



СЪЮЗ НА ФИЗИЦИТЕ
В БЪЛГАРИЯ

СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА

3'25

WORLD OF PHYSICS

Пътешествие в света на
фотониката – значителен
и вълнуващ напредък

Едно българско
научно откритие –
80 години по-късно

10 години лектория
„Светът на физиката на
живо“

Успехи на Седмата
балканска олимпиада
по физика

СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА

ТОМ XLVIII, КН. 3, 2025 г.

Издание на Съюза на физиците в България

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

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

ГЛАВЕН РЕДАКТОР

Сашка Александрова

ЗАМЕСТИНИК-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, Михай Анастасеску,

Херман Лиенхарт, Роман

Пономарьов, Лилия Атанасова

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, Mihai Anastasescu,

Hermann Lienhart, Roman

Ponomarev, Liliya Atanasova

РЕДАКЦИОНЕН СЪВЕТ

Николай В. Витанов, Чавдар

Стоянов, Николай К. Витанов,

Лъчезар Аврамов, Хассан

Шамати, Евгения Вълчева

EDITORIAL COUNCIL

Nikolay V. Vitanov, Chavdar

Stoyanov, Nikolay K. Vitanov,

Lachezar Avramov, Hassan

Chamati, Evgenia Valcheva

ВОДЕЩ БРОЯ:

Сашка Александрова

VOLUME EDITOR:

Sashka Alexandrova

АДРЕС НА РЕДАКЦИЯТА:

Бул. „Джеймс Баучер“ №5,

1164 София

EDITORIAL OFFICE ADDRESS:

5, James Bouchier Blvd,

1164 Sofia

☎ 02 8161 684

E-mail: worldofphysics@abv.bg

Предпечатна подготовка: Л. Атанасова, Б. Жеков

ISSN: 0861-4210

РЕДАКЦИОННО



INTERNATIONAL YEAR OF
**Quantum Science
and Technology**

На 25 август 2023 г. Общото събрание на Организацията на обединените нации (ООН) обяви годините 2024 – 2033 за **Международно десетилетие на науките за устойчиво развитие** (*International Decade of Sciences for Sustainable Development – IDSSD*). Целта е повишаване на всеобщата осведоменост за значението на всички науки за устойчивото развитие и използване на координиран съвместен научен подход в съответствие с националните приоритети, който да предостави на политиките обосновани анализи и данни, необходими за установяване и ефективно прилагане на политики за осигуряване на безопасно и проспериращо бъдеще на цялото човечество.

На 7 юни 2024 г. Общото събрание на ООН обяви 2025 г. за **Международна година на квантовата наука и технологии** (*International Year of Quantum Science and Technology – IYQ*). Според прокламацията тази целогодишна световна инициатива „ще се прояви чрез дейности на всички нива, насочени към повишаване на обществената осведоменост за важността на квантовата наука и приложенията ѝ“. Годината 2025 не беше избрана случайно. Ознаменува се стогодишнината от публикацията на Вернер Хайзенберг „Върху квантово-механичната преформулировка на кинематичните и механичните съот-

ношения“, отбелязваща рождената дата на квантовата механика. С описанието на динамиката на субатомните частици започва нова ера във физиката.

IYQ не означава просто активна дейност в продължение на една година, а представлява ключова инициатива в рамките на IDSSD и служи като катализатор за дългосрочен напредък в квантовите изследвания и приложения. Важно е създаването на устойчиви програми за квантово образование, насърчаването на трайни международни сътрудничества и интегрирането на квантовите технологии в по-широки стратегии за устойчиво развитие. Церемонията по откриването на Международното десетилетие на науките за устойчиво развитие, на която присъстваха над 1000 учени, политици, преподаватели и лидери в индустрията, се състоя на 4 и 5 февруари 2025 г. в централата на ЮНЕСКО в Париж. Поставено беше началото на едногодишен глобален диалог за това как квантовата наука може да доведе до по-устойчиво и приобщаващо бъдеще.

