише за този епизод, неузнаваем в късния „Галилеев диалог“ на Яух, Луиза Гилдер (*Louisa Gilder*) [10]; от увода ѝ разбираме, че [2], отричана до 1964 г., 40 години след [17] е далеч най-цитираната статия на Айнщайн.

Бъркли): „Теоремата на Бел е най-дълбокото откритие в науката“⁵.

Ще скицираме един от многото варианти на теоремата на Бел⁶. Да си мислим (в постановката на АПР-Бом), че синглетно (безспиново) състояние $|s=0\rangle$ се разпада на две частици X и Y със спин $1/2$. Удвоената проекция на спина на всяка от тях може да взема две стойности, ± 1 . Бел показва, че квантовата механика нарушава предположението за *локалност* (или отсъствие на действие на разстояние). От локалността следва, че за всяко направление с единичен вектор \mathbf{x} , $Z(\mathbf{x})$, където $Z = X, Y$, е зададена случайна променлива с предопределени (две възможни) стойности. Предопределеността на $Y(\mathbf{x})$ следва от локалността, от пространственото разделение на X и Y , и от избора на изходното състояние със спин нула. Наистина, щом няма действие на разстояние, мерене на $X(\mathbf{x})$ не може да повлияе на Y , а изборът на $|s=0\rangle$ води до фиксиране на $Y(\mathbf{x})$:

$$Y(\mathbf{x}) = -X(\mathbf{x}) \text{ за всяко } \mathbf{x} (X(\mathbf{x}) = \pm 1); \quad (1)$$

това означава, че $Y(\mathbf{x})$ е било фиксирано (преди измерването на $X(\mathbf{x})$). За да покажем, че това противоречи на квантовата механика, е достатъчно да разгледаме три подходящо избрани направления на спина: $\mathbf{x} = \mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c}$. Бел използва ученическа математика и елементарни понятия от теория на вероятностите. Тъй като поне две от трите величини $X(\mathbf{a}), X(\mathbf{b}), X(\mathbf{c})$, всяка от които взема две стойности, трябва да са равни, можем да напишем (символът U във формулата има смисъл на *или*, а вероятността на достоверното събитие – че една от двете взаимно изключващи се възможности се реализира, е единица):

$$\text{Prob}(\{X(\mathbf{a}) = X(\mathbf{b})\} \cup \{X(\mathbf{b}) = X(\mathbf{c})\} \cup \{X(\mathbf{c}) = X(\mathbf{a})\}) = 1,$$

и значи

$$\text{Prob}(X(\mathbf{a}) = X(\mathbf{b})) + \text{Prob}(X(\mathbf{b}) = X(\mathbf{c})) + \text{Prob}(X(\mathbf{c}) = X(\mathbf{a})) \geq 1;$$

оттук и от (1) следва:

$$\text{Prob}(X(\mathbf{a}) = -Y(\mathbf{b})) + \text{Prob}(X(\mathbf{b}) = -Y(\mathbf{c})) + \text{Prob}(X(\mathbf{c}) = -Y(\mathbf{a})) \geq 1. \quad (2)$$

Това е неравенството на Бел във формулировката на [19]. Ще покажем, че то се нарушава в квантовата механика при определени ъгли между векторите \mathbf{a}, \mathbf{b} и \mathbf{c} .

⁵Стап и Клаузер са между физиците от *Lawrence Berkeley Laboratory*, които се присъединяват към хипитата през 70-те години на XX в. и участват в т.нар. *Fundamental Fysics Group* (FFG) [18] (виж също [14, с. 279 – 281]).

⁶Виж [19] и статията на Жан Брикмон (*Jean Bricmont*) [20]; последната формулировка на Бел (1975) е глава 7 от [4].

Квантовата корелационна функция между $X(\mathbf{a})$ и $Y(\mathbf{b})$ се дава с

$$E(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = -\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = -\cos\theta = \text{Prob}(X(\mathbf{a}) = Y(\mathbf{b})) - \text{Prob}(X(\mathbf{a}) = -Y(\mathbf{b})) \quad (3)$$

$$(\mathbf{a} \cdot \mathbf{a} = 1 = \mathbf{b} \cdot \mathbf{b}).$$

Първото равенство се получава като средна стойност в състоянието $|\mathbf{s}=0\rangle$ на тензорното произведение на $\sigma_{\mathbf{a}}$ и $\sigma_{\mathbf{b}}$, а изразът с вероятности отчита, че $X(\mathbf{a})$ и $Y(\mathbf{b})$ взимат само по две стойности. От (3) и от $\text{Prob}(X(\mathbf{a}) = Y(\mathbf{b})) + \text{Prob}(X(\mathbf{a}) = -Y(\mathbf{b})) = 1$ намираме:

$$\text{Prob}(X(\mathbf{a}) = -Y(\mathbf{b})) = \frac{1}{2}(1 + \cos\theta) \quad (= \frac{1}{4} \text{ за } \theta = 120^\circ, \cos\theta = -\frac{1}{2}). \quad (4)$$

Ако изберем ъгъла между \mathbf{a} и \mathbf{b} , \mathbf{b} и \mathbf{c} , \mathbf{c} и \mathbf{a} равен на $\theta = 120^\circ$, то неравенството на Бел се нарушава (лявата част на (2) е $3/4 < 1$).

Възприемането на нестандартните идеи е бавно и мъчително. Първ реагира на теоремата на Бел Абнър Шимони (*Abner Shimony*)⁷ (1928 – 2015) – философ-физик (докторска дисертация по философия при Карнап (*Rudolf Carnap*), Йейл (*Yale*), 1953 г., и по физика при Юджин Уигнър (*Eugene Wigner*), Принстън (*Princeton*), 1962 г. През 2002 г., 20 години преди да получи Нобеловата награда, Клаузер свързва предубеждението срещу занимания с основи на квантовата механика с политическото преследване на Бом. Той пише [3, с. 72]: наред с клеймото за „неамериканска дейност“, наложено от сенатора Макарти (*Joe McCarthy*) и от НУАС, физическата общност започна да поставя мощно вторично клеймо на всеки, позволил си да обсъжда основите на квантовата механика. Това клеймо дълго надживя ерата на Макарти и продължи през 70-е и 80-е години. Всеки, който си позволяваше да постави под въпрос основите на квантовата механика се обявяваше за „шарлатан/*quack*“. Естествено, „шарлатаните“ трудно си намират прилично място в професията. Наистина, Айнщайн, де Бройл и Шрьодингер, докато са живи, критикуват интерпретацията на теорията и явно не са *quacks* – те са Нобелови лауреати! Вместо това, мълвата сред физиците гласеше, че те са изкуфели. Това не е шега. Лично на мен като студент многократно са ми казвали, че тези хора са сенилни и не бива да се доверяваме на техните мнения в това отношение⁸. Това клеймо имаше сериозни последици във

⁷Статията на Бел намери своя критичен читател, и то във Философския факултет на MIT – описано в [9].

⁸Спомням си неуталожено възмущение на Хелън Дукас (*Helen Ducas*) (1896 – 1982), дългогодишна секретарка и помощница на Айнщайн, 10 години след елогията на Опенхаймер, 1965, включваща думите: „*Айнщайн прекара годините си [в Принстън], първо, опитвайки се да покаже, че в квантовата механика има противоречия, ... каквито няма*“. След още 30 години за критиките в парижката реч на Опенхаймер и за реакциите, породени от тях, бе написано в [21].

физиката. До средата на 1970-те, ако ръкопис, засягащ основите на квантовата теория, постъпи във *Physical Review*, редакторът Гудсмит (*Goudsmit*) го праща на рецензент с инструкция да го отхвърли, ако той не е едновременно, както математически обоснован, така и даващ нови опитни предсказания⁹. Клаузер така и не получава постоянно професорско място в Университета. (Работи като физик-изследовател в национална лаборатория). Той и паралелно Абнър Шимони със своя докторант Майкъл Хорн (*Michael Horne*) (1943 – 2019) преформулират теоремата на Бел [22] през 1969 г. за реален експеримент, в който се мерят поляризации на сплетени фотони. Докато работи над експеримента (с докторанта Фрийдман (*Stuart Freedman*) [23] в Бъркли), Клаузер пътува до своята *Alma Mater, Caltech*, за среща с „професор Файнман“. Файнман е нетърпелив с него: „Когато намериш противоречие с опитните предсказания на квантовата механика, ела пак и тогава ще дискутираме *твоя* проблем“ [3]. Само Бел го окуражава (в писмо) да завърши експеримента. И след успешния опит, потвърдил съществуването на сплетени състояния, колегите му от Колумбийския университет не се впечатляват: „Ние ти го казвахме [че ще потвърдиш стандартната квантова механика]. Престани да си губиш времето, почни да се занимаваш с реална физика“. В този момент от кариерата на Клаузер единственото, което му се признава е, че умее да прави опити и той е приет на работа в *Lawrence Livermore National Laboratory*. Бел, както видяхме, се спасява, като крие своето хоби; когато Ален Аспе говори с него, 10 години след опита на Клаузер, за своя проектиран по-прецизен експеримент, първият въпрос, който Бел му задава, е: „Имате ли постоянна работа?“. Иначе е рисковано [3, 24]. Бел, 1972, е избран член на *Royal Society* за резултати, които не включват неговата теорема от 1964 г... Ако Клаузер не крие възмущението си, Бел отбелязва пренебрежението към любимата му тема с мека ирония ([25, 3]): „Не само нашата гледна точка рядко се споделя, но интересът към подобни въпроси е малък. Типичният физик чувства, че на тях отдавна е отговорено и че ще разбере точно как, ако някога може да им отдели 20 минути да помисли“.

През 1982 г., 10 години след като е изгонил Клаузер от кабинета си, Файнман разбира (сам си извежда?) теоремата на Бел и значението на опитите, стимулирани от нея, изнася доклад на конференция, излязъл като [26]. Подобно на Айнщайн през 1905, не цитира никого, но поставя началото на нова наука *квантови пресмятания* [27]. След като извежда подобно неравенство (без да споменава Бел), Файнман казва: „Това е причината квантовата механика да не може да се имитира от локален класически компютър. Забавлявах се да свия

⁹В отговор физиците създават полулегално циклостилно списание *Epistemological Letters*, което се разпраща (от швейцарска фондация) по списък. От 1973 до 1984 г. излизат 36 броя (статии на Шимони, Бел, Клаузер, Холм, ...).

трудността все повече и повече. Изглежда почти смехотворно, че можеш да я сведеш до въпроса ..., че нещо е по-голямо от друго“ [26, с. 485].

В интервю в *Caltech*, две седмици преди обявяването на Нобеловата награда, Клаузер казва: „Липсата на локален реализъм показва, че един квантово механичен „кюбит“ не може да се локализира в една пространствено-времева кутия. Този факт е в основата на квантовата информатика и на квантовата криптография... Националната квантова инициатива на САЩ за 2019 г. (за 1,28 млрд. долара) и Израелската (2019) национална квантова инициатива се основават на реалността на преплитането. Конфигурацията на китайската Мициус квантовозасекретена информационна сателитна система е почти идентична с експеримента на Фридман-Клаузер. Тя използва CHSH неравенство да провери, че квантовото сплитане се запазва до външното пространство“.

Приемането (достатъчно скептично), шумната реклама на квантовите компютри (виж [28, §5]) е уместно и днес. Съвременен обзор на темата е даден в двете статии [27]. И днес ни учат, че в спора между Бор и АПР Бор е прав, Айнщайн греша. По същия начин може да се каже, че Христофор Колумб е грешел, че се надявал да намери нов път за Индия: той е открил Америка! АПР първи посочват ролята на квантовото преплитане. В течение на 16 години тяхната работа е посрещана с отрицание и игнориране. Пренебрежението продължава и след като Дейвид Бом предлага реалистичен вариант на ефекта в своя учебник и дори се засилва, когато Бом възражда модела на вълната – пилот на де Бройл, който противоречи на „забраната на фон Нойман“. И след (бавно оценената) революционна работа на Бел [17], трудният опит на Клаузер (1972) се съпровожда с равнодушие и скептицизъм. Значението на квантовото преплитане започна постепенно да получава признание сред физическата общност едва след лекцията на Файнман (1981) и експеримента на Ален Аспе (1982). Темата става дори модна при появата на *квантовото разпределение на ключове* [29] на полския професор в Оксфорд Артур Екерт година след смъртта на Джон Бел. Работите по основи на квантовата теория не са най-популярните (това би противоречало и на разбиранията на Бел), но клеймото върху тях е снето. Превъзходната статия *Bell's theorem*, [30], днес се чете с уважение.

Опитите [31-33] за съчетаване на неравенствата на Бел с локалност не убеждават. За боящите се, че квантовото сплитане противоречи на релативистичната причинност [34], ще приведем внушаващите илюзия за разбиране думи на популярния американски компютърен теоретик Скот Ааронсън (*Scott Aaronson*), адресирани към широка аудитория: „Ако искате да симулирате преплитане в класически свят, то ще ви трябва въздействие по-бързо от светлината. Но това не значи, че квантовото преплитане ви позволява да сигнализирате по-бързо от светлината. Квантовият свят строго пази

Айнщайновата граница на скоростта, макар че класическото подражание на света би я нарушило“.

Литература

- [1] T. Maudlin, *What the Nobel prize gets wrong about quantum mechanics*, IAI 6 October, 2022.
- [2] A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen, *Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?* Phys. Rev. **47** (1935) 777-780.
- [3] J.F. Clauser, *Early history of Bell's theorem*, in: R.A. Bertlmann, A. Zeilinger, *Quantum [Un] speakables From Bell to Quantum Information*, Springer, 2002, pp. 61-98.
- [4] J.S. Bell, *Speakable and Unsayable in Quantum Mechanics*, Collected papers in Quantum Mechanics, Cambridge Univ. Press, 1987 (всички позовавания на Бел в текста са от тази книга).
- [5] A. Whitaker, *Einstein, Bohr and the Quantum Dilemma*, Cambridge Univ. Press, 1996.
- [6] E. Schrödinger, *Discussion of probability relations between separated systems*, Proc. Cambridge Phil. Soc. **31** (1935) 555-563, **32** (1936) 446-451; *Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik*, Naturwissenschaften **23** (1935) 807-812, 823-828, 844-849; J.D. Trimmer: *The present situation in quantum mechanics: a translation of Schrödinger's "Cat paradox" paper*, Proc. Amer. Phil. Soc. **124**:5 (1980) 323-338.
- [7] W. Furry, *Note on the quantum-mechanical theory of measurement*, Phys. Rev. **49** (1936) 393-99.
- [8] A. Aspect, *Bell's inequality test: more ideal than ever*, Nature **398** (1999) 189-190
- [9] L. Gilder, *The Age of Entanglement: When Quantum Physics Was Reborn*, Knopf, NY 2008.
- [10] F.D. Peat, *Infinite Potential: The Life and Time of David Bohm*, Addison-Wesley, Reading, 1997.
- [11] D. Bohm*, *A suggested interpretation of the quantum theory in terms of "hidden" variables*, 1, 2, Phys. Rev. **85**:2 (1952) 166-179, 180-193 (Palmer Phys. Lab., Princeton Univ.; *Now at São Paulo).
- [12] D. Bohm, Y. Aharonov, *Discussion of experimental proofs for the paradox of Einstein, Rosen and Podolsky*, Phys. Rev. **108** (1957) 1070-1076.
- [13] P.G. Burke, I.C. Percival, *John Stewart Bell 1928-1990*, <https://royalsocietypublishing.org/3-17>.
- [14] A. Whitaker, *John Stewart Bell and Twentieth-Century Physics*, Oxford Univ. Press, 2016.
- [15] *Quantum Nonlocality and Reality, 50 Years of Bell's Theorem*, Edited by M. Bell, S. Gao, Cambridge University Press, 2016.
- [16] O. Freire Junior, *Alain Aspect's experiments on Bell's theorem, a turning point in the history of the research on the foundations of quantum mechanics*, European Phys. J. D; arXiv:2212.05535.
- [17] J.S. Bell, *On the Einstein – Podolsky – Rosen paradox*, Physics Physique Физика **I** (1964) 195-200 (Eds. P.W. Anderson, Nobel Prize 1977, B.T. Matthias); see also [4], Chapter 2, pp. 14-21.
- [18] D. Kaiser, *How the Hippies Saved Physics: Science, Counterculture and the Quantum Revival*, W.W. Norton & Co, 2011; Scientific American (Excerpt), January 30, 2012.
- [19] D. Dürr, S. Goldstein, R. Tumulka, N. Zanghi, *John Bell and Bell's theorem*, Dec. 27, 2004 in: D.M. Borchert (ed.), *Encyclopedia in Philosophy*, Macmillan Reference, 2005.
- [20] J. Bricmont, *What did Bell really prove?* in [15] **4**, pp. 49-78.
- [21] S.S. Schweber, *Einstein and Oppenheimer: interactions and intersections*, Sci. Context **19**:4 (2006).
- [22] J.F. Clauser, M.A. Horne, A. Shimony, R.A. Holt, *Proposed experiments to test local hidden-variable theories*, Phys. Rev. Lett. **23** (1969) 880-884 (статия с над 8500 цитирания!).
- [23] S.J. Freedman, J.F. Clauser, *Experimental test of local hidden-variable theories*, Phys. Rev. Letters **28**:14 (1972) 938-941.
- [24] A. Aspect, *From Einstein, Bohr, Schrödinger to Bell and Feynman: a new quantum revolution?* in: *Niels Bohr (1913-2013)*, Séminaire Poincaré XVII, 2013, pp. 99-123.

- [25] Bell, J. S. in *Speakable and Unsayable in Quantum Mechanics* 14–21 (Cambridge Univ. Press, 1987).
- [26] R.P. Feynman, *Simulating physics with computer*, Int. J. Theor. Phys. **21**:6/7 (1982) 457-488.
- [27] J. Preskill, *Quantum computing 40 years later*, arXiv:2106.10522v2 (see also 2208.08064).
- [28] L. Hadjiivanov, I. Todorov, *Quantum entanglement*, Bulg. J. Phys. **42** (2015) 28-42, arXiv:1506.04262; *Квантово преплитане*, Светът на физиката, **38**:3 (2015) 243-254.
- [29] A. Ekert, *Quantum cryptography based on Bell's theorem*, Phys. Rev. Lett. **67**:6 (1991) 661 – 663
- [30] S. Goldstein, T. Norsen, D.V. Tausk, N. Zanghi, *Bell's theorem*, Scholarpedia **6**(10) (2011) 8378.
- [31] L. Vervoort, *Bell's theorem: two neglected solutions*, arXiv:1203.6587v2; 1403.0145 [quant-ph].
- [32] K.B. Wharton, N. Argaman, Colloquium: *Bell's theorem and locally mediated reformulations of quantum mechanics*, Rev. Mod. Phys. **92** (2020) 21002; arXiv:1905.04313v3 [quant-ph].
- [33] J.R. Hance, S. Hossenfelder, T.N. Palmer, *Supermeasured: violating Bell's stat. independence without violating physical statistical independence*, Found. Phys. **52**:4 (2022) 81; arXiv:2211.01331v2.
- [34] A. Shimony, *Unfinished work: a bequest*, in: *Quantum Reality, Relativistic Causality, and Closing the Epistemic Circle*, Western Ontario Series, Springer, Dordrecht. 2009, pp. 479-491.

PHILOSOPHY AND PHYSICS: QUANTUM ENTANGLEMENT

Ivan Todorov

A handful of outcasts (the „senile“ Einstein, the exiled David Bohm, the „wasting his talent“ John Bell, the rejected for a teaching position John Clauser, ...) rebelled against the sanctity of the Copenhagen interpretation of quantum mechanics and discovered a new phenomenon: *the quantum entanglement*. Its study and the attempts to apply it continue to this day.

НОБЕЛОВАТА НАГРАДА ПО ФИЗИКА ЗА 2022 ГОДИНА НАРУШАВАНЕ НА НЕРАВЕНСТВАТА НА БЕЛ В ЕКСПЕРИМЕНТИ СЪС ЗАПЛЕТЕНИ ФОТОНИ

Людмил Хадживанов

На 4 октомври 2022 г. Шведската академия на науките обяви, че присъжда ежегодната Нобелова награда по физика „за експерименти със заплетени фотони, установяващи нарушението на неравенствата на Бел и проправящи пътя на квантовата информационна наука“ на французина Ален Аспе (*Alain Aspect*), американеца Джон Клаузер (*John F. Clauser*) и австриеца Антон Цайлингер (*Anton Zeilinger*). Нобеловият комитет съобщи, че награждава всеки от тримата за проведените новаторски експерименти „с със заплетени квантови състояния, при които две частици се държат като едно цяло, въпреки че са разделени“, като техните резултати са разчистили пътя за нова технология, основаваща се на квантовата информатика [1]. Така някои неизползвани доскоро ефекти на квантовата механика започват да намират важни приложения в оформящата се изследователска област, включваща квантови компютри, квантови мрежи и квантово криптирана комуникация.

Ключовият фактор за това развитие е, че квантовата механика позволява две или повече частици да съществуват в състояния, наречени заплетени (*entangled¹ states*). Това, което се случва с една от частиците в заплетено състояние, мигновено определя какво се случва и с другата, даже когато те са на голямо разстояние. Разбира се, в една класическа теория това се случва под път и над път – например заради законите за съхранение на импулса или ъгловия момент – и не предизвиква противоречие.

През 1935 г. Айнщайн, Подолски и Розен [2] обаче показват, че в квантовата механика възможността за такава конфигурация поставя неприятната дилема или да се пренебрегне принципът за локалност (ход, равносilen на нарушаване на табу), или да се признае, че квантовата механика не е пълна теория. След избухналият за кратко спор между Айнщайн и Бор по този повод, в който се включва и Шрьодингер, настъпва дълго затишие. През това време квантовата механика постига грандиозни успехи.

Въпросът дали взаимната зависимост (корелация) на преплетени състояния не се дължи на съществуването на т.нар. „скрити променливи“, които „подказват“ на частиците какви да бъдат резултатите от експеримента – алтернатива,

¹Смисълът на английския глагол „*entangle*“ е „заплитам, омотавам, впримчвам“ – както рибата се оплита в мрежата така, че не може да се освободи.

поддържана от физици като Дейвид Бом [3, 4] и Луи де Бройл, при която квантовата механика би приела формата на ефективна статистическа теория – остава задълго отворен. Тъй като парадоксът на Айнщайн-Подолски-Розен възниква при едновременното измерване на некомутиращи променливи, една решаваща стъпка към реалната проверка какво всъщност става е предложението вместо непрекъснати (x и p , $[x, p] = i\hbar$) да се използват дискретни променливи като проекции на електронния спин ($[s_x, s_y] = i\hbar/2 s_z$ и т.н. (виж [3, стр. 614]) в експерименти с магнити на Щерн-Герлах, или фотонни поляризации [5].

През 1964 г. северноирландският физик Джон Бел извежда математично неравенство, носещо сега неговото име [6]; по-късно от него, както и от други, се предлагат различни варианти на неравенството на Бел. Общото между тях е обстоятелството, че ако съществуват скрити променливи, определена алгебрична сума от корелациите между няколко локални измервания не може да надминава по абсолютна стойност определена граница. Когато измерваните (от Алис и Боб) случайни величини, съответно A и B , могат да приемат само две стойности, конвенцията на Бел е последните да бъдат приемани за ± 1 . При тези условия във формулировката на [7] (виж също статия 4 на Джон Бел в [8, стр. 29 – 39] или напр. [9]) споменатата граница в неравенството на Бел е равна на 2.

Трябва да се подчертае, че самият Бел се отнася най-сериозно към идеята за съществуването на скрити променливи и аргументирано отхвърля в превъзходната си статия [10] всички съществуващи към момента критики (на фон Нойман, Яух-Пирон и Глисън) към нея като математически верни, но основаващи се на физически несъстоятелни предположения. В [6] той налага само физически смисленото условие за локалност² и показва, че в мисления експеримент, предложен от Д. Бом, никоя теория със скрити променливи не може да възпроизведе при тези условия всички статистически предсказания на квантовата механика³.

Въодушевен от идеите на Бел, Джон Клаузер ги развива, довеждайки ги, в сътрудничество със Стюарт Фридман, след преодоляването на редица трудности от различен характер към 1972 г., до реален експеримент със заплетени фотони [11]. Резултатите от него решително потвърждават предсказанията на квантовата механика, видимо нарушавайки неравенството на Бел.

Математическото описание на експерименталната постановка, предложена в [7], е следното. Обект на измерване (да речем, от Алис и Боб) са поляризициите

²Резултатите от всеки експеримент зависят явно само от характеристиките на апаратурата, участваща пряко в него.

³В този резултат се съдържа определена ирония [7]: за Айнщайн квантово-механичните предсказания, отнасящи се за пространствено раздалечени системи, са несъвместими с условието за локалност, *освен ако не съществуват скрити променливи*.

на фотони, които се излъчват по двойки в противоположни посоки, в квантово-механично състояние, зададено от

$$\Psi = \frac{1}{\sqrt{2}} (|+\rangle \otimes |+\rangle + |-\rangle \otimes |-\rangle) \in \mathbb{C}^2 \otimes \mathbb{C}^2. \quad (1)$$

Векторите $|+\rangle$ и $|-\rangle$ задават ортонормиран базис в \mathbb{C}^2 , отговарящ на линейна поляризация на всеки от фотоните в две (произволно избрани, заради очевидната ротационна инвариантност на Ψ , но фиксирани) перпендикулярни направления⁴. Състоянието, съответстващо на Ψ е *заплетено*⁵, тъй като Ψ не може да се представи като $v_1 \otimes v_2$ с v_1 и v_2 в първото и, съответно, второто копие на \mathbb{C}^2 .

Всеки от измервателните апарати се състои от поляризатор и детектор на фотони, като поляризаторите на Алис и Боб могат да бъдат независимо ориентирани на ъгли α , респ. β . Съответните собствени вектори следователно ще бъдат завъртени спрямо референтните,

$$\begin{pmatrix} |\alpha, +\rangle \\ |\alpha, -\rangle \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} |+\rangle \\ |-\rangle \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} |\beta, +\rangle \\ |\beta, -\rangle \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \beta & \sin \beta \\ -\sin \beta & \cos \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} |+\rangle \\ |-\rangle \end{pmatrix}. \quad (2)$$

при което двойките вектори $|\alpha, \varepsilon\rangle$, $\varepsilon = \pm$ и $|\beta, \varepsilon'\rangle$, $\varepsilon' = \pm$ образуват отново ортонормирани базиси в \mathbb{C}^2 . Следвайки Бел, дефинираме ермитовите оператори $A(\alpha)$ и $B(\beta)$ чрез тяхното спектрално разложение,

$$A(\alpha) = \sum_{\varepsilon=\pm} \varepsilon |\alpha, \varepsilon\rangle \langle \alpha, \varepsilon|, \quad B(\beta) = \sum_{\varepsilon'=\pm} \varepsilon' |\beta, \varepsilon'\rangle \langle \beta, \varepsilon'|, \quad (3)$$

така че резултатът от измерването напр. на Алис ще бъде 1 в състояние $|\alpha, +\rangle$ и -1 в състояние $|\alpha, -\rangle$ и аналогично за Боб.

Съгласно постулатите на квантовата механика, средната стойност (очакването) на оператора $A(\alpha) \otimes B(\beta)$ в състоянието Ψ се задава с корелатора

⁴Векторите на поляризация лежат от своя страна в равнини, перпендикулярни на импульсите на фотоните.

⁵ $|\Psi\rangle \langle \Psi|$, разбира се, е чисто състояние, т.е. едномерен ортогонален проектор върху $\mathbb{C}^2 \otimes \mathbb{C}^2$. Неговата матрица в стандартния базис на тензорното произведение е $\frac{1}{2} \sum_{\varepsilon, \varepsilon'=\pm} w_{\varepsilon, \varepsilon'} \otimes w_{\varepsilon, \varepsilon'}$, където $w_{\varepsilon, \varepsilon'}$ са матриците на Вайл (с всички матрични елементи равни на 0 освен този, отговарящ на индекса на матрицата). При редукция до едната подсистема (вземане на следа по другата) преплетените състояния възпроизвеждат нетривиални матрици на смесване. В случая на Ψ смесването е максимално: $\text{Tr}_B |\Psi\rangle \langle \Psi| = 1/2 \mathbb{I}_A$.

$$E^\Psi(\alpha, \beta) = \langle \Psi | A(\alpha) \otimes B(\beta) | \Psi \rangle = \sum_{\varepsilon, \varepsilon' = \pm} \varepsilon \varepsilon' |\langle \Psi | \alpha, \varepsilon \rangle \otimes \langle \Psi | \beta, \varepsilon' \rangle|^2 = \quad (4)$$

$$= \frac{1}{2} \sum_{\varepsilon, \varepsilon' = \pm} \varepsilon \varepsilon' |\langle + | \alpha, \varepsilon \rangle \langle + | \beta, \varepsilon' \rangle + \langle - | \alpha, \varepsilon \rangle \langle - | \beta, \varepsilon' \rangle|^2 =: \sum_{\varepsilon, \varepsilon' = \pm} \varepsilon \varepsilon' E_{\varepsilon \varepsilon'}^\Psi(\alpha, \beta)$$

(второто равенство следва от (3)). Величините

$$E_{\varepsilon \varepsilon'}^\Psi(\alpha, \beta) = \frac{1}{2} |\langle + | \alpha, \varepsilon \rangle \langle + | \beta, \varepsilon' \rangle + \langle - | \alpha, \varepsilon \rangle \langle - | \beta, \varepsilon' \rangle|^2 \quad (5)$$

се изчисляват лесно от (2)

$$E_{++}^\Psi(\alpha, \beta) = E_{--}^\Psi(\alpha, \beta) = \frac{1}{2} \cos^2(\alpha - \beta), \quad (6)$$

$$E_{+-}^\Psi(\alpha, \beta) = E_{-+}^\Psi(\alpha, \beta) = \frac{1}{2} \sin^2(\alpha - \beta),$$

така че⁶

$$E^\Psi(\alpha, \beta) = E_{++}^\Psi(\alpha, \beta) - E_{+-}^\Psi(\alpha, \beta) - E_{-+}^\Psi(\alpha, \beta) + E_{--}^\Psi(\alpha, \beta) = \quad (7)$$

$$= \cos 2(\alpha - \beta).$$

В постановката на [12], както Алис, така и Боб, ориентират поляризаторите си по два различни начина (зададени чрез ъглите α, α' , съответно β, β') и се пресмята стойността на комбинацията

$$S_{QM}(\alpha, \beta, \alpha', \beta') := E^\Psi(\alpha, \beta) - E^\Psi(\alpha, \beta') + E^\Psi(\alpha', \beta) + E^\Psi(\alpha', \beta'). \quad (8)$$

При наличие на скрити променливи (HV) неравенството на Бел-CHSH (от инициалите на авторите на [7]) гласи

$$|S_{HV}(\alpha, \beta, \alpha', \beta')| \leq 2. \quad (9)$$

Лесно се показва, че при подходящо подобрени ъгли квантово-механичната стойност (8) го нарушава. За целта избираме такава конфигурация, че

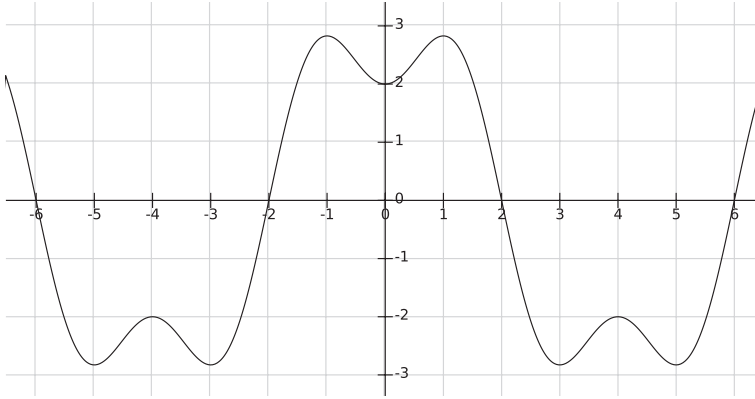
$$\alpha - \beta = \beta - \alpha' = \alpha' - \beta' = \theta \Rightarrow \alpha - \beta' = 3\theta, \quad (10)$$

при което

⁶Това, че (7) зависи само от взаимната ориентация, т.е. от разликата между ъглите за двата поляризатора, е очакван резултат, предвид ротационната инвариантност на състоянието Ψ .

$$S_{QM}(\alpha, \beta, \alpha', \beta') = 3 \cos 2\theta - \cos 6\theta. \quad (11)$$

Графиката на тази функция на θ е дадена във Фигура 1.



Фигура 1. Графика на функцията $y = 3 \cos 2\theta - \cos 6\theta$ при $\theta = \frac{\pi}{8} x$

Максимално нарушение на неравенството на Бел (с повече от 41% !) се постига в този случай при взаимни ъгли $\theta = \pi/8 = 22,5^\circ$ и $\theta = 3\pi/8 = 67,5^\circ$, за които $|S_{HV}(\alpha, \beta, \alpha', \beta')| = 2\sqrt{2}$. Според теоремата на Цирелсон [12] тази стойност е горна граница на възможното нарушение изобщо.

Семейството на Джон Клаузер е една цяла династия, свързана с Калифорнийския технологичен институт (*Caltech*) в Пасадина край Лос Анджелис. Баща му Франсис, виден специалист по аеронавтика, се е дипломирал и защитил дисертация в него (също както и неговият брат-близък). Майка му Кетрин Макмилан е библиотекарка в Института, а нейният брат (вуйчото на Джон) Едуин Макмилан, също възпитаник на Калтек, е синтезирал през 1940 г. на циклотрона на Ърнест Лоурънс първия трансуранов елемент – нептуния, с атомен номер 93, за което получава Нобеловата награда по химия през 1951 г. заедно с Глен Сиборг⁷. Бащата на Джон, изпитващ изначално недоверие към квантовата механика, води дълги дискусии с него още по времето, когато той е в гимназията. „*Не вярвай на всичко, което ти казват. Винаги се обръщай към експерименталните данни – общоприетото мнение често е лоша интерпретация на това, което е било наблюдавано*“, убеждава го той [13].

През 1967 г., работейки по дисертацията си по измерване на космичния микровълнов фон в Колумбийския университет в Ню Йорк, Клаузер попада случайно на статията на Бел [6], която го заинтересува силно. Той прочита и работата на Бом и Ааронов [5], в която изучаването на свойствата на поляризация

⁷Е. Макмилан конструира също първия електронен синхротрон през 1945 г. и оглавява Националната лаборатория в Бъркли след смъртта на Лоурънс през 1958 г.

на заплетени фотони се посочва като единствения практически възможен тест на парадокса на Айнщайн-Подолски-Розен. Решава да се информира за мнението на мадам Ву, която му е „под ръка“ в Ню Йорк, като ѝ показва работата на Бел. През 1949 г. Ву, заедно с Ървинг Шакнов⁸, е провела първия поляризационен експеримент с фотонни двойки, родени при електрон-позитронна аниhilация [14]. Получените високоенергетични фотони (гама-кванти) обаче не са подходящи за целите на Клаузер. Той търси съмишленици в MIT и късметът му се усмихва на семинар върху работата на Бел, който той изнася там. При обсъждането на възможни процеси, в които се раждат подходящи заплетени фотонни двойки, се оказва, че в аудиторията е наскоро пристигналият от Бъркли постдок Карл Кохер, бивш докторант на Юджин Коминс. Без още да знаят за работата на Бел, през 1966 г. те двамата създават установка за изучаване на корелациите между поляризиациите на двойки нискоенергетични фотони⁹ [15], но провеждат измервания само при ъгли 0° и 90° .

Разполагайки вече с възможен кандидат за провеждане на решаващ експеримент за проверка на теоремата на Бел, Клаузер пише писма на Бел, на Бом и на де Бройл. Получава отговор и от тримата (особено ентусиазиран от Джон Бел, който по-късно си спомня, че първата сериозна реакция на работата му се е съдържала в писмото, получено от един американски студент през 1969 г., пет години след нейната поява). И тримата се съгласяват, че повторното провеждане на експеримента на Кохер-Коминс при междинни ъгли си струва да се направи. Окуражен от подкрепата на тримата най-известни в момента привърженици на идеите на Айнщайн, Клаузер изпраща резюме на своето предложение за провеждане на експеримента, което се появява в бюлетина за Пролетното заседание на Американското физическо общество във Вашингтон през 1969 г. Малко след това от Бостън му се обажда Абнер Шимони, който е стигнал до същото заключение. С докторат от Принстън под ръководството на Вигнер, той е запознат със статията на Бел от 1964 г. почти веднага след нейната поява, както и с експериментите на Ву-Шакнов и Коминс-Кохер. Нещо повече, той вече е натоварил своя докторант Майкъл Хорн да извърши необходимите изчисления, свързани с Коминс-Кохер, и е способствал подобен опит да бъде планиран и в Харвард (с участието на Ричард Холт). Изненадан от ситуацията, Шимони иска от Вигнер съвет как да постъпи и Вигнер го съветва да предложи на Клаузер да направят обща публикация. Всичко това [13] се случва през

⁸*Irving Shakhov* (08.11.1922 – 14.05.1952), обещаващ учен, защитава докторската си дисертация през 1951 г. в Колумбийския университет, но загива в Корейската война.

⁹Първоначалната идея е била експериментът да се използва за демонстрационни цели към лекциите по квантова механика, но след като се оказало, че трябва да се преодолеят значителни трудности, той става предмет на дисертацията на Карл Кохер.

месец март 1969 г., а през октомври великолепната статия на четиримата [7], съдържаща покрай всичко друго и подобрена версия на неравенствата на Бел, се появява във *Physical Review Letters*.

Междувременно Клаузер защитава дисертацията си и получава постдокторска позиция по радиоастрономия в Бъркли. Неговият ентузиазъм допринася не само за това неговият собствен ръководител да се съгласи той да отделя време за (смятания за научно-политически некоректен) тест на квантовата механика, а и проф. Юджин Коминс да му „придаде“ своя нов докторант Стюарт Фридман, за да разработят заедно за целта подобрена версия на техния експеримент с Кохер. Същността на експеримента остава същата – в атоми на калциеви пари, облъчени с интензивна ултравиолетова светлина, се заселва определено възбудено *сферично-симетрично* начално състояние, което се „изсветва“ в каскаден процес от две стъпки до *също сферично-симетрично* крайно състояние¹⁰. Поради тази особеност двата излъчени фотона са с еднаква поляризация и двойката реализира заплетеното квантово състояние Ψ (1).

Клаузер и Фридман обаче подобряват значително условията на експеримента. Те обръщат специално внимание на поляризаторите и на възможността те да бъдат нагласяни точно под различни ъгли. Благоразумният Фридман предупреждава, че работата ще им отнеме много повече време, отколкото Клаузер първоначално допуска и по-късно споделя, че тяхната апаратура вероятно е последният героичен оптичен експеримент, проведен малко преди да настъпи лазерната революция в науката за светлината. Дватамата са в състояние да изпратят за публикуване данните си, които накрая събират в продължение на 200 часа, чак през февруари 1972 г. [11]. Опасяват се, че в Харвард ще ги изпреварят, но резултатите на конкурентите им (които не получават нарушение на неравенствата на Бел) не са публикувани поради недоверието на самите им автори към тях.

Клаузер истински се надява, че техният експеримент с Фридман ще покаже, че квантовата механика греши и дори му казва, че ще напусне физиката, ако не се окаже прав. Резултатът им обаче явно нарушава неравенството на Бел-CHSH¹¹. Вигнер коментира пред Шимони, че ако неравенството на Бел беше потвърдено, това би било много добре за тях, но зле за физиката. Всички по-късни експерименти, използващи същия дизайн, потвърждават резултата, получен за пръв път в [11]. С малки изключения обаче интересът към него е вял; преобладава оценката, че „*един експеримент, поставен с еретични*

¹⁰Процесът е $6\ ^1S_0 \rightarrow 6\ ^1P_1 \rightarrow 4\ ^1S_0$, като двата фотона, с дължина на вълната 5513 Å и 4227 Å са, съответно, в зеления и синия оптичен спектър.

¹¹Клаузер приема залога 2:1, предложен му от Ааронов, и после добросъвестно му изпраща два долара, които Ааронов поставя на стената в кабинета си.

мотиви, който не успява да отхвърли господстващата теория, не може да качи авторите му на кораба за Стокхолм“ [13].

Към този тип експерименти въобще има и основателни забележки. Основните от тях попадат в две групи – съмнения при осигуряването на независимостта на измерванията, извършвани от Алис и Боб, и ниската ефективност на детекторите. Естествено, подобно на „вратичките“ (*loopholes*) в законите, подобни слабости по принцип силно намаляват доверието, в случая към получените резултати.