Квантовата физика има своите корени в разгадаването на мистериите на светлината. В настоящия брой читателите на „Светът на физиката“ могат да прочетат за развитието на фотониката чрез пътуване във времето, проследявайки Нобеловите награди по физика и

техните носители в тази област. Оказва се, че приноси в областта на фотониката имат 50 от всичките 250 нобелови лауреати. За Алберт Айнщайн знаем, че получава Нобелова награда по физика за откритието на Закона за фотоелектричния ефект. Но знаете ли, че още през 1917 г. той описва процес, наречен стимулирано излъчване, който прави възможна работата на лазерите? Има ли „български следи“ във връзка с Нобелови награди? Оказват се поне две. Двама български учени са съавтори в няколко публикации с носителите на Нобелова награда по физика през 2014 г. за изобретяването на ефективни сини светодиоди. Публикация на наш колега е цитирана във всички важни експериментални работи по генерация на единични атосекундни импулси, включително от нобелов лауреат за 2023 г.

Как може с помощта на математично махало да се създаде генератор на електричество? Идеята е да се изработи везна, която създава електричен ток и използва трептенията на математично махало. Прочетете за конструирането и тестването на електрически генератор на базата на електромагнитна индукция. Установката е подходяща за демонстрации как явлението електромагнитна индукция може да бъде свързано с механичните трептения и гравитацията.

Маратон ли е термоядреният синтез и може ли да има победител в надпреварата за осъществяването му? Оказва се, че Китай се приближава до създаването на комерсиален термоядрен реактор. Нека прочетем кое прави термоядрената китайска програма ефективна в сравнение с проектите на САЩ (NIF) и Европа (ITER).

Да си спомним какъв беше светът преди транзисторите и интегралните схеми – светът на вакуумните електронни лампи. Един особен клас са магнитно управляемите вакуумни прибори като ускорители, лазери със свободни електрони и др. Понастоящем по света има около един милиард работещи магнетрони. Българските учени Емил Джаков и Александър Раев са откриватели на трептения в магнетронна система, наречени по-късно преосцилации, оценени по достойнство в научните среди. Пътят на тези учени, в много отношения първопроходци, е труден. Дейността им в едни сложни времена е свързана със собственооръчно изработени уреди и изисква знания, изобретателност и усилия, които днес изглеждат невероятни.

Интересни са спомените на проф. Христо Попов – как в средата на миналия век изглежда обучението по физика в тогавашния Физико-математически факултет, в който учат бъдещи математици, физици и химици, както и в частност – какво включва обучението по теоретична физика, е интересно не само в историческа перспектива. Възпитаниците на този факултет, както и на Физическия факултет след разделянето му от Математическия факултет, са пренесли в годините получените знания и са допринесли за развитието в областите на своята дейност.

Нашите млади автори-участници в Националния конкурс за есе „Проф. Никола Балабанов“ на тема: „Физик, от когото се възхищавам“ отново ни радват със своите творби. Те пишат за Стивън Хокинг като символ за сила, безкористност, гениалност, воля и отдаденост на науката и знанието, за Ричард Файнман и

за други учени, допринесли за развитието на нанотехнологиите, за Мария Кюри и нейното истинското наследство – духът ѝ, нейната упоритост, нейната страст, нейното нежелание да приеме границите, които обществото ѝ налага.

Да завършим с цитат от едно от есета: „*Когато си помисля за физиката, не си представям просто уравнения и лаборатории. Представям си безсънни нощи, в които някой се опитва да разбере невидимото*“.

Сашка Александрова

главен редактор на „Светът на физиката“

Национален онлайн фотоконкурс за ученици и за студенти на тема:
„Невидимите сили на физиката“

Първо място в класиране за студенти по критерий „Описание на физичните сили, свързани със съответния обект или явление“ и второ място по критерий „Художествена стойност на фотографията“:

„Млечният път над най-високия старопланински проход“.

Автор: **Благовест Иванов**, 4 курс, ВТУ „Св. св. Кирил и Методий“, гр. Велико Търново



Дата на заснемане:
18.07.2024 г.

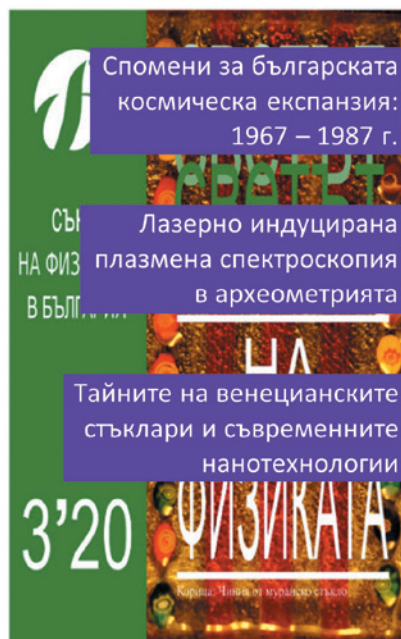
Място: Троянски
проход, Беклемето

Млечният път е спиралната галактика, в която се намира Слънчевата система.

Има лещовидна форма, а Слънцето е близо до галактичната равнина. За земния наблюдател звездите от тази равнина се сливат в светла млековидна ивица на небето, откъдето идва и наименованието.

В България може да се наблюдава през пролетта, лятото и ранната есен. През зимата по-трудно може да се види, заради климатичните условия, положението на галактическия център под хоризонта, късите нощи и силната лунна светлина. В градска среда остава невидим за наблюдателя, заради светлинното замърсяване.

В „Светът на физиката“ няма стари новини!



Можете да си закупите
броеве от предишни години
на преференциални цени!

Пишете ни!

worldofphysics@abv.bg

НЯКОИ НОБЕЛОВИ НАГРАДИ ПО ФИЗИКА В ОБЛАСТТА НА ФОТОНИКАТА: С УВАЖЕНИЕ КЪМ ПИОНЕРИТЕ

Александър Драйшу

Този материал бе в основата на доклада ми, представен на 53-тата Национална конференция по въпросите на обучението по физика (Пловдив, 10 – 13 април 2025 г.), посветен на Международната година на квантовата наука и технологии. Мисията на тази Международна година е да използва 100-годишнината на квантовата механика, отбелязвана през 2025 г., за да помогне за повишаване на осведомеността на обществото за значението и за въздействието на квантовата наука и нейните приложения във всички аспекти на живота.

Замисляйки се за Нобеловите награди, заслужава си да отделим специално внимание на личността на Алфред Бернхард Нобел (1833 – 1896). Химик, инженер, изобретател, автор на 355 патента, полиглот, поет, индустриалец... Някои го определят като последния енциклопедист от нивото на Александър фон Хумболт. От 1884 г. той е член на Шведската кралска академия на науките, а през 1895 г. основава Нобеловата награда за химия, физика, физиология или медицина, литература и мир, „...за да бъдат възнаградени хората, които служат на човечеството“. (Нобеловата награда за икономика е учредена по-късно, през 1968 г., от Шведската централна банка). На Нобел се приписват думите: „Моето специално желание се заключава в това, при присъждането на наградите да не се взема под внимание националността на кандидатите“.

Първата Нобелова награда е връчена на 10.12.1901 г., пет години след смъртта на Нобел, на Якоб вант Хоф, лауреат по химия, обяснил осмотичното налягане и неговото значение в живота на растенията и животните. Първата Нобелова награда по физика е присъдена пак през 1901 г. на немския физик Вилхелм Конрад Ръонтген „в знак на признание за необикновено важни заслуги пред науката, изразени в откриването на лъчи, наречени впоследствие в негова чест“.

До 2024 г. лауреатите на тази награда за физика са 230. Джон Бардийн е единственият носител на две Нобелови награди за физика – през 1956 г. („за изследвания на полупроводниците и откриването на транзисторния ефект“) и през 1972 г. („за създаване на теорията на свръхпроводимостта“). Първата жена с две Нобелови награди, но в две различни области на науката, е Мария Склодовска Кюри – за физика през 1903 г. (заедно с Пиер Кюри, „за изследвания на радиационните явления“) и за химия през 1911 г. („за напредъка на химията чрез откриването на елементите радий и полоний, чрез изолирането на радий и изучаването на природата и съединенията на този забележителен елемент“).