Локалността, формулирана първоначално от Бел като независимост на измерванията на апаратурите (на Алис и Боб), може да бъде ефективно заместена с по-слабото изискване в т.нар. „принцип за отделимост“ на Айнщайн – изглежда достатъчно Алис да не може по принцип да съобщи на Боб дали е измерила величината A_1 или A_2 преди Боб да реши дали ще измерва B_1 или B_2 . Съгласно Специалната теория на относителността това условие би било спазено със сигурност, ако такова съобщение би трябвало да пътува по-бързо от светлината, за да стигне навреме. Първият, който проектира експеримент, затварящ вратичката с локалността, формулирана по този начин, е Алан Аспе през 1976 г. [16]. Неговата група провежда през 1981 – 1982 г. няколко експеримента. Използвайки вече лазери, за да възбуди калциевите атоми, както и подобрени поляризатори, те постигат много по-добра статистика и най-висока точност, като установяват нарушение на неравенството на Бел с десет стандартни отклонения. Най-впечатляващ е експериментът [17], проведен през 1982 г., при който локалността на измерванията се обуславя от достатъчно бърза промяна на ориентацията на анализаторите посредством специална акусто-оптична апаратура. Тъй като разстоянието от източника до детекторите е около 6 m, това налага промените да могат да бъдат извършвани в рамките на около 20 ns, т.е. с честота 50 MHz. Въпреки огромните усложнения, в експеримента се регистрира ясно нарушение (с пет стандартни отклонения) на неравенството на Бел. През 1998 г. група, ръководена от Цайлингер, доказва нарушение на неравенството при още по-стриктно спазване на условията за локалност, като разстоянието между наблюдателите (Алис и Боб) е около 400 m.

Втората вратичка в експериментите по проверка на неравенството на Бел е свързана с липсата на 100% ефективност на детекторите. Така част от фотоните със сигурност се губят и теоретично, ако Природата работи против нас, те биха могли да бъдат причината за наблюдаваното нарушение. Достатъчна ефективност на детекторите е постигната за пръв път през 2001 г. със заплетени спинови състояния на йони, уловени в йонни капани, а по-късно и в други системи. Удовлетворителни резултати в „затварянето“ и на двете вратички са постигнати чак през 2015 – 2017 [1].

Експериментите на Клаузер и Аспе постепенно привличат вниманието на физическата общност и отварят възможността за използване на преплетени фотони за практически цели, особено в областта на квантовата информатика и квантовата криптография. Преплетените състояния дават например възможност да се заобиколи т.нар. *no-cloning* теорема, забраняваща копирането на едно квантово състояние със запазване на оригинала [18]. Тази забрана на пръв поглед изключва възможността за квантова комуникация на големи разстояния поради неминуемите загуби по пътя, които не могат да бъдат компенсирани чрез използване на междинни усилватели, както се прави в класическия случай. Първото хитроумно предложение за преодоляване на тази трудност чрез паралелно използване на квантова и класическа комуникация (при което Алис комбинира желаното състояние с част от сплетена двойка, споделена с Боб) е направено през 1993 г. [19] и е експериментално изпробвано през 1997 г. Т.нар. „размяна на преплитане“ (*entanglement swapping*) и сродната ѝ квантова телепортация са базирани на подобни идеи. Комбинирани с използване на спътници, тези технологии позволяват квантовите комуникации и квантовото разпределение на ключове да бъдат осъществявани на големи разстояния, като паралелно с това се използват за нови потвърждения на нарушаването на неравенството на Бел-CHSH.

През 1989 г. Даниел Грийнбергер, Майкъл Хорн и Антон Цайлингер изучават четиричастични сплетени състояния, а една година по-късно, заедно с Абнер Шимони в [20], трифотонното състояние (известно като GHZ (от инициалите на трима от авторите на [20], ср. с (1))

$$\Psi_{GHZ} = \frac{1}{\sqrt{2}} (|+++ \rangle + |-- \rangle). \quad (12)$$

Те доказват, че Ψ_{GHZ} притежава изненадващо свойство – то позволява да се тества противоречието между предсказанията на квантовата механика и скритите променливи само с няколко опита, т.е. без да е необходима статистика (виж също Мермин, [21]). През 1999 г. групата на Цайлингер реализира това състояние, а през следващата година доказва експериментално [22], че отново квантовата механика тържествува.

Литература

- [1] The Nobel Committee for Physics, Scientific Background on the Nobel Prize in Physics 2022, <https://www.nobelprize.org/uploads/2022/10/advanced-physicsprize2022.pdf>.
- [2] A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen, Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? *Phys. Rev.* 47 (1935) 777-780.
- [3] D. Bohm, *Quantum Theory*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ (1951).

- [4] D. Bohm, A suggested interpretation of the quantum theory in terms of „hidden“ variables, 1, 2, Phys. Rev. 85:2 (1952) 166-179, 180-193.
- [5] D. Bohm, Y. Aharonov, Discussion of experimental proof for the paradox of Einstein, Rosen, and Podolsky, Phys. Rev. 108:4 (1957) 1070-1076.
- [6] J.S. Bell, On the Einstein-Podolsky-Rosen paradox, Physics Physique Физика 1 (1964) 195-200 (Eds. P.W. Anderson, Nobel Prize 1977, B.T. Matthias); see also [8], Chapter 2, pp. 14-21.
- [7] J.F. Clauser, M.A. Horne, A. Shimony, R.A. Holt, Proposed experiments to test local hidden-variable theories, Phys. Rev. Lett. 23 (1969) 880-884.
- [8] J.S. Bell, Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics, Collected papers in Quantum Mechanics, Cambridge Univ. Press, 1987.
- [9] L. Hadjiivanov, I. Todorov, Quantum entanglement, Bulg. J. Phys. 42:2 (2015) 128-142; arXiv:1506.04262. Вариант на български език: И. Тодоров, Л. Хаджииванов, Квантово преплитане, Светът на физиката 38:3 (2015) 243-254.
- [10] J.S. Bell, On the problem of hidden variables in quantum mechanics, Rev. Mod. Phys. 38:3 (1966) 447-452.
- [11] S.J. Freedman, J.F. Clauser, Experimental test of local hidden-variable theories, Phys. Rev. Lett. 28:14 (1972) 938-941.
- [12] B.S. Cirel'son, Quantum generalizations of Bell's inequality, Lett. Math. Phys. 4:2 (1980) 93-100.
- [13] D. Wick, The Infamous Boundary - Seven Decades of Heresy in Quantum Physics, Copernicus (1996).
- [14] C.S. Wu, I. Shaknov, The angular correlation of scattered annihilation radiation, Phys. Rev. 77:1 (1950) 136-136.
- [15] C.A. Kocher, E.D. Commins, Polarization correlation of photons emitted in an atomic cascade, Phys. Rev. Lett. 18:15 (1967) 575-577.
- [16] A. Aspect, Proposed experiment to test the nonseparability of quantum mechanics, Phys. Rev. D 14:8 (1976) 1944-1951.
- [17] A. Aspect, J. Dalibard, G. Roger, Experimental test of Bell's inequalities using time-varying analyzers, Phys. Rev. Lett. 49 (1982) 1804-1807.
- [18] W.K. Wootters, W.H. Zurek, A single quantum cannot be cloned, Nature 299 (1982) 802-803; D. Dieks, Communication by EPR devices, Phys. Lett. A 92:6 (1982) 271-272.
- [19] C.H. Bennett, G. Brassard, C. Crèpeau, R. Jozsa, A. Peres, W.K. Wootters, Teleporting an unknown quantum state via dual classical and Einstein-Podolsky-Rosen channels, Phys. Rev. Lett. 70:13 (1993) 1895-1899.
- [20] D.M. Greenberger, M.A. Horne, A. Shimony, A. Zeilinger, Bell's theorem without inequalities, Am. J. Phys. 58:12 (1990) 1131-1143 (dedicated to the memory of John S. Bell).
- [21] N.D. Mermin, Quantum mysteries revisited, American Journal of Physics 58:8 (1990) 731-734.
- [22] J.-W. Pan, D. Bouwmeester, M. Daniell, H. Weinfurter, A. Zeilinger, Experimental test of quantum nonlocality in three-photon Greenberger-Horne-Zeilinger entanglement, Nature 403 (2000) 515-519.

Приложение

Може да се стори изненадващо, че Нобеловата награда за 2022 г. бе дадена за експерименти, проведени в една толкова класическа област, каквато е оптиката. Струва си да се напомни обаче, че тя всъщност е едно от главните основания за създаването на квантовата механика (виж напр. Апендикс F. История на спектроскопията от XIX в. в [1]).

През 1802 г. английският учен Уилям Уоластън (*William H. Wollaston*, 1766 – 1828) открива тъмни (абсорбционни) линии в слънчевия спектър, които са преоткрити през 1814 г. от Йозеф Фраунхофер (*Joseph von Fraunhofer*, 1787 – 1826). След 1821 г. Фраунхофер развива метода на дифракционната решетка. Принципите на спектралния анализ, формулирани и приложени от Бунзен и Кирхоф през 1859 – 1860 г., привличат вниманието на научната общност, тъй като предоставят възможност за определяне на химичния състав на веществата на големи разстояния. Бързо се натрупва огромно количество данни за спектрите на химични елементи и съединения. Към 1868 г. Ангстрьом вече провежда прецизни спектрални измервания. Започва да се налага разбирането, че чрез изучаването на спектрите може да бъде извлечена информация за структурата на атомите и молекулите и за силите, които ги свързват. Новата научна област получава името „спектроскопия“.

През 1885 г. 60-годишният тогава швейцарски преподавател по математика Балмер (*Johann Jakob Balmer*, 1825 – 1898) открива, че дължините на вълните, съответстващи на линиите във видимия ($800 \text{ nm} > \lambda > 400 \text{ nm}$) спектър на водорода, се описват много точно с една проста формула:

$$\lambda_m = \frac{m^2}{m^2 - 4} b \quad (m = 3, 4, 5, 6), \quad b = 3645,6 \text{ \AA} (= 364,56 \text{ nm})$$

(уточнената по-късно стойност е $b = 3646,13 \text{ \AA}$; това е така наречената Балмерова H-серия). Балмер се осмелява да публикува резултата си едва когато му съобщават, че предвидената от неговата формула за $m = 7$ линия на самата граница на видимия спектър, с дължина $\lambda_7 = \frac{49}{45} b$ (около 397 nm), е наистина наблюдавана от Ангстрьом. Съществените следствия от откритието на Балмер възникват когато Ридберг изразява резултата му в термини на вълнови числа, вместо дължини на вълната, например за Балмеровата серия:

$$\frac{1}{\lambda_m} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad R \equiv \frac{4}{b} = 1,097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}.$$

Обобщението на (14), формулирано чрез комбинационния принцип на Риц, вдъхновява създаването на модела на водородния атом от Бор през 1913 г.

Заедно с хипотезата на Планк за излъчването на абсолютно черното тяло и теорията на Айнщайн за фотоефекта това е основата, върху която през 1925 – 1926 г. Хайзенберг, Шрьодингер, Борн, Йордан изграждат квантовата механика.

Литература

- [1] S. Sternberg, *Group Theory and Physics*, Cambridge University Press (1994), виж Appendix F. A history of 19th century spectroscopy.

BELL INEQUALITIES VIOLATION IN EXPERIMENTS WITH ENTANGLED PHOTONS

Ludmil Hadjiivanov

The Nobel prize in Physics 2022 went to Alain Aspect, John Clauser and Anton Zeilinger “for experiments with entangled photons establishing the violation of the Bell inequalities and pioneering quantum information science”. This article contains an introduction to the subject which originates from the Einstein-Podolsky-Rosen’s (EPR) 1935 thought experiment implying that quantum mechanics is either non-local or incomplete. The EPR argument was crucially refined by David Bohm (and Yakir Aharonov) in the fifties. Despite the enormous practical success of the standard quantum mechanics, its interpretation as a statistical average of a more fundamental theory with “hidden variables” could not be ruled out. In 1964, John Bell proposed a mathematical criterion in the form of an inequality that had to be satisfied in any local theory with hidden variables but could be violated in quantum mechanics. In 1969 John Clauser, Michael Horne, Abner Shimony, and Richard Holt (CHSH) designed a realistic optical experiment with entangled photons which was able to decide between the two predictions. They also derived a more convenient modification of Bell’s inequality. In 1972 John Clauser and Stuart Freedman performed the CHSH experiment, and their results clearly confirmed the quantum mechanical calculations. In the following decade, already in the laser era, Alain Aspect made the first steps towards closing the so called locality loophole. Further experiments, in which Anton Zeilinger was instrumental, turned entangled photons into a powerful resource of innovations linked to quantum teleportation, quantum information, quantum cryptography, etc.

ПОХОДЪТ КЪМ НИСКИТЕ ТЕМПЕРАТУРИ

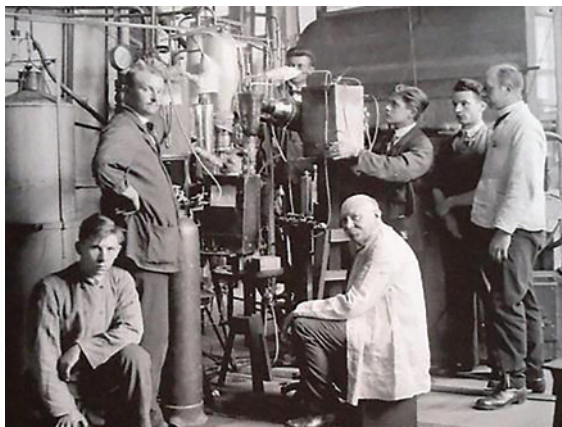
част 2

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, ниско-температурна физика, втечняване на газове, криогенна техника, Бозе-Айнщайн кондензат (БЕС)

Хейке Камерлинг Онес, роден на 21.09.1853 г. в Гронинген, Нидерландия, бил не само гениален организатор, но и любезен, търпелив и далновиден човек. Той искрено вярвал, че квалифицираният и образован персонал лежи в основата на успешните експерименти в областта на нискотемпературната физика (Фигура 4).



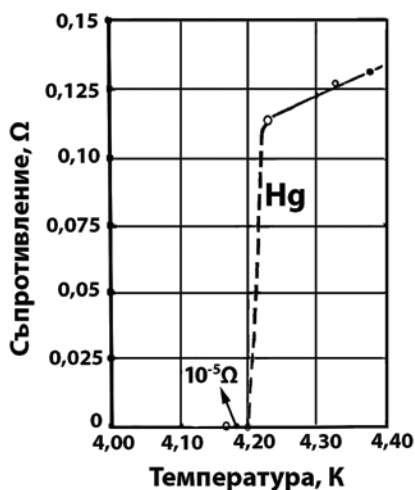
Фигура 4. Камерлинг Онес с колеги в своята лаборатория.

През 1892 – 1894 г. в неговата лаборатория, разположена в Лайденския университет, била конструирана четирикасадна втечнителна установка за кислород, азот и въздух, чрез която било възможно получаването на около четири литра втечен въздух на час. Осем години след Д. Дюар, през 1906 г., Онес успява да втечни водород. Той успял да получи и необходимото количество чист хелий, което само по себе си не било малко постижение. Университетът

в Лайден е известен със своите научни традиции. Неговото име не случайно е дадено след един от първите физични прибори – лайденската стъклена, прототип на съвременен кондензатор. На 10.07.1908 г. Камерлинг Онес успява да получи около 60 cm^3 течен хелий от 75 литра предварително приготвен течен въздух и 20 литра течен водород, необходим за хелиево охлаждане. Преди завършване на изследванията Онес направил опит да получи хелий в твърдо състояние, намалявайки още повече температурата чрез понижение на налягането и обема, където кипяла течността. За тази цел той изпарявал течността дотогава, докато от нея не останали само 10 cm^3 . След това съединил криостата със силна вакуумна помпа, понижвайки налягането над кипящата течност до една стотна от атмосферното. И дори тогава никакви признаци за втвърдяване на хелия не се проявили. През следващата – 1909 г., Онес, използвайки по-мощни вакуумни помпи, намалил налягането на парите над течността до 0,2 mm живачен стълб, снижавайки температурата до 1,04 K. След още няколко години, използвайки батерия от дванайсет дифузни помпи, той достигнал температура до 0,83 K. Уви, хелият не искал да премине в твърдо състояние дори при толкова ниски температурни стойности. На изследователя не било съдено да доживее до момента, когато загадката щяла да бъде окончателно обяснена, но от 1911 г. в неговата лаборатория се появило ново направление. Х. Камерлинг Онес широко отворил вратите на Лайденската лаборатория пред учени от целия свят, които искали да работят в областта на криогенната техника.

Добавяйки в своя арсенал нова температурна област, т.нар. хелиеви температури, нидерландският учен пристъпил към изследването на свойствата и веществата в температурния диапазон от няколко Келвина до абсолютната нула. Измерването, което можело да се проведе лесно при такива ниски температури, се състояло в определянето на електричното съпротивление на даден проводник. По онова време атомната теория за състава на веществата все още си пробивала път в научните среди и много изследователи си задавали въпроса: Каква би трябвало да бъде стойността на електричното съпротивление в чистите метали при достигане на абсолютната нула? Немският физик Валтер Нернст (*Walther Nernst*) изказал предположението, че при понижение на температурата електричното съпротивление в чист метал би трябвало постепенно да намалява и дори съвсем да изчезне при температури от порядъка на абсолютната нула. Онес пристъпил към определянето на съпротивлението на платина при хелиеви температури. Резултатите отначало не потвърждавали и не отричали никаква теория. Електричното съпротивление нито падало, нито се вдигало при понижаване на температурата, то оставало постоянно. В течение на експерименталната работа Камерлинг Онес забелязал, че абсолютната големина на

съпротивлението не зависи от температурата, а се променя от образец към образец и колкото е по-чист металът, толкова по-ниско е съпротивлението. По-скоро Нерст е прав, решил Онес, и съпротивлението би трябвало да намалява при понижаване на температурата, но това се затруднява от наличието на примеси. Експериментите с проводници от чисто злато и впоследствие с живак показали, че съпротивлението пада с увеличаване на чистотата на даден метал. Живакът при стайна температура се намира в течно състояние, той може да се пречиства произволен брой пъти, докато не се достигне изискваната степен на чистота. В средата на 1911 г. Онес провел експеримент, свързан със зависимостта на електричното съпротивление на живака от температурата, значимостта на който неговите съвременници оценили много години по-късно. С понижаване на температурата съпротивлението на живака постепенно намалява – кривата плавно се снижава. Когато температурата падне до точката на кипене на хелия, какво се случва след това? Може би кривата, съгласно теорията на Нерст, плавно ще се снижава до достигане на абсолютната температурна нула?



Фигура 5. Откриване на свръхпроводимостта. Графиката показва зависимостта на електричното съпротивление на живак от температурата, близо до абсолютната температурна нула. Рязко спускайки се надолу, кривата се устремява в областта на свръхпроводимост

Или може би – обратно, кривата ще се насочи рязко нагоре към безкрайността, както предсказвали резултатите на Дюар? Оказва се, че при температура, малко по-ниска от тази на точката на кипене на течния хелий, кривата рязко се насочва надолу (Фигура 5). Електричното съпротивление на живака внезапно изчезнало. Експериментът е повтарян многократно и винаги водел до един и същи резултат. От този момент в науката влиза нов термин – свръхпроводимост.

Това явление е свързано със скокообразно намаляване на електричното съпротивление в даден метал при охлаждането му до достатъчно ниска температура. Скоро се оказало, че свръхпроводимостта е присъща не само на живака, но и на оловото, калая и някои други метали и сплави, при което всеки от металите се характеризира със своя температура на преход в свръхпроводящо състояние, която е прието да се нарича критична температура. Така завършил продължителният почти сто години поход в към абсолютната температурна нула. Камерлинг Онес, първият проникнал в тази област, направил едно от най-вълнуващите открития на XX в. Той успял да превърне инертния газ хелий в течност и открил съвършено ново свойство на веществата, скрито в областта на ниските температури – свръхпроводимостта.

Изследвайки свойствата на течния хелий, Онес открива, че вискозитетът на тази течност е с много ниска стойност. По-нататъшните изследвания показали, че вискозитетът е максимален при 2,2 К. В края на 1913 г. в своята нобелова лекция Онес изказал предположението, че даденото явление може да бъде свързано с квантите и квантовата енергия, открити от Планк в края на века. При понижаване на температурата течният хелий се свива, но при движение към абсолютната нула той отново увеличава обема си. Такова поведение е открито при водата в температурния интервал около 4 °С, но молекулата на водата има много по-сложна структура от тази на хелия и за нея такова аномално поведение не е удивително. Що се касае до атома на хелия, той е най-симетричният от всички съществуващи в природата и затова наличието на максимум в неговата крива се явява загадка. Огромната лаборатория в Лайден, носеща днес името на Камерлинг Онес, продължава работа дори до днес. В последния опит да достигне свръхниска температура, през 1922 г., за да отдели парите над течния хелий в добре екраниран криостат, Онес използвал система от 12 дифузни помпи, разработени от И. Ленгмюр (*I. Langmuir*). С този огромен арсенал от помпи той достига температура от 0,83 К. Съобщението за експеримента е направено към Фарадевското общество и носело заглавието: „*За най-ниската температура, получена досега*“. В последните изречения Онес задавал въпрос: „*Следва ли това да се счита за последна крачка към абсолютната нула?*“. Ако не бъде открито друго вещество, по-летливо от хелия, може ли да се приеме, че е достигнат абсолютният предел на движението към ниски температури? Този аргумент той опровергава по следния начин: „*Ние не можем да приемем тази граница по друг начин, освен като временна. Трябва да сме сигурни, че препятствието, появило се на нашия път, ще бъде преодоляно и затова трябва дълго и търпеливо изследване на свойствата на веществата при най-ниските температури, които е възможно да се получат*“. Така била създадена нова температурна област, простираща се под 1 К.