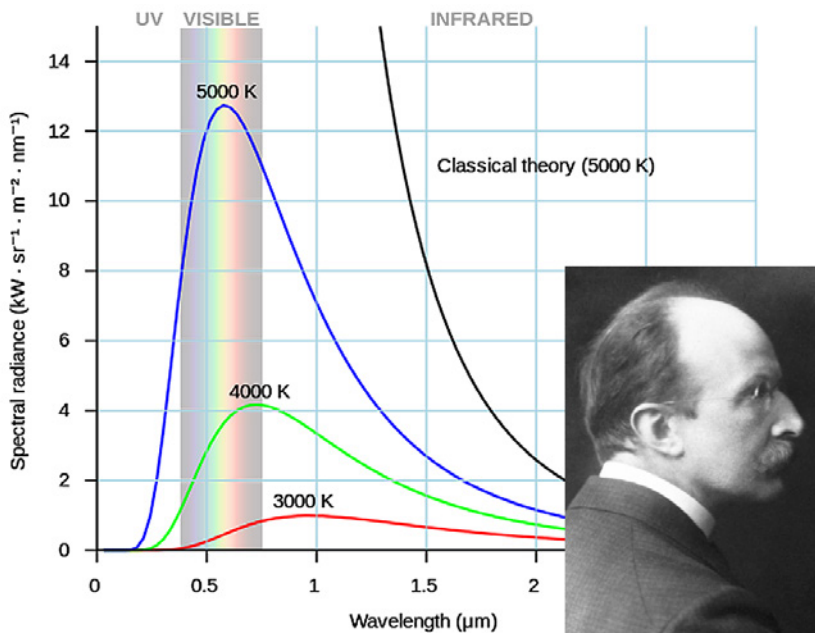
При първия опит на пишещия тези редове да отдели (колкото високомерно и наивно да звучи) Нобеловите награди за приноси в областта на фотониката, се оказа, че трябва да се отдаде дължимото уважение на поне 50 от всичките

250 нобелови лауреати. За съжаление, една непосилна задача за един относително кратък материал. По-надолу ще спомена по-подробно имената само на 17 носители на общо 8 Нобелови награди. Така, наред с Ръонтген, Лоренц, Зеeman, Майкелсън, Щарк, дьо Бройл, Раман, Хайзенберг, Шрьодингер и Дирак, съвършено несправедливо, но с дължимото уважение, в този материал няма да се спра също на научните приноси на Бломберген, Шавлов, Рамзи, Волфганг Паул, Стивън Чу, Коен-Тануджи, Уилям Филипс, Кетерле, Глаубер и на няколко също толкова достойни техни сътрудници и лауреати на наградата. За всеки един от тях заинтересованият читател би могъл да намери подробна информация, започвайки търсенето си в Интернет например от страницата [1] или от страницата [2].

Нека мислено да се пренесем в средата на 19-ти век. Никой преди Максвел не е наблюдавал електромагнитни вълни, но наличните данни от измервания на заряди и сили му позволяват да пресметне тяхната скорост на разпространение. Негови са думите: „Ние трудно можем да избегнем извода, че светлината представлява трептене на същата среда – етер, която е причина за електричните и магнитните явления“. С това прозрение първото велико обединение във физиката става факт. През 1864 г. Максвел дава завършена форма на законите за електромагнитното поле. Електромагнитната природа на светлината поставя въпроса за взаимодействието на светлината с веществото – излъчване, поглъщане, разсейване. За разбирането на тези процеси са необходими конкретни модели на строежа на веществата.

Експериментално е било установено, че при повишаване на температурата им нагнетите тела не само излъчват по-интензивно, но се променя и (най-общо казано) цветът на излъчването им – от червено, жълто, до синьо и бяло при по-високи температури. Това е в противоречие с предсказанията на наричаната тогава „класическа“ теория за излъчването на абсолютно черното тяло. Годината е 1900. Макс Планк извежда полуемпирично формула, описваща известните експериментални данни за излъчването на абсолютно черното тяло. Основополагащо в разработения от него модел е разбирането, че енергията може да се излъчва или поглъща само на дискретни порции. Трябва да се предположи, че светлината, а също и другите електромагнитни вълни, се излъчват на порции с точно определена енергия – кванти, фотони. Това рязко противоречи на теорията за светлината като електромагнитна вълна. През 1918 г. на Макс Карл Ернст Лудвиг Планк е присъдена Нобеловата награда по физика „в знак на признание за приноса му към развитието на физиката чрез откритието му на енергийните кванти“ [3].