Обикновено се приема, че свръхпроводимостта се характеризира с намаляване на електричното съпротивление. Но ако съпротивлението притежава нулева стойност, как може да бъде измерено? Освен това всеки физически прибор се характеризира с погрешност при измерванията. Онес извършил следния експеримент. В оловен кръг въвел постоянен магнит, като по този начин в отворието на кръга възниква магнитно поле. След това охладил кръга до състояние на свръхпроводимост. При изваждане на магнита от кръга, в резултат на изменение на външното магнитно поле, в свръхпроводящия кръг възниква незатихващ електрически ток. В това можем да се убедим и с помощта на стрелката на компаса. Още през петдесетте години на миналия век в една лаборатория е наблюдавана циркулация на незатихващ ток в свръхпроводящия кръг в течение на две и половина години. Възможно е този ток да продължи да циркулира и до този момент, ако продължим снабдяването с хелий. Даже след две и половина години не се забелязало ни най-малко отслабване на тока в кръга. Учените, застъпващи тезата, че електричното съпротивление на свръхпроводника е равно на нула, били много близо до истината. Струвало им се, че по свръхпроводящи проводници и кабели може да се предава електричен ток на колкото е необходимо голямо разстояние без загуби. Оказало се обаче, че ако интензитетът на магнитното поле надхвърли някаква критична стойност, явлението свръхпроводимост изчезва. Намотката става обикновен проводник. Доколкото всеки ток създава магнитно поле, съществува критична величина на тока, течащ по свръхпроводника, при която се разрушава свръхпроводимостта. Въпреки това интересът към явлението не отслабнал. Към оловото и калая скоро се прибавили нови свръхпроводници: индий, галий и талий. Тези метали си приличат по физични свойства. Те са меки и температурите им на топене са ниски. Скоро свръхпроводници са били намерени и между твърдите метали: тантал, ниобий, титан и торий. „Слънчевият газ“ хелий притежава някои странни свойства, които удивляват и до днес. Наистина, при температура по-ниска от 4,2 К, той се държи като течност, но с понижаване на температурата до 2,2 К се променя рязко външният вид на втечнения хелий – той престава да кипи в целия обем и се превръща в спокойна „мъртва“ течност, изпаряваща се само на откритата повърхност и притежаващ ред интересни свойства. Например, когато имаме вложени един в друг съдове, пълни с течен хелий, течността свободно преминава от единия съд в другия, независимо от дебелината на стените на съда, и постепенно нивата на течността в съдовете се изравняват. Течният хелий се държи сякаш е две течности едновременно. Над температура 2,2 К съществува хелий, който се държи като нормална течност и го наричат хелий I. Под тази температура хелият притежава необикновени свойства и се нарича хелий II. Практически хелий II е течност с нулев вискозитет.

Това свойство Капица през 1933 г. нарича свръхфлуидност.

На базата на разработките на Карно върху топлинните двигатели и превръщането на механичната работа в топлина, през 1857 г. Сименс патентова хладилен апарат, състоящ се от две бутала, извършващи възвратно-постъпателно движение. По това време са съществували и работели вече много двигатели на Сименс, а през 1862 г. шотландският инженер Кирк построил действащ модел на устройство за охлаждане на шистови масла в процес на нефтопреработка. Оказало се, че с помощта на тази машина е било възможно да се понижи температурата до $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$, т.е. да се замрази живак. Създателите на такива машини били не учени, а инженери, пред които стоели чисто практически задачи. Първият опит за втечняване на въздух с използването на процеса на разширение на газа е бил осъществен от Солвей. През 1887 г. неговата работа е била патентована в Германия. В патента са описани три възможни начина за втечняване, два от които били основани на свойствата на газовете да се охлаждат при разширение. През 1902 г. френският инженер Жорж Клод (*J. Claude*) успява да получи течен въздух, въпреки големите технически трудности. Преди всичко е било необходимо да се осугури надеждна топлинна изолация на разширителното устройство (детандера) и да се сведе до минимум притока на топлина отвън, поради това, че крайната работна температура била много ниска, по-ниска от $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$. През 1920 г. Клод успява да получи температура много по-ниска от $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$, при това в качеството на работно тяло не е използван въздух, а водород. През 1895 г. Хемпсън (*W. Hampson*) в Англия и Линде (*C. Linde*) в Германия, едновременно и независимо един от друг, предложили нов метод за втечняване на газове, използвайки метод на охлаждане, основан на ефекта на Джаул-Томпсън, при който газовете, преминавайки през тънка тръба, се разширяват без извършване на работа. Такава апаратура е патентована независимо от Хемпсън в Англия и Линде в Германия през 1895 г. Започвайки от 1885 г., промишленото значение на постиженията във физиката на ниските температури е станало неоспоримо. Основната цел е била извличане на кислород от атмосферния въздух, който е бил необходим в големи количества за стоманеното производство и в други технологии, свързани предимно с корабостроенето, железопътната и военната промишленост. Не по-малко важно е и получаването на азот от въздуха и водород от водна пара. Патентите на Хемпсън и Линде довели до създаването на мощни промишлени отрасли за разделянето на газове в Германия и Съединените щати. В края на XIX в. към тези патенти се прибавил и патентът на французина Клод, който превърнал буталния детандер в достъпно и надеждно устройство.

Първият учен, който въвежда термина „свръхфлуидност“ и обяснява свойствата на течния хелий, е съветският физик Пьотър Леонидович Капица. Той

изобретява метода на импулсните магнитни полета. По онова време изследователите получавали силни магнитни полета с помощта на електромагнит, съставен от плътна желязна сърцевина, но предела на магнитното поле, което успявали да достигнат, е бил около 5 Т. Капица използва соленоид или намотка без сърцевина. През този соленоид той пропуска за много кратко време много силен ток, за части от секундата. За толкова кратък интервал от време соленоидът не успява да се разтопи поради топлинния ефект на електричеството. Така в практиката влиза методът на мощните импулсни полета. Отначало Капица използвал в качеството на източник на ток акумулатор с малък капацитет. След време този акумулатор бил заменен от синхронен генератор, създаден от Капица. В началото на 1924 г. Капица е назначен за помощник-директор на Кавендишката лаборатория по магнитни изследвания. През 1932 г. на територията на Кавендишката лаборатория в Кеймбридж е била построена специална криогенна лаборатория (г.нар. „Мондовска“), директор на която бил П. Капица. Година по-късно в своята лаборатория Капица осъществява втечняването на хелий. Създаденият от него хелиев втечнител включвал детандер, работната температура в който била само около 10 градуса по-висока от абсолютната нула. През 1934 г. оборудването от лабораторията е закупено от съветското правителство и монтирано в новото, специално създадено научно учреждение: „Институт по физически проблеми“ в Москва. Изобретенията на П. Капица в областта на нискотемпературната физика са наистина много, като едно от най-важните е създаването на турбинния детандер или турбодетандера. Професорът от Масачузетския технологичен университет С. Колинз (*S. Collins*) през 1946 г. конструира комерсиална апаратура за втечняване на хелий. За много кратко време са били продадени повече от сто такива апарата. По това време, а именно годините непосредствено след Втората световна война, се провеждала буквално революция във всички области, свързани с физиката на ниските температури. Течният хелий станал достъпен в множество изследователски и промишлени центрове. Открили се широки възможности за научни и инженерни изследвания при много ниски температури. Буталният двигател, разбира се, не е единственото устройство, с помощта на което топлината е възможно да се преобразува в механична работа. В установките с голяма мощност като електростанциите, корабите и самолетите, буталата са заменени от турбини. Причината за това е по-големият термодинамичен коефициент на полезно действие. Поради тази причина турбините са много по-удобни за използване при получаването на ниски температури. Патентите на турбини, използвани за газово разделяне, са получени в края на 90-те години на XVIII в. от Трап в Англия и Джонсън в Америка. В началото на 30-те години на XX в. компанията „Линде“ в Германия получава първите успешни резултати по

втечняване на газове с помощта на турбини. Поради промишлената и военната секретност съществува много оскъдна информация по тези въпроси до 1939 г., когато П. Капица в Москва публикува детайлен анализ на работата на турбините в качеството им на втечнител, с обосновка на техните достойнства и предимства пред буталните двигатели. В днешно време турбините са стандартно оборудване за големите нискотемпературни установки и на ракетните бази.

През 1933 г. У. Джиок (*William F. Giauque*) в Бъркли, Калифорния, достига до температури 0,25 К по метода на магнитното охлаждане, след което този метод става стандартен в нискотемпературните лаборатории по света. Техническите усъвършенствания, използването на силни магнитни полета и подборът на подходящи соли разширили рамките на новия метод на охлаждане до температури, лежащи под 0,01 К. Даже с помощта на силни магнитни полета не може да се достигне по-ниска температура. Това е така, защото получаването на ниска температура е наполовина решена задача. Втората половина е свързана със съхраняването на тази ниска температура в течение на достатъчно дълъг интервал от време за провеждане на експерименти. За да съществуват втечените газове при температури под 1 К достатъчно време, не само топлинният поток трябва да е минимален, но и трябва да се достигне значителна степен на подредба на спиновете на електроните. След публикуването на първите статии, в които се излагали принципите на магнитното охлаждане в 1926 г. от У. Джиок, Лайденският университет престанал да бъде единствената лаборатория, в която се получавал течен хелий. В много страни се появили нови нискотемпературни установки и започнало състезание вече в нова температурна област, областта под 1 К. Размагнитвайки гадолиниев сулфат при начална температура 3,4 К, на 19.03.1933 г. Джиок получил температура 0,53 К. Вдъхновен от успеха, той увеличил скоростта, с която течният хелий се отделял от криостата, и на 9.04. същата година достигнал температура 0,25 К. След няколко години експерименти чрез метода на магнитното охлаждане, който станал стандартен, скалата на ниските температури се разширила до температури, по-високи само на няколко хилядни от градуса от абсолютната нула. Постепенно не само соли, но и много други вещества са използвани в процеса на охлаждане до ниски температури. Продължителността на наблюдение зависи единствено от притока на топлина към солите. Границите на охлаждане на парамагнитната сол чрез размагнитване зависят не само от началната температура и магнитното поле, но и от магнитните свойства на охлаждащата течност. Професорът по химия У. Джиок получил Нобелова награда през 1949 г. за приноса си към химичната термодинамика и изследването на вещества при свръхниски температури. С използването на магнитното

охлаждане станало възможно ориентирането на атомните ядра в направление на приложеното магнитно поле. От тази гледна точка, нискотемпературните изследвания в известен смисъл представляват модифицирано ядрено изследване. Подобно на електроните, протоните и неутроните също притежават спин, определен от движението им в атомното ядро. В нормални условия спиновите оси са разположени в пространството произволно. Магнитните моменти на ядрените частици са около хиляда пъти по-малки от магнитните моменти на електроните и това създава трудности в процеса на тяхната ориентация, дори при най-ниски температури. За да се ориентират осите на ядрата при 0,01 K например е необходимо да се приложи силно магнитно поле с интензитет около 50 000 Oe (Оершеда). Чрез използването на метода на размагнитване на радиоактивни соли и ориентиране на радиоактивните ядра в направление на външно магнитно поле е доказано нарушаването на четността при слабите ядрени взаимодействия от Дж. Ян и Дж. Ли, за което те са удостоени с Нобелова награда през 1957 г. Френсис Симон от Оксфорд (1956), заедно със сътрудници, успява да получи температура от 0,000010 K или по-малко от двеста стотни от градуса над абсолютната нула. Тази неправдоподобно ниска температура е просъществувала около минута и след това ядрената охлаждаща среда се нагрела до температури, при които започнало размагнитване. При температури от порядъка на 0,00002 K обмяната на енергия между ядрените спинове, електроните и трептенията на кристалната решетка става по-бавно в сравнение с времето за наблюдение и това води до различно тълкуване на резултатите от експериментите. Обобщавайки експериментите до момента, може да се каже, че до свръхниски температури се охлаждат само ядрени спинове в атомните системи, но не и веществото като цяло. Съвременните достижения в областта на свръхниските температури са забележителни. През 2003 г. изследователи от MIT, Масачузетс, успяват да охладят натриеви атоми до 0,45 nK, използвайки лазери и магнитни лещи. NASA стартира през 2018 г. създаването на студена лаборатория на Международната космическа станция. Оказва се, че Бозе-Айнщайн кондензатите от частици се разпадат за секунди поради влиянието на Земната гравитация върху атомите. В условията на микрогравитация в космическото пространство се очаква тези кондензати да съществуват в рамките на един до шест часа.

Най-ниската температура, достигната в лаборатория досега, е 38 pK ($1 \text{ pK} = 10^{-12} \text{ K}$). Измерена е през 2021 г. чрез използването на атомна оптична интерферометрия и магнитни лещи за квадруполно възбуждане на Бозе-Айнщайн кондензат [4]. Експерименталните данни, публикувани в списанието *Physics Review Letters* през август 2021 г., се отнасят за екстремно ниски температурни колебания, задържани само за няколко секунди на тези нива, но разработената

технология и резултатите от експеримента задълбочават разбирането ни за взаимодействията, протичащи на квантово ниво в Бозе-Айнщайн кондензати от частици, при които квантово-механичните фази се влияят съществено от топлинното движение. Бозе-Айнщайн кондензатът (БЕС) е състояние на материята, предсказано от през 1924 г. от А. Айнщайн на базата на теоретичен подход в квантовата статистика, разработен от Сатиендра Нат Бозе. БЕС е състояние на материята, което се формира, когато изключително плътен газ от бозони (субатомни частици, чието спиново квантово число притежава цяла стойност 0, 1, 2 ...), се охлажда до температури, близки до абсолютната нула (-273,15 °C). При такива условия голяма част от бозоните заемат най-ниските квантови състояния, където преобладават квантово-механични явления, свързани със свръхфлуидност и вълнова интерференция.

Физиците отдавна са убедени, че абсолютната температурна нула е недостижима величина. Независимо от това, те продължават изследванията си непосредствено до границите на валидност на физичните природни закони, където се откриват непознати и интересни свойства на материята.

Литература:

4. C. Dippner, et al., Collective-Mode Enhanced Matter-Wave Optics, PhysRevLett. 127.100401, 10, (2021)

<https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.127.100401>.

THE LONG JOURNEY TO THE LOW TEMPERATURES part 2

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).

Устойчивото развитие на България и българската физика

Иван Лалов

1. Увод

На 2.12.2021 г. ООН прие резолюция, с която обявява периода от 1.07.2022 г. до 30.06.2023 г. за Международна година на фундаменталните (базисни) науки за устойчиво развитие. Като фундаментални науки са изредени: физика, химия, биология, математика (и може би антропология), но неизвестно защо са пропуснати науките за Земята. Годишната 2022 не е най-подходящото време да се говори за устойчиво развитие (УР), тъй като световният ред след Студената война се променя през последните години. Още повече, че след резолюцията на ООН започна война в Украйна. Въпреки това, ние трябва да обсъждаме проблемите на устойчивото развитие, за да знаем към какво се стреми човечеството.

В единодушно приетата резолюция Общото събрание не обсъжда целите на УР, които са предмет на по-раншна резолюция от 2015 г. По-подробно обаче са отбелязани ролята и важността на фундаменталните науки за УР на човечеството като основа за технологичния напредък, при обучението на бъдещи специалисти, а също като фактор за посрещане на бъдещи предизвикателства пред човечеството.

За това в резолюцията: „ООН приканва всички държави членки, организации от системата на Организацията на обединените нации и други глобални, регионални и субрегионални организации, както и други заинтересовани страни, включително академичните среди, гражданското общество, международни и национални неправителствени организации и др. да повишават осведомеността за значението на фундаменталните науки за устойчивото развитие, в съответствие с националните приоритети“. Общото събрание на ООН мотивира решението си с „високата стойност за човечеството на фундаменталните науки“, както и с факта, че „повишената глобална осведоменост и повишеното образование в областта на фундаменталните науки“ е от жизненоважно значение за постигане на устойчиво развитие и за подобряване на качеството на живот на хората по целия свят. Общото събрание на ООН също така подчерта, че „фундаменталните науки и нововъзникващите технологии отговарят на нуждите на човечеството, като осигуряват достъп до информация и повишават здравето и благосъстоянието на хората, общностите и обществата“.

Особено ще подчертая оценката за високата стойност на фундаменталните науки за човечеството, за устойчивото развитие в съответствие с националните

приоритети, ролята им за повишаване на образованието, здравето и благосъстоянието на хората, общностите и обществата. В следващата точка от статията ще се спра накратко на глобалните цели на УР. Бих искал също основно внимание да насоча към нашите национални приоритети в обществения живот и в икономиката и – в съответствие с темата на 51-вата Национална конференция по въпросите на обучението по физика, към ролята на образованието и на научните изследвания по физика за реализацията на приоритетите.

2. Глобални цели на УР на света

Ще си позволя еретичната мисъл, че времето на Студената война беше време на устойчиво развитие. Тогава съществуваха две обществени системи, наричани и два лагера. Всяка система имаше своите принципи, ценности и идеология, своя икономика и планове за бъдещите си действия във вътрешен и в международен аспект. Двете системи се конфронтираха и бяхме свидетели на множество кризи. Но действията на страните бяха предвидими и съществуваха взаимно разбиране за недопустимостта на ядрена война. Така всяка страна устойчиво реализираше своите цели в продължение на десетилетия. В крайна сметка Студената война завърши с известните резултати за всяка система. Нейният край показва, колко важно е да се набележат правилните цели на УР.

Обнадеждаващото е, че преди няколко години ООН формулира УР като основна насока на международния живот, а също – целите на УР, които се наричат „17 цели, за да се трансформира света“. Те са изброени по-долу:

1. Не на бедността.
2. Край на глада.
3. Добро здраве и добро съществуване.
4. Качествено образование.
5. Равенство между половете.
6. Чиста вода и добри санитарно-хигиенни условия.
7. Чиста енергия на добра цена.
8. Сигурна работа и икономически растеж.
9. Индустрия, иновации и инфраструктура.
10. Намаляване на неравенствата.
11. Устойчиви градове и общности.
12. Отговорна консумация и продукция.
13. Адекватни мерки за борба срещу климатичните промени.
14. Животът във водата.
15. Животът на сушата.
16. Мир, справедливост и ефикасни институции.
17. Партньорства за реализиране на целите.

Както се вижда, този списък на целите пред човечеството представлява един политически и дори етичен кодекс за бъдещ хармоничен свят. Разбира се, нито в човешкия живот, нито в историята на човечеството намеренията се реализират изцяло. Но както споменахме, ние трябва да знаем, към какво се стремим.

Фундаменталните науки имат съществен принос и роля при реализирането на голяма част от изброените цели и очакванията на международната общност към науките са огромни. Ще отбележим и високото място на качествено образование, непосредствено след целите, които правят възможно самото съществуване на човека и на нациите. Част от мотивациите да се развият фундаментални науки чрез финансиране и селекция на способни млади хора е връзката на дадена тема или проблем с глобалните цели на УР. Тази връзка трябва да се подчертава в нашата преподавателска работа и в изследванията.

3. За устойчивото развитие на България

След 1989 г. България преживя продължителен преход, който се изразяваше в смяна на икономическия модел, политическата система и външнополитическата ориентация. Важно постижение бе влизането през 2007 г. в Европейския съюз, осигурило ни развитие в по-голяма, стабилна и естествена за нас среда. Разбира се, проблемите на ЕС (и на света) създават проблеми за устойчивото развитие и на нашата страна. В днешния променящ се свят на 2022 – 2023 г. ние не сме пощадени от глобалните тревоги за бъдещето и от общите проблеми на ЕС. Към тях се добавят специфични проблеми на развитието, често пъти причинени от самите нас. Въпреки всички резерви, нашето развитие може да се характеризира, ако не като стабилно (устойчиво), то като метастабилно. Имаме основания да се надяваме, че в следващите едно-две десетилетия нашето обществено развитие ще следва и стабилизира досегашните тридесетгодишни насоки. Кои фактори определят сегашното и бъдещото устойчиво развитие?

На първо място, надеждите за възходящо развитие на икономиката, която дори в сегашната обстановка на кризи показва устойчивост. На икономиката – държавна и частна – е необходима сигурност и политическа стабилност, добре образовани кадри, пазарни възможности вътре в страната и с външните партньори.

На следващо място бих поставил квалификацията и усъвършенстването на човешкия фактор (и, разбира се, преодоляване на демографската криза). Моята тревога е, че именно човешките ресурси ще създадат в следващите десетилетия най-сериозни проблеми пред устойчивото ни развитие – може би недостатъчен брой и мотивация на квалифицирани творци и изпълнители в отраслите, които дават най-голяма добавена стойност (и не само там).

Трета група фактори на устойчивото развитие се отнасят до връзките на страната и на отделните обществени групи със своите страни-партньори, икономически и дори военни партньори, съюзи, организации и др. Нашият досегашен опит налага да изведем като важен фактор повишаването на икономическата и общата култура на групите и на членовете на обществото.

Устойчивото развитие изисква яснота пред обществото, групите в него и членовете му за посоката на развитието, за усилията и средствата, необходими за това, ясен обществен договор и ясни задължения на всеки член от обществото.

В такава светлина следва да се разглеждат мястото, задачите и дълга на колегията от физици за обучението и възпитанието, за ролята на научните резултати за икономиката и културата, както и за нашата част от подготовката на инженери, специалисти по природни науки, медицина, компютърни науки и др.

4. Образованието по физика в България като фактор на устойчивото развитие

Обикновено разглеждаме образованието по физика като реализация на учебни планове и програми в средните училища и университетите. Все по-широко се обсъжда това образование като част от програмите за формиране на ключови компетентности. Резолюцията на ООН мотивира важноста на образованието с вече цитирания пасаж. „Повишената глобална осведоменост и повишеното образование в областта на фундаменталните науки са жизнено важни за постигане на устойчиво развитие и за подобряване на качеството на живот“. Няма съмнение колко е важна физиката за устойчивото развитие след Втората световна война и в бъдеще. В тази насока следва да оценим съдържанието и резултатите от образованието по физика.

Най-напред са нашите усилия за информираността на учениците и на студентите относно постиженията на съвременната физика. Това създава интерес към нови познания за нейните клонове, за природните явления и закони и за нашето място в света, но също това е база за преодоляване на ненаучни преубеждения (пример – теория за плоската Земя). Устойчивото развитие означава устойчиви познания при всеки член на обществото.

Безусловна е ролята на физиката при създаване на съвременните технологии, които правят нашия живот качествен и непрекъснато го променят. Познаването на тази връзка е не само резултат от любопитство, но и осигурява възможности за бъдеща квалификация на високо ниво (т.е. от физиката към технологиите).

Учениците и студентите трябва да почувстват и разберат ролята на физиката

в своите бъдещи професии. Не става дума само за модела на мислене и подхода, възприет във физиката, а за познания, непосредствено свързани с изпълняваните дейности в инженерните клонове, медицината, самите природни науки и др. На пръв поглед изглежда, че връзката на физиката с тези професии се отнася за студенти и за ученици от профилираните гимназии, но вероятно такава връзка е по-обща.

Нашите възпитаници в средните училища и университетите трябва да бъдат информирани за отражението и влиянието на физиката върху качеството и дори начина на живот на всеки. Съвременните поколения трудно си представят живот без модерните съобщителни средства и без компютри. В съвременния си вид те са резултат от многостранно развитие на научни клонове и технологии и физиката има много важна роля. Признаването на тази роля от по-широки обществени групи ще ги подготви за възприемане на нови открития (например квантови компютри, управляем термоядрен синтез), които ще са фактор за бъдещо устойчиво развитие и влияние върху качеството на живот.

Като се обръщаме отново към резолюцията на ООН, ще споменем информираността на ученици и студенти относно националните ни приоритети, които осигуряват устойчивото развитие. Като многообещаващи, но някои – и проблемни, ще отделим приоритетната ни заинтересованост в областта на енергетиката, информационните технологии, микроелектрониката, климатичните промени, метеорологията, земеделието, оптичните технологии, зелената икономика. Наш дълг е при разглеждане на определени теми да намерим и да подчертаем връзката с устойчивото развитие на България.

Естествено, споменатите аспекти не изразяват изцяло отношението „физика – образование – устойчиво развитие“. Моята цел е да представя схематично тази връзка и да насоча вниманието на колегията към необходимостта тя да се представя обективно и атрактивно, за да привлече към физиката вниманието на обществото и бъдещи физици.

5. Научните изследвания по физика в България и националните приоритети

В началото на тази част ще повторя друг цитат от резолюцията на ООН: „фундаменталните науки и нововъзникващите технологии отговарят на нуждите на човечеството, като осигуряват достъп до информация и повишават здравето и благосъстоянието на хората, общностите и общества“.

Научните изследвания по физика в България най-общо са насочени да изпълняват тези задачи. По своята тематика те следват световните тенденции, разбира се, със съществуващите ограничения на достатъчен брой квалифицирани учени в редица области и на финансиране. Като се отчита, че тематиката

на научните групи е дългосрочна и консервативна, не е лесно да се посочат нейните връзки с националните приоритети и устойчивото развитие. Без съмнение по-нататъшна прагматична насока на българската физика ще се реализира в недалечно бъдеще, наложена от нашите връзки с международни научни организации, нуждите на икономиката и смяната на поколенията.

Научните изследвания по физика се класифицират като фундаментални и приложни. Веднага ще изразя своето (а може би общото) разбиране, че без фундаментална наука няма приложни изследвания. Нивото на научните изследвания пряко или косвено влияе върху образованието на средно и висше ниво. Образованието е един важен национален приоритет и българското общество, след период на загърбване на образованието, отново се изправя пред реалността (виж отношението към заплатите на учителите). Толкова по-необходими са научните изследвания за самото образование.

Фундаменталната наука и нейните представители пряко влияят върху достъпа до научна информация на широки слоеве, а също – върху тяхната обща и професионална култура.

Успешното развитие на фундаментални научни области зависи от израстването на висококвалифицирани учени, способни да привнесат у нас научните резултати и технологии. Без такива учени съществува опасност необходимите за икономиката съвременни приложения на науката да попаднат в ръцете на необучени хора.

Ще спомена най-трудните проблеми за науката пред тези, които вземат решения и работят в управлението на страната и науката: научната тематика, която да се финансира, и самото финансиране на фундаменталната наука като източници и размери.

За възходящото развитие на икономиката приложните изследвания в различни области на физиката са ключови. Тяхната пряка връзка с националните приоритети трябва да бъде предмет на отделен анализ. Ще споменем изследванията по ядрена и водородна енергетика, оптични и информационни технологии, микроелектроника, връзката климатични промени – метеорология – земеделие. Пренебрегването на приложните изследвания обрича икономиката на неефективност. През 1990 г. А. Луканов именно така обяснява невъзприемчивостта на социалистическата икономика към иновации (дори при закупени от Запада патенти) – липсата на приложна наука.

Даваме си сметка и сега колко е сложно да оценим и да използваме научните изследвания по физика за устойчиво развитие на България. Не преувеличаваме, ако заключим обаче, че липсва друга алтернатива.

5. Заключение

Тази статия съдържа определени мисли и идеи по темата „Физиката и устойчивото развитие на България“. В известна степен тя се отличава, както и цялата тематика на 51-ата Конференция, от обикновения подход, при който излагаме професионален опит или професионални резултати в научните изследвания и в образователната практика. По-скоро нашият поглед е отправен в посоката: „А защо се трудим? Какво даваме и можем да дадем още на България?“. Моето убеждение е, че с целенасочени усилия можем да допринесем за устойчивост на промените, привлекателни за българското общество и за самите нас – физиците.

Нашите главни цели обикновено са да внедрим у ученици и студенти знания по физика, продуктивни умения и подход. Но колегията има и граждански дълг – да възпитава у ученици, студенти и професионалисти физици разбиране и стимулиране на дейности, насочени към устойчиво развитие на Европейска България.

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

www.phys.uni-sofia.bg

ГЛ. АС. Д-Р МАЯ ЖЕКОВА – НОСИТЕЛ НА НАЦИОНАЛНАТА СТИПЕНДИЯ „ЗА ЖЕНИТЕ В НАУКАТА“ ЗА 2022 Г.



На 29 ноември 2022 г. на специална церемония в Ректората на Софийския университет гл. ас. д-р Мая Жекова, преподавател от катедра „Квантова електроника“ на Физическия факултет, официално получи една от трите годишни награди от дванадесетото издание на Националната стипендиантска програма „За жените в науката“ на L’Oreal и на Националната комисия на ЮНЕСКО.

Националните стипендии „За жените в науката“ са част от световната програма на L’Oreal и ЮНЕСКО „За жените в науката“. Те се отпускат за проекти, които се реализират в една отделна страна, и вече съществуват в повече от 50 страни. В България програмата стартира през 2010 г. в партньорство между L’Oreal България, СУ „Св. Климент Охридски“ и Националната комисия за ЮНЕСКО – България и успя да се наложи като един от най-престижните научни конкурси в страната. Към момента по програмата вече са отличени 33 млади български жени-учени (вкл. трите стипендиантки от 12-ото издание на конкурса) за техния впечатляващ научен потенциал, постижения и любов към изследователската дейност с общ награден фонд от 165 000 евро. Д-р Жекова е 7-мата физичка, получила наградата от 5000 евро за реализиране на своя изследователски проект.



Д-р Мая Жекова участва в конкурса с проект на тема „Квази-недифрагиращи Гаус-Беселови снопове с остатъчен топологичен заряд“ и бе отличена като успешна млада жена, посветила се на научното поприще. Темата на отличения проект е в изключително интересна област от лазерната физика, в която се изследва деформирането на светлината по специфични начини, с потенциал за приложения не само в промишлеността, но и в оптичните комуникации, биологията, химията, медицината.

Мая Жекова завършва Математическата гимназия в гр. Русе и започва следването си във Физическия факултет на Софийския университет „Св. Климент Охридски“, като се дипломира като бакалавър по физика, а след това и като магистър от магистърска програма „Квантова електроника и лазерна техника“. От 2017 г. е редовен докторант във Физическия факултет по професионално направление: 4.1. „Физически науки“ (Физика на вълновите процеси, включително нелинейни трептения и вълни – нелинейна оптика и квантова електроника). Защитава дисертация за образователната и научна

степен „доктор“ на тема „Сингулярна и фемтосекундна фотоника: Създаване на светли структури, използвайки двумерни фазови сингулярности от тип оптичен вихър“.

През 2019 г. г-жа Жекова е участвала в Националната научна програма „Млади учени и постдокторанти“ като млад учен с проект на тема „Формиране на светли структури от снопове чрез използване на квадратна матрица от оптични вихри“. Участвала е в научните колективи на 5 проекта, четири от тях – финансирани от Фонд „Научни изследвания на СУ“, и един, финансиран от Фонд „Научни изследвания“ при МОН. Притежава изключителни умения за работа с компютърен хардуер и софтуер, а също и с хардуер в областта на електрониката.

От 2021 г. д-р Жекова заема академичната длъжност главен асистент в катедра „Квантова електроника“ на Физическия факултет на Софийския университет. Общият брой на научните ѝ публикации в списания с импакт фактор и импакт ранг е над 16, които са цитирани общо над 101 пъти.

По време на докторантурата си е била член на Факултетния съвет. Била е член на Локалния организационен комитет на *International Conference of Quantum, Nonlinear and Nanophotonics u Symposium on Nanomaterials and Nanotechnologies'2019*. Участвала е в експертни комисии към Националната агенция за оценяване и акредитация. Била е член на жури на ученическо Национално състезание по физика „Турнир на младите физици“, на Пролетното национално състезание по физика, Есенното национално състезание по физика и ръководител на отборите на България на четирите проведени досега Балкански олимпиади по физика за ученици, организирайки Третата балканска олимпиада, проведена виртуално през 2021 г.

Стипендията ще даде възможност на д-р Жекова да инвестира в допълнително лабораторно оборудване, впоследствие резултатите от проучването да бъдат представени на международни форуми, като бъдат публикувани научни статии по темата в международни научни издания.

Гл. ас. д-р Мая Жекова понастоящем е член на Управителния съвет на Съюза на физиците в България.

Честита награда, Мая!

**ЛАБОРАТОРИЯ „ОПТИКА И СПЕКТРОСКОПИЯ“ –
ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВОТА НА НОВИТЕ МАТЕРИАЛИ, ТЕХНОЛОГИИ,
МЕТОДИ И ПРИЛОЖЕНИЯ
част II**

Мариана Кънева

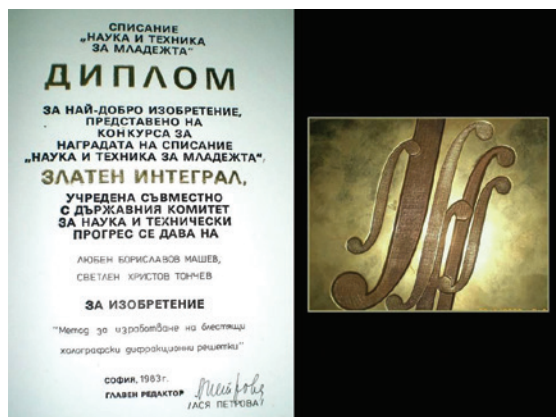
Холографски дифракционни решетки

Дейността на групата по дифракционни решетки включва разработка на теоретични методи и експерименти, които се провеждат едновременно с фундаментални изследвания върху разпространяването на светлината в периодични структури, като основно внимание се отделя на приложенията в науката и производството.

Разработени са числени методи на основата на диференциалната и интегралната теория за разпространение и дифракция на светлината в диелектрични и метални периодично структурирани среди [28]. Този теоретичен модел, основан на използване на бърза Фурие факторизация, е важен инструмент при дизайна на конкретните дифракционни структури.

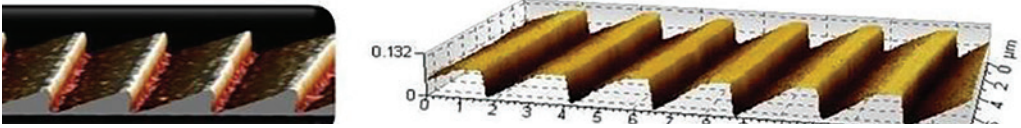
Основните експериментални изследвания обхващат асиметрични решетки и релефни многослойни структури, двумерни решетки, фотонни кристали:

- Разработен е оригинален метод за холографски запис на дифракционни решетки с асиметричен профил (блестящи решетки) [29]. Методът дава възможност за получаване на високоефективни решетки за работа в ултравиолетовата, видимата и близката инфрачервена области на спектъра (Фигура 9) [BG Patent BG 33552A1].

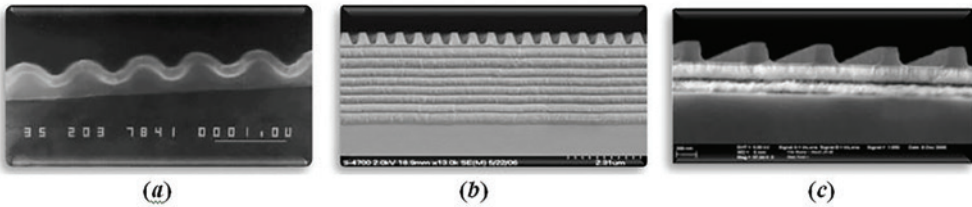


Фигура 9. Диплом и плакет „Златен интеграл“ за колективно изобретение, присъдени от ДКНТП и списание „Наука и техника“ през 1983 г. на Любен Машев и Светлен Тончев за „Метод за изработване на блестящи холографски решетки“ (внедрен от м. септември 1982 г. в сектор „Оптика и спектроскопия-ИФТТ, съгласно предложение No. 55517)

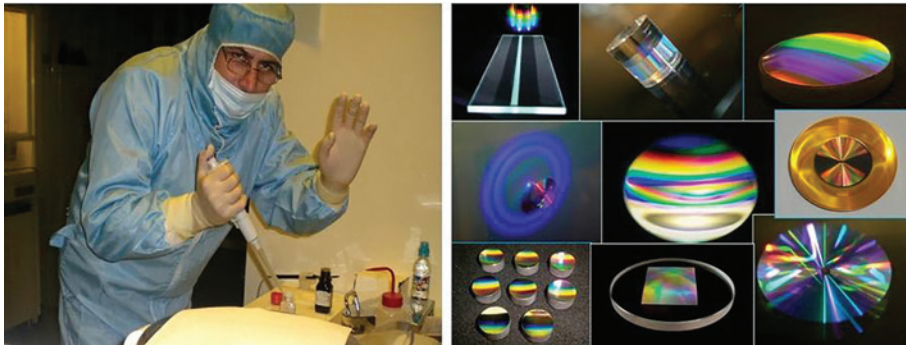
• За първи път е наблюдавано явлението оптичен резонанс при взаимодействие на дифракционен порядък с повърхнинна вълна (вълноводен или изтичащ мод, повърхнинен плазмон) [BG Patent **BG38132A1**]. Явлението е изследвано теоретично, като са създадени софтуерни продукти за числено моделиране на такива резонансни дифракционни решетки.



Фигура 10. AFM профил на асиметрични холографски решетки



Фигура 11. (a) синусоидална, (b) диелектрична и (c) хибридна холографска решетка



Фигура 12. Резонансни структури

• Експериментално са създадени редица нови резонансни структури с уникален дизайн и висока ефективност за различни конкретни приложения (Фигури 10 – 12):

- Свръхвисокоэффективни дифракционни решетки за зададена дължина на вълната в първи дифракционен порядък с ефективност до 99,8% [30].
- Дифракционни решетки за формиране на фемтосекундни лазерни импулси [31].
- Ефективно управление на лазерното излъчване чрез замяна на едно от лазерните огледала с резонансна решетка – поляризационен контрол (линейна, радиална и аксиална поляризация), стесняване на лазерната линия, работа на

лазера само в TEM00 мод [32 – 34].

- Разработен е външнорезонаторен поляризационен трансформатор, който ефективно преобразува линейната поляризация на лазерния лъч в радиална. Елементът е получен на базата на резонансна структура от хидрогениран аморфен силиций [36].

- Резонансно преминаване на светлината през тънки метални слоеве [12, 37].

- Дифракционни елементи за повишена сигурност на документи.

- Разработен е оригинален холографски метод за изработване на дифракционни решетки с точен брой линии върху стената на цилиндър, ориентирани по оста му (демонстрирано е с 2^{15} линии) [EU Patent EP2562568A1 и US Patent US013/0052592A1] [38, 39].

- Използва се нов подход за динамично записване на дълги дифракционни решетки, които могат да се служат и като фазови маски за подготовка на дифракционни решетки с голяма площ. Експериментално е демонстриран запис на дифракционна решетка с период 500 nm и дължина над 300 mm [40].

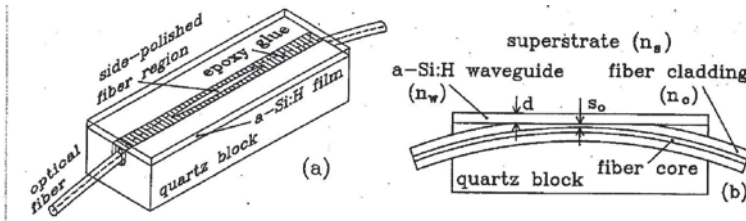
- Изследвани са условията за образуване на „самоорганизиран“ релеф върху метална повърхност при излагане на свръхбързи лазерни импулси чрез стимулирано възбуждане на повърхностен плазмон-поляритон (SPPs) с помощта на дифракционна решетка [41].

Влакната оптика

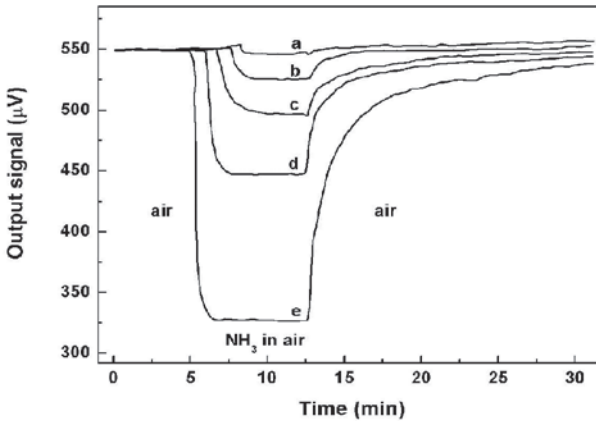
В групата по влакната оптика се извършва теоретично моделиране, изработване и изследване на различни влакнесто-оптични компоненти, базирани на разпределено свързване между странично полирано (D-образно) едномодово оптично влакно и планарен вълновод, разположен върху полираната част на влакното (Фигура 13), при което затихващото поле на вълноводните модове на влакното в режим на резонанс възбужда някои от модовете на планарния вълновод в зависимост от показателя на пречупване на околната среда. На този принцип в групата са създадени тесноивични спектрални филтри [42] използвани за направата на рефрактометрични сензори за газове (бутан и амоняк) и течности (вода и етанол) [43 – 47] (Фигура 14). Оптичната вълноводна структура – едномодово влакно – планарен вълновод (разпределен разклонител), се използва и за създаването на широкоивични пренастройваеми поляризационни филтри.