Около 1905 г. натрупаните експериментални данни за процеса на външния фотоефект (по същество – фотоелектронна емисия, открита от Хайнрих Херц през 1887 г.) могат накратко да се обобщят така: /1/. Кинетичната енергия на електроните зависи от честотата на светлината, но не от мощността ѝ; /2/. Кинетичната енергия на електроните нараства линейно с честотата на светлината, започвайки от определена минимална честота; /3/. Минималната честота зависи от материала на катода; /4/. Освобождаването

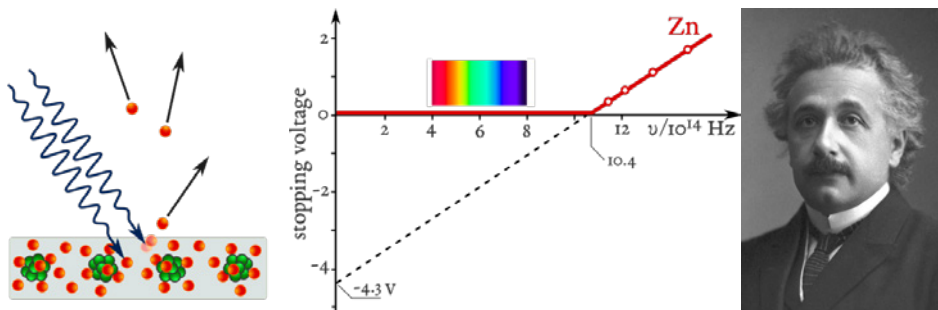


Фигура 1. Спектрална плътност на излъчването на абсолютно черно тяло.
На снимката: Макс Планк [3]

на електрони започва единици наносекунди след облъчването и също толкова бързо прекъсва след спиране на облъчването; [5]. Фототокут е пропорционален на потока на светлината. Докато при външния фотоэффект емитираните електрони напускат повърхността на облъченото вещество [4], при вътрешния фотоэффект те остават в обема му и повишават негова-

та проводимост.

Външният фотоэффект има многобройни приложения в науката и техниката. В основата им е възможността даден светлинен сигнал да се преобразува в електричен и впоследствие да бъде усилен, включително с използване на фотоелектронни умножители, работещи на базата на вторична



Фигура 2. Илюстрация към външния фотоэффект [4]. На снимката: Алберт Айнщайн [<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1921/einstein/facts/>]

емисия на електроните [5]. През 1921 г. на Алберт Айнщайн е присъдена Нобелова награда по физика „за приноса му към теоретичната физика и особено за откритието му на закона за фотоелектричния ефект“ [6]. Забележително е, че понастоящем далеч по-често споменаваните му приноси към създаването на Теорията на относителността (1905) са отбелязани в мотивацията само като приноси към теоретичната физика. Понякога за всеизвестни се считат неща, които не се разбират дори повърхностно. Ето защо ще си позволя, без никакви лични претенции, да отделя още няколко реда на Теорията на относителността. Тя обхваща две взаимосвързани физични теории на Алберт Айнщайн – Специалната и Общата теория на относителността, предложени и публикувани съответно през 1905 г. и 1915 г. [7]. Специалната теория се отнася за всички физични явления при отсъствие на гравитация. Общата теория на относителността обяснява Закона на гравитацията и неговата връзка с природните сили в космологията и астрофизиката.

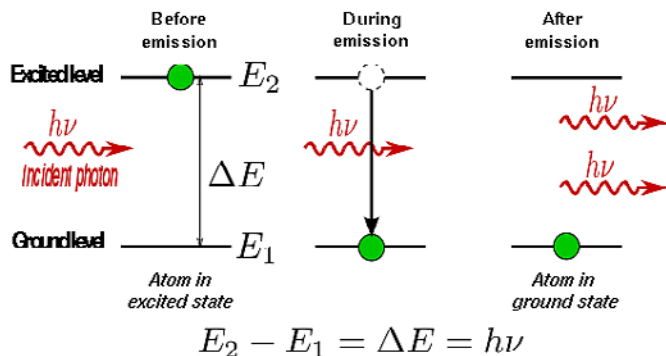
Името на Алберт Айнщайн ще спомена в още един контекст, довел впоследствие до присъждането на редица други Нобелови награди. През 1917 г. той описва процес, наречен стимулирано излъчване, който прави възможна работата на кохерентните квантови генератори, известни и като лазери. Айнщайн предсказва, че възбудени частици могат да бъдат стимулирани да излъчват светлина с определена дължина на вълната. За целта те трябва да са във възбудено (неосновно) енергетично състояние и да изпитат въздействието на фотон с енергия, съответстваща на енергията

на прехода от заеманото енергетично състояние до по-ниско енергетично състояние.

Разбира се, винаги протичат и двата известни и тогава процеса на (стимулирано) поглъщане и на спонтанно излъчване на енергия от частиците. Една от малкото формули, които ще си позволя да представя в този материал, е връзката между коефициентите на Айнщайн за спонтанно излъчване A_{ij} и тези за стимулирано излъчване B_{ij} при преходи между различни енергетични състояния, обозначени тук с i и j :

$$A_{ij} = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} B_{ij}$$

Тук h е константата на Планк, ν е честотата на прехода (повдигната на трета степен!), а c е скоростта на светлината във вакуум. На вид относително проста, формулата съдържа важна физична информация. Доколкото $A_{ij} \sim B_{ij}$, стимулирано излъчване може да бъде наблюдавано само при разрешени спонтанни преходи между енергетични състояния. С други думи, ако в една квантова система няма условия за спонтанно излъчване на дадена честота, няма вероятност да се реализира стимулирано излъчване на тази честота. Втората важна зависимост е пропорционалността на коефициентите на Айнщайн за спонтанно излъчване на третата степен на честотата ($A_{ij} \sim \nu^3$). За да се получи кохерентно лазерно лъчение, е необходимо стимулираните преходи да доминират над спонтанните. Поради споменатата честотна зависимост, в късовълновата област спонтанните преходи стават все по-вероятни. Ето защо получаването на лазерна генерация в късовълновата



Фигура 3. Илюстрация към процеса на стимулирано излъчване [8]

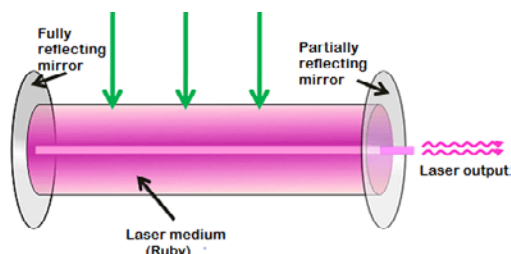
част на спектъра е по-трудно отколкото в инфрачервената и видимата част на спектъра.

Това обяснява защо едва през 2014 г. Исаму Акасаки, Хироши Амано и Шуджи Накамура са удостоени с Нобелова награда по физика „за изобретяването на ефективни сини светодиоди, които позволиха създаването на ярки и енергоспестяващи източници на бяла светлина“ [9]. Най-малкото, което може да се каже, е, че с появата на тези светодиоди вече разполагаме с по-дълготрайни и по-ефективни алтернативи на по-старите източници на светлина. Интересно е, че във връзка с тази Нобелова награда може да бъде открита и „българска следа“. Проф. Евгения Вълчева от Физическия факултет на Софийския университет е съавтор в 13 статии с физиците Акасаки и Амано по проблеми, свързани с откритието им. Проф. Борис Арnaudов от същия факултет на Алма матер пък е наложил мнението си в дългогодишен научен спор с японските учени [10, 11].

Квантовата теория за светлината е само първата крачка към съвременната квантова физика. Лазерите са резултат от нейното развитие. Те излъчват

кохерентно, т.е. всички атоми и молекули в лазера излъчват в един и същи интервал от време идентични фотони. Идентични по фаза, поляризация, енергия, посока. Най-общо, всеки лазер се състои от активна среда, поместена в резонатор, съставен от огледални отразяващи елементи, и включва източник на възбуждане на активните частици. Обичайно коефициентът на отражение R_1 на огледало (или R_1, R_2 на огледалата) на резонатора е по-нисък от максималния достижим, така че през едното или през двете огледала се извежда част от генерираното лазерно лъчение.