При изработването на сензорните елементи са приложени успешно няколко различни вакуумни техники за непрекъснато физическо отлагане на слоеве от оптично прозрачни материали, за да се произведат планарни вълноводи с възпроизводим параметри, висока адхезия към повърхността на влакната и

дълготрайна стабилност: тънки филми от хидрогенериран аморфен силиций (a-Si:H), отложен чрез плазмено усилено химично разлагане на силан, импулсно лазерно отлагане на различни метални оксиди (ZnO , SnO_2 , In_2O_3 , WO_3), магнетронно разпрашаване за получаване на Ta_2O_5 тънки слоеве, атомно отлагане на ZnO и $ZnO:Al$ тънки слоеве. В процеса на отлагане на a-Si:H филми и импулсно лазерно отлагане на металоксидни тънки слоеве е приложена оптична схема за *in situ* контрол на оптичната дебелина на филмите, която позволява спектралното положение на модовите резонанси да се контролира в рамките на няколко нанометра.



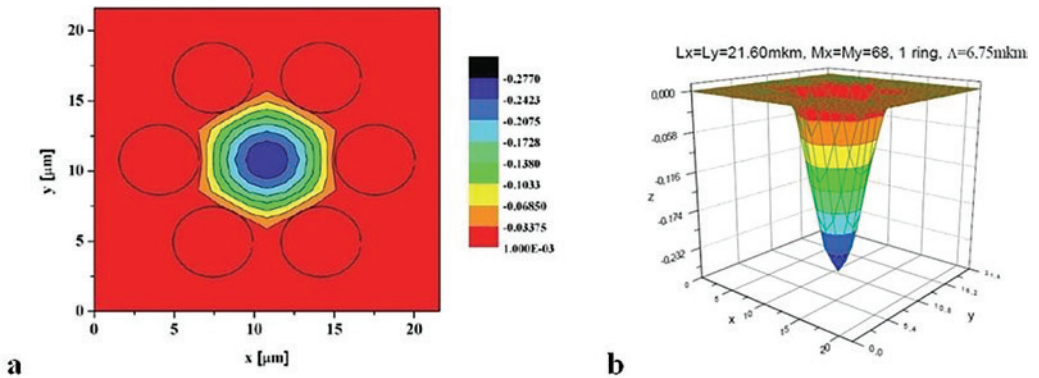
Фигура 13. Общ вид и надлъжно сечение на разпределен разклонител едномодово влакно-планарен вълновод



Фигура 14. Зависимост на изходния сигнал на сензорен елемент с ZnO слой от концентрацията на амонячен газ: (a) 0 ppm, (b) 500 ppm, (c) 1000 ppm, (d) 2000 ppm, (e) 5000 ppm [45]

Важна част от експериментите са посветени на приложението на тези влакнестооптични компоненти за рефрактометрични сензори. Постигната е висока чувствителност на сензорните елементи към промените в показателя на пречупване на средата, която е в контакт с планарния вълновод. Установено е, че при използване на взаимодействието с TE_1/TM_1 модове на планарния вълновод чувствителността към показателя на пречупване на заобикалящата среда е от порядъка на 200 – 800 nm/RIU в спектралния диапазон 700 nm – 1000 nm, и

1200 – 1700 nm/RIU в диапазона 1200 nm – 1600 nm. Отлагането на филми от метален оксид с показатели на пречупване в рамките на 1,8 – 2,2 позволява да се използват най-нисшите модове (TE_0/TM_0) на планарния вълновод, при което вълноводната структура показва много висока чувствителност – 3000 – 7000 nm/RIU за ниските стойности на показателите на пречупване 1,33 – 1,40 (които съответстват на биомедицински обекти). Така, с използване на тънкослойни планарни вълноводи от Ta_2O_5 и спектрометър, оборудван с CCD линийка, е извършено успешно детектиране на ДНК-молекули, маркирани със златни частици.



Фигура 15. Контурна (а) и триизмерна (б) графика на магнитното поле на основния мод на ФКВ

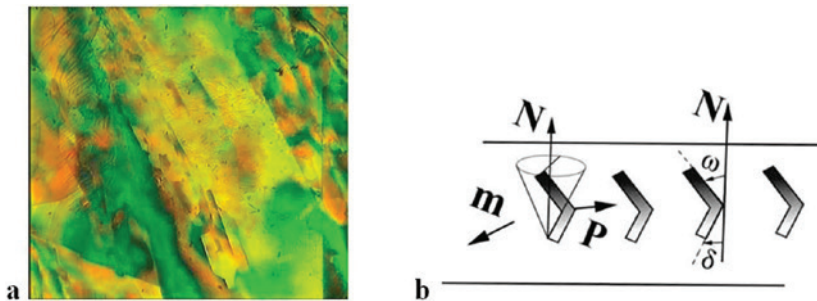
Друга важна област от дейността на групата е численото моделиране на вълноводните характеристики на D-образните влакна с използване на метода на Галеркин с цел анализ и получаване на оптимални условия на работа на сензорните елементи [48] с вписани в сърцевината Брегови решетки. Важен принос е усъвършенстването на този метод при пресмятане на фотоннокристални влакна (ФКВ) с произволно разположение на дупки с постоянен показател на пречупване и на ФКВ с дупки, съдържащи материални включения, с точно отчитане на показателя на пречупване на ФКВ [49, 50], както и на аналитичното пресмятане на интегралните матрични елементи за определяне на константите на разпространение и напречните разпределения на електромагнитните полета на вълноводните модове на ФКВ (Фигура 15).

Оптика и спектроскопия на течни кристали и нанокompatитни материали

Систематичните експериментални и теоретични изследвания в тази област започват в Лабораторията в началото на 70-те години на миналия век с вибрационна спектроскопия на широк клас термотропни течни кристали [51, 52].

Създаден е модел [53], обясняващ наблюдаваната електродинамична нестабилност на смектичните С и нематичните с близък смектичен порядък кристали, при които е установен и ефектът електрооптична памет. Открити и обяснени са редица ефекти в нематичните течнокристални фази (спонтанно усукване и бифуркация на ориентацията, флексоелектрична нестабилност, ороелектрична поляризация. Създадени са теоретични модели за взаимодействието на мономерни и димерни с хидрофилни и хидрофобни повърхности и за формирането на дендрити в нематичите [54].

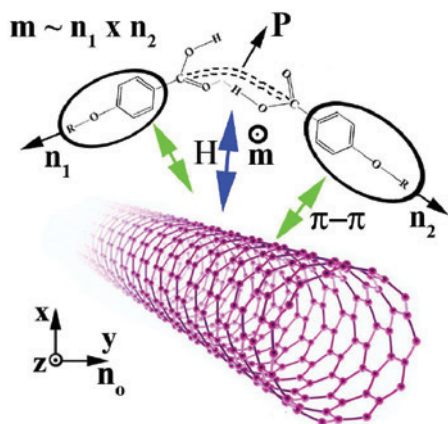
Откриването на фeroелектричната смектична фаза C_G в нискомолекулярни димерни течни кристали и създаването на електрохидродинамичната теория на смектик С течен кристал са от съществените научни приноси на Лабораторията. Създаден е молекулен и макроскопичен модел на фeroелектричното C_G състояние [55]. Открит е уникален структурен преход между класически нематик и нематик с близък смектичен С порядък. Значим резултат е и установяването на C_G фаза с възможно най-ниската триклинна симетрия и фeroелектрична обемна поляризация (Фигура 16), аналог на твърдотелен фeroелектрик, но с подобрени електрооптични свойства.



Фигура 16. (a) Структура на хиралната смектична C_G фаза в нанокomпозитния ахирален с водородни връзки течен кристал (7OBA) –CNTs09; (b) Най-ниската триклинна симетрия, характеризираща смектичната C_G фаза

Съществен дял от дейността по тази тематика е получаването и изследването на нови материали – нанокomпозити на димерни течни кристали – смеси от водородно свързани димерни течни кристали, служещи като матрица и немезогенни (едностенни въглеродни тръбички [56], хидроксипиридин, перфлуорооктанова киселина и др.) (Фигура 17) или мезогенни (холестерилбензоат и др.) добавки; композити от наноструктурирани течни кристали и наночастици с различна форма и големина – силициеви, златни, графенови, сребърни, фотоактивни нематични нанокomпозити и трикомпонентни нанокomпозити (с добавен фоточувствителен или фотоактивен агент) [57], нанокomпозити на

базата на дискотични течни кристали и въглеродни нанотръбички, [58], твърди йоннопроводящи полимерни композитни електролити с добавени наночастици или течни кристали [59], композитни електролити на основата на полимер и нематичен течен кристал [60].



Фигура 17. Молекулен модел на 7OBA/SWCNT нанокомпозит, изграден от два самосглъбяващи се материала – LC 7OBA, съдържащ димери с водородни връзки и едностенни въглеродни нанотръби (SWCNT)

Многобройните научно-приложни изследвания са свързани с възбуждането на повърхнинен плазмонен резонанс в система анизотропен хирален диелектрик-метал [61], с дифракцията от тънки течнокристални слоеве [62], с нелинейните ефекти (ГВХ) в тънки течнокристални слоеве [63], с електрооптичните дифракционни характеристики на еднослойни фазови решетки от полимерно диспергиран течен кристал; с факторите, влияещи върху електрооптичните свойства на нанокомпозитите, с оптималната концентрация на смесите, водеща до най-ефективни електрооптични процеси и т.н. Всички те са насочени към потенциалните практически приложения на тези нови материали във фотониката, за фотоконтролируема електрооптика, модулатори, атенюатори и сензорни елементи, елементи с електрооптично индуцирана памет, за ефективен контрол на лазерно лъчение, контрол и обработка на сигнали и детектиране на ел. полета [64], в органичната електроника (дисплеи, полевни транзистори), сензориката и мехатрониката, за ново поколение устройства за съхраняване на електрична енергия.

Разработена е методика за изследване и охарактеризиране на течнокристалните материали и композити по отношение на техните оптични, електрооптични, диелектрични и термооптични характеристики, базирана на набор от методи, която успешно се използва и при други материали, напр. при изследване на двуслойни липидни мембрани за получаване на техните физични характеристики или на фосфолипидни монослоеви за приложение в микробиосензори [65].

Литература

- [28] E. Loewen, E. Popov, *Diffraction Gratings and Applications*, Publisher: CRC Press; 1st Edition, (1997)
- [29] L. Mashev, S. Tonchev, *Applied Physics B*, 28, 349 [1982]
- [30] N. Destouches, A. Tishchenko, J.-C. Pommier, S. Reynaud, O. Parriaux, S. Tonchev, M. Abdou-Ahmed, *Optics Express*, 13, 3230 (2005)
- [31] F. Canova, O. Uteza, J.-P. Chambaret, M. Flury, S. Tonchev, R. Fechner, O. Parriaux, *Optics Express*, 15, 15324 (2007)
- [32] N. Destouches, J.-C. Pommier, O. Parriaux, T. Clausnitzer, N. Lyndin, S. Tonchev, *Optics Express*, 14, Iss. 26, 12613 (2006)
- [33] O. Parriaux, J.F. Bisson, K. Ueda, S. Tonchev, E. Gamet, J.C. Pommier, S. Reynaud, *Journal of Modern Optics*, 55, 1899 (2008)
- [34] S. Tonchev, A. V. Tishchenko, O. Parriaux, *AIP Conf. Proc.*, 1203, 973 (2010)
- [35] O. Parriaux, N. Lyndin, T. Kämpfe, S. Reynaud, S. Tonchev, *Optics Express*, 23, 17275 (2015)
- [36] T. Kämpfe, S. Tonchev, G. Gomard, Ch. Seassal, O. Parriaux, *IEEE Photonics Journal*, 3, 1142 (2011)
- [37] S. Tonchev; O. Parriaux, T. Tenev; I. Miloushev; D. Troadec; G. Patriarche, *Plasmonics*, 8, 829 (2013)
- [38] S. Tonchev, Y. Jourlin, C. Veillas, S. Reynaud, N. Lyndin, O. Parriaux, J. Laukkanen, M. Kuittinen, *Optics Express*, 20, 7946 (2012)
- [39] H. Hirshy, S. G. Scholz, Y. Jourlin, S. Tonchev, S. Reynaud, A. Boukenter, O. Parriaux, *Microsystem Technologies*, 20, 1833 (2014)
- [40] P. Mëuller, Y. Jourlin, C. Veillas, G. Bernaud, Y. Bourgin, S. Tonchev, O. Dellea, *Optical Engineering*, 50, 038001 (2011)
- [41] F. Garrelie, J. P. Colombier, F. Pigeon, S. Tonchev, N. Faure, M. Bounhalli, S. Reynaud, O. Parriaux, *Optics Express*, 19, 9035 (2011)
- [42] A. Andreev, B. Panchev, P. Danesh, Bl. Zafirova, E. Karakoleva, *Thin Solid Films*, 330, 150 (1998)
- [43] A. Andreev, B. Zafirova, E. Karakoleva, A. Dikovska, P. Atanasov, *Journal of Optics A*, 10, 531 (2008)
- [44] A. Dikovska, P. Atanasov, T. Stoyanchov, A. Andreev, B. Zafirova, E. Karakoleva, *Applied Surface Science*, 254, 1087 (2007)
- [45] A. Dikovska, P. Atanasov, T. Stoyanchov, A. Andreev, E. Karakoleva, B. Zafirova, *Applied Optics*, 46, 2481 (2007)
- [46] A. Andreev, B. Pantchev, P. Danesh, B. Zafirova, E. Karakoleva, E. Vlaikova, E. Alipieva, *Sensors and Actuators B*, 106, 484 (2005)
- [47] T. Babeva, A. Andreev, J. Grand, M. Vasileva, E. Karakoleva, B. Zafirova, B. Georgieva, J. Koprinarova, S. Mintovac, *Sensors & Actuators B*, 248, 359 (2017)
- [48] E. Karakoleva, A. Andreev, B. Zafirova, *Journal of Optics A*, 8, 1034 (2006)
- [49] E. Karakoleva, B. Zafirova, A. Andreev, *Bulgarian Chemical Communications*, 47, 21 (2015)
- [50] E. Karakoleva, B. Zafirova, A. Andreev, M. Kuneva, *AIP Conference Proceedings*, 2075, 030003-1 (2019)
- [51] Н. Киров, П. Симова, *Vibrational Spectroscopy of liquid crystals*, Publishing House of the BAS, Sofia (1984)
- [52] P. Simova, N. Kirov, M. Fontana and H. Ratajczak, *Atlas of Vibrational spectra of liquid crystals*, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, Singapore (1988)
- [53] B. Petroff, M. Petrov, P. Simova, A. Angelow, *Ann. Phys. (Paris)*, 3, 331 (1978)

- [54] S. Torgova, M. Petrov, A. Strigazzi, *Liq. Cryst.*, 28, 1439 (2001)
- [55] M. Petrov, *Optical and Electro-optical Properties of Liquid Crystals: Nematic and Smectic Phases*, Nova Science Publishers, Inc. New York (2010)
- [56] B. Katranchev, M. Petrov, *Phase Transitions*, 89, 115 (2016)
- [57] G. Hadjichristov, Y. Marinov, A. Petrov, S. Prasad, *J. Phys: Conf. Series*, 794, 012037 (2017)
- [58] G. Hadjichristov, G. Exner, Y. Marinov, T. Vlahov, *Journal of Physics: Conference Series*, 1762, 012011 (2021)
- [59] G. Hadjichristov, Tz. Ivanov, Y. Marinov, H. Koduru, N. Scaramuzza, *Physica Status Solidi (A)*, 216, 1800739-1 (2019)
- [60] H. Koduru, F. Scarpelli, Y. Marinov, G. Hadjichristov, P. Rafailov, I. Miloushev, A. Petrov, N. Godbert, L. Bruno, N. Scaramuzza, *Ionics*, 24, 3459 (2018)
- [61] K. Zhelyazkova, G. Dyankov, M. Petrov, B. Katranchev, *J. Phys.: Conf. Ser.*, 558, 012023 (2014)
- [62] G. Hadjichristov, Y. Marinov, *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 632, 9 (2016)
- [63] A. Ayriyan, E. Ayriyan, A. Egorov, G. Hadjichristov, Y. Marinov, I. Maslyanitsyn, A. Petrov, J. Pribis, L. Popova, V. Shigorin, A. Strigazzi, S. Torgova, *Physics of Wave Phenomena*, 24, 259 (2016)
- [64] G. Hadjichristov, Y. Marinov, A. Petrov, E. Bruno, L. Marino, N. Scaramuzza, *J. Appl. Phys.*, 115, 083107 (2014)
- [65] G. Hadjichristov, Y. Marinov, T. Vlahov, N. Scaramuzza, *Advances in Biomembranes and Lipid Self-Assembly*, 34, 129 (2021)

LABORATORY OF OPTICS AND SPECTROSCOPY – CHALLENGES OF NEW MATERIALS, TECHNOLOGIES, METHODS AND APPLICATIONS part 2

Mariana Kuneva

The second part of the review dedicated to the 50th anniversary of the Laboratory of Optics and Spectroscopy of ISSP-BAS comprises the most important achievements of the scientists in the field of holographic diffraction gratings, fiber optics and optics and spectroscopy of liquid crystals and nanocomposite materials.

The systematic experimental and theoretical studies are focused on methods, technologies, models and experiments conducted together with fundamental studies, emphases being made on the applications in science and industry.

ПРИЛОЖНА ФИЗИКА И КОМПЮТЪРНО МОДЕЛИРАНЕ – МОДЕРНАТА СПЕЦИАЛНОСТ

В рамките на кандидатстудентската кампания 2023 Техническият университет – София представя специалността „Приложна физика и компютърно моделиране“.

През 2018 г. в ТУ – София, в професионалното направление „Общо инженерство“, е открита бакалавърска специалност „Приложна физика и компютърно моделиране“, наследник на съществуващата бакалавърска специалност „Инженерна физика“. Специалността „Приложна физика и компютърно моделиране“ е насочена към задълбочено изучаване на физичната същност на процесите и явленията, чрез които се развиват и реализират модерните фотонни, лазерни, оптични, електронни и нанотехнологии и други области на съвременната техника. Друга основна насока на специалността са компютърното моделиране и симулации, които в наши дни заместват много от скъпите физични експерименти и същевременно позволяват да се получи необходимата за дадена технология информация за свойствата на изследваните обекти и системи и процесите, протичащи в тях. Обучаващите се в специалността усвояват използването на компютърни технологии и професионални софтуерни продукти от високо ниво за решаването на практически задачи с инженерно приложение. Обучението включва и задължителния комплекс от инженерни, езикови, икономически и бизнес знания и умения, нужни за успешна реализация в индустрията.

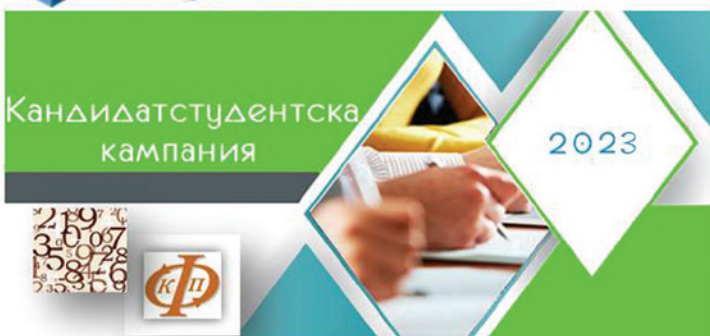


Специалността „Приложна физика и компютърно моделиране“ има за цел подготвянето на специалисти, които да са свързващо звено между фундаменталните знания, научните разработки, компютърното моделиране и симулации и индустриалните им приложения. Такива специалисти имат важна роля в прилагането на иновации и най-нови научни постижения.

Комплексният подход при обучението в предлаганата специалност осигурява на завършилите бакалаври по-голяма мобилност, адаптивност, кариерно развитие и възможност успешно да се впишат в съвременните изисквания на пазарната среда за развитие на индустрията.