Ако с l обозначим дължината на активната среда, а с α и g_{th} – загубите



Фигура 4. Принцидна конструкция на лазер, адаптирана от [12]

и минималното необходимо (прагово) усилване на активната среда, праговото условие за възникване на лазерна генерация има вида:

$$R_1 R_2 \exp(2g_{th}l) \exp(-2\alpha l) = 1.$$

По-просто казано, усилването – $\exp(2g_{th}l)$ трябва да е равно на (и впоследствие да превиши) вредните загуби вътре в резонатора ($\exp(-2\alpha l)$) плюс „полезните загуби“ (описвани от $R_1 R_2$) от извеждане на лазерното лъчение извън резонатора. Макар още през 1917 г. Айнщайн да анализира процеса на стимулирано излъчване, трябва да минат почти 40 години преди учените да успеят да докажат предсказанията му. Да проследим накратко, в контекста на Нобеловите награди по физика, историята на развитието на лазерите.

*** През месец април 1951 г. Чарлз Таунс от Колумбийския университет в Ню Йорк формулира идеята за първия мазер. MASER е съкращение от *Micro-wave Amplification by Stimulated Emission of Radiation*. През 1954 г. Таунс, Цайгер и Гордън пускат в действие амонячния мазер, генериращ на дължина на вълната $\lambda \sim 1$ cm при средна мощност $P \sim 10$ nW.

*** През 1955 г. Николай Басов и Александър Прохоров от Физическия институт „Лебедев“ в Москва опитват да конструират и да построят осцилатор.

*** През 1957 г. Гордън Гулд от Колумбийския университет за първи път употребява термина „ЛАЗЕР“. LASER е съкращение от *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*.

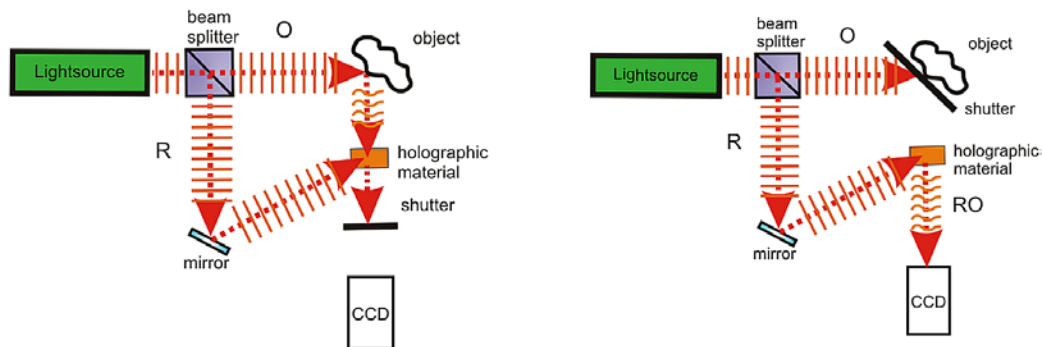
*** На 22.03.1960 г. Таунс и Шаулоу от Лабораториите „Бел“ получават патент (US patent number 2,929,922) за оптичен мазер, наричан лазер.

*** На 16.05.1960 г. Тиодор Майман от Хюс Рисърч Лабораторис, в Малибу, Калифорния, пуска в действие първия рубинов лазер, конструиран с кристал с диаметър 1 cm и дължина 2 cm, със сребърни огледала, нанесени направо върху челата на кристала.

*** През месец декември 1960 г. Али Джаван, Уилям Бенет-младши и Доналд Хериот от Лабораториите „Бел“ разработват хелий-неоновия лазер, генериращ непрекъснато лъчение на дължина на вълната $1,15 \mu\text{m}$.

Идеята да спомена годините на тези изобретения е заинтересованият читател да добие представа как се ускоряват изследванията в областта на лазерната физика и техника. По-нататък не е лесно да се следва хронологията на събитията, но едно събитие рязко се откроява. През 1964 г. Нобеловата награда по физика е присъдена, разделена на две части. Едната половина се присъжда на Чарлз Хард Таунс, а другата половина – съвместно на Николай Геннадиевич Басов и Александър Михайлович Прохоров „за фундаментална работа в областта на квантовата електроника, която е довела до конструирането на осцилатори и усилватели, базирани на принципа на мазер-лазер“ [13]. Решението на Нобеловия комитет е обяснимо, защото още тогава е било ясно, че изобретяването на кохерентни лазерни източници е революционно от гледна точка на потенциалните им приложения. По-нататък ще се постарая да маркирам някои от тях.