Завършилите инженер-физики от специалност „Приложна физика и компютърно моделиране“ са подготвени да се реализират като конструктори, специалисти по проектиране, разработване и експлоатация на продукти във високотехнологични компании в областта на оптичните технологии, фотониката, лазерната техника, материалнообработването и микромашинните технологии, световодните комуникационни системи и прибори, на микро- и нанотехнологиите за електронни и оптоелектронни прибори.

Подходящо място за приложение на получените знания и умения може да бъде изследователска работа в институтите на БАН и в университетите, както и позиции на преподаватели в университети, търговски представители или дистрибутори на техника, представители на фирми, занимаващи се с инженерингова дейност.



Факултет приложна математика и информатика

Катедра приложна физика

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

ПРОФЕСОР ДОКТОР НА ФИЗИЧЕСКИТЕ НАУКИ ИВАН ЖЕЛЯЗКОВ ПЕТКОВ

АНТОН Н. АНТОНОВ



Навършиха се 90 години от рождението на професор доктор на физическите науки Иван Желязков Петков. Роден е през 1932 г. в Сливен в семейство на работници. Завършва гимназия в родния си град и специалността „физика“ в Софийския университет „Свети Климент Охридски“ през 1956 г. В течение на три години работи във Физическия институт на БАН. Постъпва като аспирант в Московския университет „М. Ломоносов“. От 1962 г. до 1970 г. е научен сътрудник и старши научен сътрудник в Лабораторията по теоретична физика на Обединения институт за ядрени изследвания в гр. Дубна (Русия), където през 1966 г. защитава дисертация за научната степен „кандидат на физико-математическите науки“. От 1970 г. работи във Физическия институт на БАН и впоследствие, от 1972 г., като старши научен сътрудник в Института за ядрени изследвания, където създава проблемната група по теория на атомното ядро в Сектора по теоретична физика. През 1976 г. защитава дисертация за научната степен „доктор на физическите науки“, а през 1983 г. е избран за професор.

Професор д.фз.н. Иван Ж. Петков е автор и съавтор на повече от 150 научни труда, публикувани в авторитетни научни списания по ядрена физика, като *Nuclear Physics A*, *Annals of Physics*, *Zeitschrift für Physik A*, *Journal of Physics G*, *Soviet Journal of Nuclear Physics* и други. Той е съавтор на три монографии по ядрена физика, като две от тях са издадени от *Clarendon Press (Oxford)*: „*Nucleon Momentum and Density Distributions in Nuclei*“ (1988) и „*Nucleon Density Functional Theory*“ (1991) и една от *Springer Verlag (Berlin)*: „*Nucleon Correlations in Nuclei*“ (1993).

Научните постижения на проф. Иван Петков са в няколко направления: еластично и нееластично разсейване на електрони от атомни ядра; физика на тежките йони (като сред тях са негови пионерни работи по ядрено сливане); теорията на оптичния потенциал; ефекти на нуклонни корелации в ядрената структура и реакции; теорията на функционала на плътността и приложенията ѝ към ядрени, атомни и молекулни системи и др. Той е докладвал научните си резултати на авторитетни научни конференции и семинари в Англия, Германия, Дания, Русия, Франция, Япония и България.

Проф. Иван Ж. Петков е бил ръководител на осем успешно защитени от негови аспиранти кандидатски дисертации. Участвал е активно и в работата по подготовка и защита на две дисертации за научната степен „доктор на науките“ от негови сътрудници. Ръководил е Катедрата по физика в Шуменския университет „Епископ Константин Преславски“ (1973 – 1976), като е бил лектор по теоретична физика и атомна и ядрена физика. Подготвил е курс и е чел лекции по „Теория на ядрените реакции“ във Физическия факултет на Софийския университет „Св. Климент Охридски“. През годините професор Иван Петков е бил научен секретар на ИЯИЯЕ – БАН и заместник-директор на Единния център по физика при БАН.

Професор Иван Ж. Петков дава идеята за провеждането на Международния семинар по теория на атомното ядро в Рила и е председател на Организационния комитет по провеждането му от 1980 г. до края на живота си през 1995 г. До 2022 г. са проведени 39 издания на Семинара, който дава начало и е средище на ползотворни сътрудничества на учени от цял свят. В него са участвали като лектори световноизвестни учени от всички континенти. Семинарът е особено полезен за студенти, докторанти и млади научни работници.

През 1995 г. българската физическа наука загуби един забележителен, международно признат учен в областта на теорията на ядрената структура и ядрените реакции – професор д.фз.н. Иван Желязков Петков. Той вложи много сили за обучението и развитието на учени в областта на ядрената теория, които продължават делото му в известната и авторитетна сред физическата колегия у нас и в чужбина Лаборатория по теория на атомното ядро в Института за ядрени изследвания и ядрена енергетика при Българската академия на науките.

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

МИЛКА ДЖИДЖОВА НА 75 ГОДИНИ



Дългогодишният член на УС на СФБ и Почетен член на професионалната организация на българските физици г-жа Милка Джиджова на 11 февруари 2023 г. навърши 75 години. Родена е в град Пловдив, където завършва средното и висшето си образование. Веднага след дипломирането си започва работа по разпределение като учител по физика, електротехника и астрономия в гр. Шумен, а след това – в Кърджали. От 1974 г. работи в Окръжна станция на младите техници – Пловдив като завеждащ отдел „Организационно методичен“, а по-късно – като заместник-директор. От есента на 1987 г. е учител по физика в 74 СУ „Гоце Делчев“ – София, където работи 25 години и създава екоklub „Гея“. През 2001 г., по проект на екоklub „Гея“, финансиран от Регионален екологичен център за Централна и Източна Европа, се създава Националния ученически екопарламент, на който г-жа Джиджова е учредител и председател в продължение на 15 години, а от октомври 2016 г. – негов почетен председател. Като председател на Националния ученически екопарламент Милка Джиджова е и член на жури в конкурси на мрежата за неформално образование за устойчиво развитие „Златен орех“, фондация „Вигория“, фондация „Екоцентрик“, Екологично сдружение „За Земята“ и др.

Г-жа Джиджова е активен член на журито и негов секретар на Националните фестивали за учители по природните науки „Наука на сцената“ и в подборните кръгове за участие на България в едноименните европейски събития. Член е на УС на фондация „Вигория“, която е с предмет на дейност „Образование, екология, култура“.

Като дългогодишен преподавател по физика и астрономия г-жа Джиджова защитава всички степени за професионална квалификация на учители. Има следдипломна специализация по теория на обучението и възпитанието в СУ „Св. Кл. Охридски“. За високи резултати в професията си е получила редица отличия. През 2001 г. е обявена от Съюза на българските учители за Учител на годината по природни науки и е удостоена от МОН с грамота „Неофит Рилски“, а през 2010 г. получава отличието на Международната фондация „Св. св. Кирил и Методий“, за *принос в откриване и развитие на млади таланти в областта на физиката и създаване на подходяща учебна среда по физика*. От 2006 г. е член на Управителния съвет на Съюза на физиците в България. Дългогодишен член и секретар е на Организационните комитети на ежегодните Национални конференции по въпросите на обучението по физика. Тя е член на журито,

инициатор и организатор на фотографски конкурси и изложби за ученици и студенти в традиционните Младежки сесии на Националните конференции. За активната си и всеотдайна дейност при осъществяване на инициативите на СФБ през 2011 г. е удостоена със званието Почетен член. През 2016 г. по повод на 60-годишнината на Обединения институт за ядрени изследвания в Дубна е отличена с почетен юбилеен плакет *за особен принос в обучението по физика*. През същата година е удостоена от фондация „Вигория“ с почетен плакет „Златна детелина“, направление „Екология“, *за своята цялостна професионална кариера на учител, съпроводена с много любов и всеотдайност към възпитаниците си, за своя принос за утвърждаване на Екопарламента като национална младежка организация с разнообразна и съдържателна дейност, деен фактор в образованието за околна среда и устойчиво развитие, за своята компетентност, отговорност и доброволен труд в полза на младите*.

Изразявайки своята благодарност към г-жа Джиджова за безкористната ѝ отдаденост на каузата на Съюза на физиците в България, ѝ пожелаваме здраве, енергия и успехи във всички начинания!

Пенка Лазарова
Съюза на физиците в България



Поколение, което твори!
<https://photonics.bg/>



МЛАДЕЖКА НАУЧНА СЕСИЯ



за ученици и студенти на тема:
„ФИЗИКАТА ЗА ЕДИН ПО-ДОБЪР СВЯТ“

11 и 12 април 2023 г.
по време на 51-ата 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., град София)

Младежката научна сесия е част от събитията, включени в Националния план за отбелязване на Международната година на фундаменталните науки за устойчиво развитие (<https://iybssd.bg/>).

Участниците в сесията могат да представят компютърни презентации, интернет страници, идеи за компютърна анимация, разработки на демонстрации с теми по избор, свързани с темата на Младежката сесия. Препоръчително е в разработките да се посочват източниците на използваната информация (книги, сайтове, публикации и т.н.).

Младежката сесия ще се проведе в хибриден вариант – според желанието и възможностите на участниците:

- **присъствено** – в зала на Физическия факултет на СУ „Св. Климент Охридски“ в град София;
- **в онлайн режим** – чрез платформа, информация за която ще бъде изпратена на участниците допълнително и ще бъде качена на интернет страницата на конференцията: <http://upb.phys.uni-sofia.bg/conference/NK/51NK.html>.

Заявките за участие в Младежката научна сесия се подават чрез попълване на регистрационна форма: <https://forms.gle/L9X38ymDmeCr8jGW8>.

Краен срок за получаване на заявките – 20.03.2023 г.

Повече информация на:

<http://upb.phys.uni-sofia.bg/conference/NK/51NK.html>

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



ФИЗИЦИ И ПОСТИЖЕНИЯТА ИМ В ИЗСЛЕДВАНЕТО НА КЛИМАТИЧНИТЕ ПРОМЕНИ И ОПАЗВАНЕТО НА ОКОЛНАТА СРЕДА¹

Стивън Пашалиев,
научен ръководител: Милка Хаджиева,
ППМГ „Васил Левски“, гр. Смолян

Преди няколко десетилетия понятие като „климатични промени“ може би е звучало странно и малко хора са чували за него, а единици учени, занимаващи се с климатичните промени, са имали възможността да го видят с очите си. Разбира се, с течение на времето понятието се разпространява и придобива по-широк смисъл, а хората започват да проявяват интерес към него. Промяната в климата обаче съвсем не е нещо ново и модерно. Парниковият ефект е една от най-ясно установените теории в науката за атмосферата. Колкото се отнася до глобалното затопляне като следствие от човешката дейност – тази концепция вече над два века е обект на изследване, научни дебати и постоянни, надграждащи се нови и нови открития. Може би връщането назад във времето към първите експерименти ще допринесе за по-разбираемо представяне на промяната в климата. Затова Ви представям 10 физици и техните постижения в изследването на климатичните промени:

➤ Жан Батист Жозеф Фурие – френски математик и физик. Известен е най-вече с изследванията си върху редовете на Фурие и техните приложения в задачи, свързани с топлообмена и вибрациите. Смятан е и за откривател на парниковия ефект. Той установява, че топлината се запазва по-добре във въздуха, отколкото във вакуум. Фурие е първият, който допуска хипотезата, че човешката дейност може да повлияе на климата в бъдеще. Експериментални изследвания обаче са публикувани 30 години по-късно, а техен автор е Юнис Нютън Фут – първата жена в науките за климата и атмосферата.

➤ Юнис Нютън Фут провежда серия от научни експерименти, за да разбере дали слънчевите лъчи имат някакъв ефект върху различни газове. Тя изпробва теорията си с помощта на прости инструменти: въздушна помпа, два стъклени цилиндъра и четири термометъра. Фут слага във всеки от цилиндрите по един термометър. След това използва въздушната помпа, за да изкара

¹Есе, отличено с III награда във възрастовата група 9 – 12 кл. в Националния конкурс за есе „Физика, физици и околна среда“.

въздуха от единия цилиндър, и го кондензира в другия. После добавя и малко влага и поставя цилиндрите на слънце. След тестване на различни газове, Фут съставя теорията, че количеството на тези газове в атмосферата ще има влияние върху самата температурата на атмосферата. Тя става първият човек в историята, който формира успешно теория за това, което днес наричаме „парников ефект“.

➤ Джон Тиндал – използвайки изследването на Фут, че не слънчевото лъчение затопля атмосферата, а инфрачервеното излъчване от вече затоплената от Слънцето земна повърхност, доказва, че за разлика от доминиращите в атмосферата азот и кислород – водната пара, въглеродният диоксид и метанът задържат топлината. Той заключава, че промяна в количеството на H_2O или CO_2 може да е предизвикало „всички мутации в климата, за които проучванията на геолозите говорят“, имайки предвид ледниковите епохи в миналото.

➤ Сванте Август Арениус е шведски учен, ръководител на Нобеловия институт в Стокхолм и професор в Шведската кралска академия по физико-химия. Той за първи път проучва парниковия ефект количествено. Опитът му се изразява в количественото отношение между концентрацията на CO_2 в атмосферата и промяната в температурите на земната повърхност. За този ефект Арениус въвежда термина „hot house“, който по-късно се нарича *greenhouse effect* – парников ефект. Според изчисленията му, ако атмосферата се затопли, вследствие от покачване концентрацията на въглероден диоксид, неминуемо ще се увеличи и количеството на водната пара в атмосферата – също парников газ. Резултатът от повишението в нивата на тези парникови газове води до ускоряване на глобалното затопляне. В своя труд „Светове в творението: Еволюцията на Вселената“ Сванте Арениус изчислява, че при намаляване съдържанието на CO_2 в атмосферата наполовина, глобалната температура ще падне с около 4°C , а с всяко удвояване ще се повишава с 4°C . Той обаче смята, че Световният океан ще абсорбира по-голямата част от CO_2 , отделян от индустриалното производство, и само малка част от остатъчните парникови газове могат да окажат някакво доловимо въздействие върху климата, и то чак в хода на следващите няколко века. Това ще задейства топенето на ледената покривка на планетата, което ще намали албедото на Земята, вследствие на това повърхността ще поглъща още повече топлина и температурата ще се повишава. От друга страна, Арениус вижда и положителната страна на повишаването на температурата. Според него то ще окаже благоприятно въздействие върху земеделието с по-богати реколти и повече територии за обработване. Подобно на Джон Тиндал и Арениус търси причините за ледниковите епохи в миналото. Заключениеето му е, че ако намаляването на CO_2 е причина за падането на температурите в

далечната история, то генерирането на повече CO_2 от индустрията би могло да предотврати нови ледникови епохи. Научният принос на Сванте Арениус е забележителен. Той първи изразява тезата, че ако изпаряваме залежите си от въглища във въздуха, ще последва глобално затопляне. Много от неговите изчисления обаче са оспорени, откриват се и редица неточности. Оказва се, че греша за скоростта на абсорбиране на CO_2 от океана и растителността, също не споменава и за свойството на облаците да поглъщат инфрачервено лъчение, но все пак говорим за науката от началото на миналия век.

➤ Гай Стюарт Календар – британският инженер, който изчислява, че температурите през предходните 50 години са се увеличили. Според него в атмосферата са били изхвърлени 150 000 млн. т CO_2 , като близо $\frac{3}{4}$ от това количество е останало в атмосферата. Той първи доказва, че допълнителното повишаване на CO_2 в атмосферата от Индустриалната революция насам може да доведе до засилване на парниковия ефект и глобална промяна в климата. Много от изчисленията на Календар се потвърждават от най-съвременните изследвания. Освен за значително по-бавното поглъщане на CO_2 от океана, изследванията на Календар се оказват доста точни и за градусите, с които ще се повиши температурата при удвояването му в атмосферата. Това според него са 2 °C. Съвременните изчисления прогнозираят вариация между 1,5 и 4,5 °C повишение на средната глобална температура при удвояване на CO_2 . В края на 30-те години на XX в. Календар предвижда затопляне на атмосферата, вследствие на отделяния CO_2 в индустрията и бита. Изследванията му сочат, че това ще се случи още в следващите 20 години. Точно обратното – температурите в следващите 40 години дори спадат леко. Тогава науката се запознава и с друг неприятен факт – аерозолното замърсяване. Охлаждащият ефект на аерозолите (насищане на долните слоеве на атмосферата с фини частици) обяснява закъснялото глобално затопляне, предвидено от Календар.

➤ Чарлз Дейвид Кийлинг – професорът по океанография, който стартира „дългосрочен проект за измерване на ефектите от изгаряне на въглища, петрол и природен газ върху разпространението на CO_2 в атмосферата“. Първите точни данни за концентрациите на CO_2 в атмосферата, с които днес разполагаме, са благодарение на този проект. След него измервания започват да се правят на много места по земното кълбо. В свое изследване Кийлинг отбелязва, че за период от 12 години – от 1959 до 1971 г., концентрацията се е повишила с 3,4%.

➤ Сюкуро Манабе, Клаус Хаселман и Джорджо Паризи – изследванията на Манабе по темата започват още през 60-те години на миналия век, когато той демонстрира как повишения в нивото на въглеродния диоксид влияят върху покачването на световната температура. Около десетилетие по-късно

Хаселман създава модел, който свързва климата с метеорологичните условия и обяснява защо климатичните модели са надежден начин да се разчете при-видно хаотичният характер на времето. Заедно с това той открива начини за търсене на специфични сигнали за човешко влияние върху климата. Приносът на Паризи е, че построява детайлен физичен и математически модел, който помага за разбирането на системи в различни сфери като математика, биология, неврология и др.

➤ Всяко от последните четири десетилетия е по-топло от предходното и по-топло от всяко десетилетие от 1850 г. насам, а трите години с най-висока глобална средна температура, откакто се правят такива измервания, са: 2016, 2019 и 2020 г. Междувременно, ако през ледниковите периоди съдържанието на CO₂ в атмосферата е около 185 ppm, а преди Индустриалната революция около 278 ppm, то през 1970 г. концентрацията е приблизително 326 ppm; през 1980 г.: 339 ppm; през 1990 г.: 354 ppm, през 2000 г.: 369 ppm; през 2010 г.: 390 ppm. В края на 2020 г. вече е 413 ppm.

Източници на използваната информация:

1. <https://www.climateka.bg/evolutsia-nauka-climatichni-promeni/>
2. Arrhenius, Svante. *Worlds in the making: the evolution of the universe*. Harper, 1908: 229
3. Callendar, Guy Stewart. *The Artificial Production of Carbon Dioxide and Its Influence on Temperature*. Quarterly Journal Royal Meteorological Society vol. 64, 1938: 223–240.
4. ESRL (Earth System Research Laboratory). National Oceanic and Atmospheric Administration, USA. *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide*. Jan 2021.
5. Foote, Eunice (Elisha). *On the Heat in the Sun's Rays*. The American Journal of Science and Arts. vol. XXII, November 1856.
6. Fourier, Jean-Baptiste Joseph. *Mémoire sur la température du globe terrestre et des espaces planétaires*. Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, 1827: 569–604.
7. Held, Isaac and Brian J. Soden. *Water Vapor Feedback and Global Warming*. Annual Review of Energy and the Environment, Nov.2000: 441-475.
8. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). *Historical Overview of Climate Change Science*, 2007: 127.
9. James, Frank A.J.L. *John Tyndall's discovery of the 'greenhouse effect'*. Royal Society of Chemistry, Environmental Chemistry Group Bulletin, January 2012.
10. <https://www.ploshtadslaveikov.com/nobelova-nagrada-za-fizika-za-trima-ucheni-izsledvali-klimatichnite-promeni/>
11. <https://www.climateka.bg/mit-nauka-globalno-zatoplyane-klimatichni-promeni-ucheni/>
12. https://bg.wikipedia.org/wiki/Жозеф_Фурие
13. Pilson, Michael. *We Are Evaporating Our Coal Mines into the Air*. *Ambio*, vol.35, no.3, May, 2006: 130-133.
14. Rodhe, Henning and Robert Charlson, Elisabeth Crawford. *Svante Arrhenius and the Greenhouse Effect*. *Ambio*, Vol.26, No.1, Arrhenius and the Greenhouse Gases, Feb.1997: 2-5

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



ПРИЧИНИ ЗА КЛИМАТИЧНИТЕ ПРОМЕНИ, ПОСЛЕДИЦИТЕ ОТ ТЯХ И ВЛИЯНИЕТО ИМ ВЪРХУ ОКОЛНАТА СРЕДА¹

Стилиян Иванов,
научен ръководител: Недялка Траянова,
ЕГ „Иван Вазов“, гр. Пловдив

Изменението на климата засяга природата, живота на хората и инфраструктурата навсякъде. Неговите опасни и всеобхватни въздействия са все по-очевидни във всеки регион на нашия свят. Първоначално климатичните промени са се свързвали повишаването на температурата на въздуха и дългосрочното затопляне на планетата, наречено „глобално затопляне“. В Пети доклад за оценка от Междуправителствения панел по климатичните промени (IPCC 2013, Фондация на ООН от 1998 г.) се твърди, че средните глобални температури са се повишили с около 0,85 °C от 1880 до 2012 г. и че повече от половината от наблюдаваното увеличение в световен мащаб е предизвикано от повишените емисии на въглероден диоксид и други парникови газове.

Парниковият ефект е естествен процес и е открит от Джоузеф Фурие през 1824 г. Без този процес Земята би била твърде студена и биха изчезнали много животински видове. Естествените парникови газове като метан и въглероден диоксид позволяват на слънчевата радиация да достигне до земната повърхност. Изпуснати в атмосферата, тези газове действат като стъкло в парник и улавят слънчевата топлина, спират връщането ѝ обратно в Космоса, което причинява глобално затопляне на планетата.

След индустриалната революция през 1750 г. обаче количеството на тези газове постоянно се увеличава. Човешките дейности са довели до 45% увеличение на атмосферната концентрация на въглероден диоксид – от 280 ppm (части на милион) през 1750 г. до 412,5 ppm през 2020 г. За последен път атмосферната концентрация на въглероден диоксид е била толкова висока преди повече от 3 млн. години по време на топлия период от средата на плиоцена, когато температурата е била с 2 – 3 °C по-висока, отколкото през преиндустриалната ера, а морското равнище е било с 15 – 25 m по-високо от днешното. Това увеличение се е случило въпреки поглъщането на повече от половината от емисиите

¹Есе, отличено с III награда във възрастовата група 9 – 12 кл. в Националния конкурс за есе „Физика, физици и околна среда“.

от различни естествени „поглъщители“, участващи във въглеродния цикъл. Въглеродният диоксид заема 80% от общото количество антропогенни парникови газове, метанът 11%, диазотният оксид 6%, хидрофлуоровъглеродите 2% и под 0,2% – други. Междуправителственият панел по изменение на климата IPCC създава библиотека от база данни EFDB, в която класифицира емисионните фактори от човешка дейност по групи: 1. **Енергия** – дейности от изгаряне на гориво, дигитални емисии от горива, транспортиране и съхранение на въглероден диоксид; 2. **Промишлени процеси и употреба на продукти** – минерална промишленост, химическа индустрия, метална индустрия, неенергийни продукти от употреба на горива и разтворители, електронна индустрия, употреби на продукти като заместители на озоноразрушаващи вещества, производство и употреба на други продукти, други; 3. **Земеделие, горско стопанство и друго използване на Земята**; 4. **Отпадъци** – изхвърляне на твърди отпадъци, биологично третиране на отпадъците, изгаряне на отпадъците, пречистване и заустване на отпадъчни води; 5. **Други** – непреки емисии на диазотен оксид от атмосферното отлагане на азот, азотни оксиди и амоняк.

Друг фактор за увеличаващите се емисии от човешка дейност е нарастването на населението на планетата ни с висока скорост. През 1950 г. то е било около 2,5 млрд., докато към днешна дата е над 7,9 млрд. На всеки две години Организацията на обединените нации прави прогнози за бъдещия растеж на населението. Последната му средна прогноза – най-вероятният сценарий – е население от 9,7 млрд. през 2050 г. и 10,9 млрд. през 2100 г. Топ пет държави, които генерират парникови газове, са Китай, следвани от САЩ, Европейският съюз, Индия и Русия.

Постепенно понятието „изменение на климата“ се разширява и включва по-широк спектър от промени – повишаване на морското равнище, намаляване на площта на планинските ледници, ускоряване на стопяването на леда в Гренландия, Антарктида и Арктика, по-честа проява на екстремни климатични събития и др., които са последица от глобалното затопляне. Те могат да се разглеждат в много аспекти:

1. Недостиг на вода, наводнения и природни бедствия. Повишаващите се температури водят до глобални и регионални промени в моделите на валежите със значително въздействие върху продоволствената сигурност и човешкото здраве и благополучие. През 2021 г. се наблюдава продължение на екстремни събития, свързани с водата. В цяла Азия екстремните валежи причиниха масивни наводнения в Япония, Китай, Индонезия, Непал, Пакистан и Индия. Милиони хора бяха разселени, а стотици бяха убити. Но не само в развиващия се свят наводненията са довели до големи смущения. Катастрофалните наводнения в Европа доведоха до стотици смъртни случаи и широко разпространени

щети. Липсата на вода продължава да бъде основна причина за безпокойство за много нации, особено в Африка. Повече от два милиарда души живеят в условия на воден стрес и липса на достъп до безопасна питейна вода и канализация. Засушаванията ще причинят значителни загуби в земеделието за повечето райони на Европа през XXI в., което няма да бъде компенсирано от ползи за селското стопанство в северната част на континента. Като цяло опасностите, свързани с водата, се увеличават по честота през последните две десетилетия. Покачването на морското равнище представлява екзистенциална заплаха за крайбрежните общности и тяхното културно наследство, особено след 2100 г. През изминалата 2021 г. светът преживя множество екстремни метеорологични явления във всички краища на света – горещи вълни, пожари, наводнения, тропически циклони, бури и застудявания. Много от тях бяха с рекордни характеристики и според водещите научни организации, те са отчасти причинени от антропогенния фактор.

2. Смъртност и заболяемост сред хората и промени в екосистемите вследствие на горещини. Броят на смъртните случаи на хората, изложени на риск от топлинен стрес, ще се увеличи с два до три пъти при 3 °C глобално затопляне в сравнение с 1,5 °C.

3. Океанът абсорбира около 23% от годишните емисии на антропогенен CO₂ в атмосферата, което помага за облекчаване на въздействието на изменението на климата, но с висока екологична цена за океана. По-голямата част от излишната енергия, която се натрупва в земната система поради увеличаване концентрацията на парникови газове, се поема от океана. Добавената енергия затопля океана и последващото термично разширение на водата води до повишаване на морското равнище. Повърхностният океан се затопля по-бързо от вътрешността и това води до повишаването на средната глобална температура, както и в увеличената честота на морските топлинни вълни. С нарастването на концентрацията на CO₂ в океана се понижава средното рН на водата, процес, известен като подкиселяване на океана. Подкисляването на океаните пряко засяга калцифициращи организми, като някои видове черупчести, водорасли, корали, планктони и мекотели, затруднявайки способността им да образуват черупки, което води до тяхното изчезване. Миграция на водните обитатели на север.

4. Недостиг на храни. Затруднено животновъдство, недостиг на фуражи. Необходимост от използване на повече вода при растениевъдството, намаляване на добивите.

5. Увеличение на микотоксините в храната. Микроскопичните гъбички, известни още като плесени, образуват голям набор от токсини, наречени микотоксини. Гъбичките и техните токсини са широко разпространени в природата

и замърсяват хранителните продукти, основно зърнените култури. Попадайки в организма на хората и животните, те предизвикват тежки заболявания и са сериозен проблем за общественото здраве. Сред най-опасните микотоксини се откроява групата на афлатоксините. За тяхното образуване са необходими високи температури, поради което те се срещат предимно в страните с тропически и субтропически климат. В резултат на глобалното затопляне средните годишни температури в Европа се увеличават с всяка измината година и условията на стария континент стават много подходящи за образуването на опасните афлатоксини в зърнени култури и други хранителни продукти. Ако затоплянето продължи с тези темпове, афлатоксините ще се превърнат в сериозен проблем за здравето на хората и селскостопанските животни.

6. Негативно въздействие върху биоразнообразието от растителния и животинския свят. Увеличаване на насекоми, разпространители на болести и др.

На 28 февруари 2022 г. бе публикуван новият доклад на Междуправителствения панел по климатичните промени – IPCC, „Климатични промени 2022: въздействия, адаптация и уязвимост“. Според него измененията на климата са причинили значителни щети и все по-необратими загуби в сухоземните, сладководните, крайбрежните и морските екосистеми. Обхватът и мащабът на въздействията от изменението на климата са по-големи от посочените в предишни оценки. Въпреки че общата селскостопанска производителност в световен мащаб се е увеличила, измененията на климата са забавили растежа ѝ през последните 50 години. Всяко по-нататъшно забавяне на съгласувани глобални действия ще пропусне кратък и бързо затварящ се времеви прозорец, за да се осигури годно за живот бъдеще на планетата.

„Природата може да бъде нашият спасител“ казва Ингер Андерсън, ръководител на Програмата на ООН за околната среда, „Но само, ако първо я спасим“.

За да я спасим трябва да трябва да стъпваме с големи крачки към трансформация и драстично намаляване на емисиите във всички сектори. Замяната на петролни продукти и въглища ще изисква много по-големи количества от електроенергия, отколкото можем да произведем в момента. Електроенергията от ВЕИ е добро допълнение, но не може да бъде решението. Кризата в Калифорния доказва, че слънчевата енергия практически няма стойност в нетните пикови часове, вечер. Тази липса на постоянство преследва слънчевата – и, може би в по-малка степен, вятърната енергия – от години. Съоръженията за съхранение на енергия като батериите стават все по-големи и по-ефективни, но им предстои дълъг път, преди да могат напълно да заменят електроцентралите

с постоянен запас от гориво. Предизвикателствата, пред които се изправяме, бързо ни връщат към вредните за планетата „полезни изкопаеми“.

Решението е в науката! Стратегическо приоритетно инвестиране в много по-големи мащаби в проекти като ITER. Проектът ITER е глобално сътрудничество на 35 държави за създаването на енергията на бъдещето чрез термоядрен синтез. Синтезът е енергийният източник на Слънцето и звездите. В огромната топлина и гравитация в ядрото на тези звездни тела водородните ядра се сблъскват, сливат се в по-тежки хелиеви атоми и освобождават огромни количества енергия в процеса. Науката за синтез на двадесети век идентифицира най-ефективната реакция на синтез в лабораторни условия като реакцията между два водородни изотопа, деутерий (D) и тритий (T). Реакцията на синтез на DT произвежда най-голямо усилване на енергията при „най-ниските“ температури.

С COVID кризата ние доказахме, че обединени, впрегнали мощен световен финансов и интелектуален потенциал, бързо се справихме с откриването на ваксина. Можем да се справим и сега, достатъчно бързо, преди вече да е късно!

Източници:

1. https://ec.europa.eu/clima/climate-change/causes-climate-change_bg
2. <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate>
3. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/find_ef.php?ipcc_code=2.D&ipcc_level=1
4. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/about/frequently-asked-questions/keyfaq1>
5. <https://www.europarl.europa.eu/news/bg/headlines/society/20180301STO98928/parnikovite-ghazove-vliianiето-na-razlichni-strani-i-sektori-infoghrafiki>
6. <https://www.ipcc.ch/data/>
7. <https://www.climateka.bg>
8. <https://skepticalscience.com/Are-humans-too-insignificant-to-affect-global-climate-intermediate.htm>
9. https://techcrunch.com/2019/05/12/co2-in-the-atmosphere-just-exceeded-415-parts-per-million-for-the-first-time-in-human-history/?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93aWtpYmddiZy50b3Av&guce_referrer_sig=AQAAAMoVWl-T3bRB2SR6KQKiVHOi8FWCwMkAAAn-yohWaZ66YIAwAnYHwCKIQUA5CJqizpNOcqoD024fJMMmALosNFZwIvPhDFYrPb-QX2H-cPO20QiPG81iYK17wUYG2KGV5waidleRapms7PV34Zx32CXSyIU8E5K5kRPRv-Tse6-wI1v
10. <https://www.climate.gov/media/12987>
11. <https://www.scientificamerican.com/article/earth-will-cross-the-climate-danger-threshold-by-2036/>
12. <https://population.un.org/wup/DataQuery/>
13. <https://www.investor.bg/sasht/337/a/kaliforniia-se-obryshyta-kym-izkopaemite-goriva-zaradi-nedostiga-na-elektroenergiia-335273/>
14. <https://www.iter.org/proj/inafewlines>

ПРОФ. Д.ФЗ.Н. НЪШАН АХАБАБЯН (1934 – 2023)



На 7 февруари 2023 г. след кратко боледуване си отиде от този свят проф. Нъшан Ахабабян – един от пионерите на физиката на космическите лъчи в България и дългогодишен главен редактор на списание „Светът на физиката“ (1996 – 2014).

Нъшан Оханес Ахабабян е роден на 18 ноември 1934 г. в град Варна. Завършва висше образование по специалност „Физика“ във Физическия факултет на Софийския университет „Св. Климент Охридски“ през 1957 г.

Постъпва на работа на 06.07.1959 г. като старши физик в лаборатория „Космично лъчение“ на Физическия институт на БАН. Той е първият физик на Космическата станция на връх Мусала и активно участва в изграждането ѝ. През 1962 г. след обявен конкурс е назначен за н.с. III ст., а от 1969 г. – за н.с. I ст. През този период научните му изследвания са свързани с изучаване на метеорологичните ефекти и вариации на твърдата компонента на космичното лъчение.

През периода 1965 – 1969 г. проф. Нъшан Ахабабян е водил семинарни упражнения по Атомна и ядрена физика във Физическия факултет на СУ, а през 1970 – 1976 г. в същия факултет е чел лекции на тема „Планиране на експеримента и обработка на данни от ядрено-физични експерименти“, като е бил и ръководител на множество дипломанти и докторанти.

На 30.12.1972 г., заедно с негови колеги, проф. Ахабабян е преназначен от Физическия институт на БАН в Института за ядрени изследвания и ядрена енергетика (ИЯИЯЕ) при БАН, където и работи в Проблемната група по физика на високите енергии. На 21.03.1977 г. ВАК му присъжда научната степен кандидат на физическите науки.

От 28.02.1977 г. до 30.06.1983 г. проф. Ахабабян е изпратен от ИЯИЯЕ на дългосрочна работа в ОИЯИ, Дубна, където работи като старши научен сътрудник в Научно-експерименталния камерен отдел на Лабораторията по високи енергии.

Научните му интереси са в областта на физиката на елементарните частици и високите енергии, вкл. модели на взаимодействие и систематика на елементарните частици; структура и свойства на елементарните частици и резонанси; конкретни реакции и феноменология; експериментална техника на високите енергии; физика на космическите лъчи. Изследванията, залегнали и в докторската му дисертация, са насочени в областта на пространствено-времевите

характеристики на областта на излъчване и кварковите характеристики на множествените процеси.

Проф. Ахабабян има съществен принос в: методични проблеми на релятивистката ядрена физика (сечения на ядрено-ядрени взаимодействия, множествености, импулсни и ъглови характеристики на различните вторични частици и корелации между тях, преобразуване на гама-кванти и неутрални странни частици); характеристики на еднуклонните и многонуклоидните взаимодействия при адрон-ядрени състлъкновения и тяхната интерпретация; изучаване на пространствено-времевите характеристики на областта на излъчване на вторични частици при адрон-адронни, адрон-ядрени и ядрено-ядрени взаимодействия. Участвал е в множество научни конференции в Европа и САЩ и е съавтор на голям брой научни публикации с фундаментално значение.

На 16.04.1985 г. Научната комисия по физико-математическите науки при Висшата атестационна комисия дава на Нъшан Ахабабян научното звание ст.н.с. II степен, а на 20.01.1987 г. му се присъжда научната степен доктор на физическите науки. През 1994 г. ст.н.с. II ст. Ахабабян придобива научното звание ст.н.с. I ст. в ИИЯЕ, като продължава своята научна работа до 01.02.2010 г.

През периода 1997 – 2001 г. проф. Н. Ахабабян е изпълнявал длъжността секретар на Президиума на Висшата атестационна комисия.

От началото на 90-те години на миналия век Нъшан Ахабабян активно участва в редакционната колегия на списание „Светът на физиката“ (наследник на „Бюлетин на ДФБ“), а от началото на 1996 г. е негов главен редактор. През следващите 18 години той е активна движеща сила за възраждането и популяризирането на списанието – от търсенето и подкрепата на автори на популярни статии по физика, през обезпечаването на редовното издаване на списанието, до авторските материали, четящи се на един дъх. С висок професионализъм и с характерния за него хумор той водеше списанието през подводните камъни на различните интереси и обстоятелства. Твърдо отстояваше вижданията на редколегията на заседанията на Управителния съвет на Съюза на физиците в България. Особено популярни и значими са неговите публикации, касаещи необходимостта от изучаване на историята на науката и живота на учените, и борбата му с „потоците псевдо-, квази-, лъженаука и наукоподобие, която затлачва „почвата“ на истинската наука.

Ще запомним ст.н.с. I ст. д.ф.н. Нъшан Ахабабян като ерудиран физик с демократичен и високо хуманен характер. Ярката му личност, неговата принципност и приятелското му отношение оставиха трайна следа в света на физиката и сред всички, които го познаваха.

Поклон пред светлата му памет!

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

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

Корица: „Бяла красота“, автор: Мария Асенова, X клас, СУ „Св. Св. Кирил и Методий“, град Радомир. Национален фотоконкурс за ученици и студенти „Физика и климат“, май 2022 г., 3-то място, класиране по физично описание.

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;
Иван Тодоров – акад., Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика, Българска академия на науките;
Людмил Хаджииванов – проф. д.фз.н, Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика, Българска академия на науките;
Петко Кръстев – гл. ас. д-р, Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика, Българска академия на науките;
Иван Лалов – проф. д.фз.н, Физически факултет, Софийски университет „Св. Климент Охридски“
Мариана Кънева – доц. д-р, Институт по физика на твърдото тяло, БАН;
Антон Н. Антонов – проф., д.фз.н, асоцииран член на ИЯИЯЕ – БАН;
Стивън Пашалиев – ученик в 10 кл., ППМГ „Васил Левски“, гр. Смолян
Стилиян Иванов – ученик от 9 кл., ЕГ „Иван Вазов“, гр. Пловдив
-

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 талантлив младежи, подкрепя се участието им в научно-технически изяви, стимулира се провеждането на школи, летни университети и др.

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

Информация, издания, изяви и международно сътрудничество – Чрез 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 и търговски дружества на млади хора, както и на отделни младежи на възраст до 35 години.

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

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

СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА 1'2023

СЪДЪРЖАНИЕ

THE WORLD OF PHYSICS 1'2023

CONTENTS

РЕДАКЦИОННО

НАУКА

- Д. Динев – Някои от най-важните събития във физиката през 2022 година
- И. Тодоров – Философия и физика: квантово преплитане
- Л. Хаджииванов – Нарушаване на неравенствата на Бел в експерименти със заплетени фотони

ИСТОРИЯ

- П. Кръстев – Походът към ниските температури, част 2

ФИЗИКА И ОБЩЕСТВО

- И. Лалов – Устойчивото развитие на България и българската физика

НАГРАДИ

- Гл. ас. д-р Мая Жекова – носител на Националната стипендия „За жените в науката“ за 2022 г

ГОДИШНИНА

- М. Кънева – Лаборатория „Оптика и спектроскопия“ – предизвикателствата на новите материали, технологии, методи и приложения, част 2

PERSONALIA

- А. Н. Антонов – Професор д.фз.н Иван Желязков Петков

ЮБИЛЕЙ

- Милка Джиджова на 75 години

МЛАДИ ИЗСЛЕДОВАТЕЛИ

- С. Пашалиев – Физичи и постиженията им в изследването на климатичните промени и опазването на околната среда
- С. Иванов – Причини за климатичните промени, последиците от тях и влиянието им върху околната среда

IN MEMORIAM

- Проф. д.фз.н. Нъшан Ахабабян

EDITORIAL 1

SCIENCE

- D. Dinev – Some of the Most Important Events in Physics in 2022 3
- I. Todorov – Philosophy and Physics: Quantum Entanglement 18
- L. Hadjiivanov – Bell Inequalities Violation in Experiments with Entangled Photons 28

HISTORY

- P. Krastev – The Long Journey to the Low Temperatures, part 2 40

PHYSICS AND SOCIETY

- I. Lalov – The Sustainable Development of Bulgaria and Bulgarian Physics 50

AWARDS

- Chief Assist. Prof. Dr. Maya Zhekova – Winner of the National Scholarship „For Women in Science“ for 2022 57

ANNIVERSARY

- M. Kuneva – Laboratory of Optics and Spectroscopy – Challenges of New Materials, Technologies, Methods and Applications, part 2 59

PERSONALIA

- A. N. Antonov – Professor Ivan Zhelyazkov Petkov, D.Sc. 70

JUBILEE

- Milka Dzhidzhova at 75 72

YOUNG RESEARCHERS

- S. Pashaliev – Physicists and Their Achievements in the Study of Climate Changes and Environmental Protection 75
- S. Ivanov – Causes of Climate Changes, its Consequences and its Impact on the Environment 79

IN MEMORIAM

- Prof. Nashan Ahababjan, D.Sc. 84