През 1971 г. с Нобелова награда е удостоен Денис Габор, „за изобретяването и развиването на холографския метод“ [14]. Известно е, че при класическата фотография фоточувствителният



Фигура 5. Принципни схеми за записване (ляво) и за възпроизвеждане на холограми (дясно) [15]

материал (фотоплака, филмова лента, дори фотосензор на съвременен мобилен телефон) регистрира интензитета на падащата светлина. Доколкото интензитетът е пропорционален на модула на амплитудата на оптичното поле на квадрат, в разпределението на интензитета информацията за фазата е безвъзвратно загубена. Гледайки една обикновена снимка, ние имаме усещането за „дълбочина“ на фотографирания обект, но това се дължи на предшестващия ни житейски опит и на интерпретацията на информацията от мозъка ни. При холографията информацията за фазата на вълната, в известен смисъл – информацията за „дълбочината“ на обекта, остава съхранена. Това е възможно, защото при холографията се записва вълна, отразена пряко от обекта (т.нар. „предметен сноп“), насложена с втора вълна („опорен сноп“), идваща направо от лазерния източник. Доколкото и двете вълни са излъчени от един и същи лазер и са кохерентни помежду си, те не просто се наслаждат, а интерферират. Интерференцията съществено зависи от фазовата разлика между вълните. Записвайки я дори със споменатите обикновени детек-

тори, ние съхраняваме и информацията за дълбочината на обекта. Възпроизвеждането ѝ е възможно отново с лазерни източници, но в някои случаи и с некохерентна бяла светлина [14]. Същественото, което трябва да осъзнаем, е, че за интерференцията е необходимо кохерентно лазерно лъчение.

Нека да излезем извън обичайните лабораторни мащаби. Вероятно заинтересованият читател е чувал за мащабната установка LIGO, съкращение от *The Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory* (Лазерна интерферометрична обсерватория за гравитационни вълни) [16]. Това огромно по мащаб и безпрецедентно по чувствителност съоръжение се състои, твърде опростено описано, от два вградени един в друг интерферометъра на Майкелсън, работещи с лазерни снопове при рамо на „уреда“ 4 km. (Нека още веднъж да засвидетелстваме уважението си към Алберт Абрахам Майкелсън, Нобелов лауреат за 1907 г., получил наградата си „за неговите прецизни оптични инструменти и спектроскопските и метрологични изследвания, проведени с тяхна помощ“ [17].) Връщайки се към LIGO, с тази об-

серватория за гравитационни вълни е постигната чувствителност, позволяваща да се установяват промени в разстоянията с точност, равняваща се на човешки косъм при мерене на разстоянието до най-близката звезда Проксима Кентавър на $4,0208 \times 10^{13}$ km. Нобеловата награда за физика за 2017 г. беше разделена, като едната половина беше присъдена на Райнер Вайс, а другата половина – съвместно на Бари Бариш и Кип Торн „за решаващия им принос към детектора LIGO и наблюдението на гравитационни вълни“. Поради повече от скромните разбирания в областта на гравитацията на пишещия тези редове, ще си позволя само да отбележа, че през декември 2018 г. проф. Бари Бариш бе удостоен и прие да носи титлата „Почетен доктор“ на Софийския университет [18].

Нека от свръхпрецизното в пространството да преминем към свръхбързото във времето. Да си зададем въпроса, какво означава „бързо“ в света на лазерите. В битов аспект, бързо, за около 1 наносекунда ($1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$) или за части от нея, се случва един изчислителен такт на съвременен компютърен процесор. Понастоящем рутинно се генерират лазерни импулси със 100 000 пъти по-къси продължителности от порядъка на и по-къси от 10 фемтосекунди ($10 \text{ fs} = 10^{-14} \text{ s}$). Сравнението е трудно, но може да се каже, че 10 fs се отнасят към 1 min, както 1 min към възрастта на Вселената (около 13,7 млрд. години). Пробивът във фемтосекундната област дължим на Питър Мултън от Линкълновата лаборатория на Масачузетския технологичен институт (MIT's Lincoln Laboratory). През 1982 г. той разработва титан-сапфировия лазер на базата на активен елемент – крис-

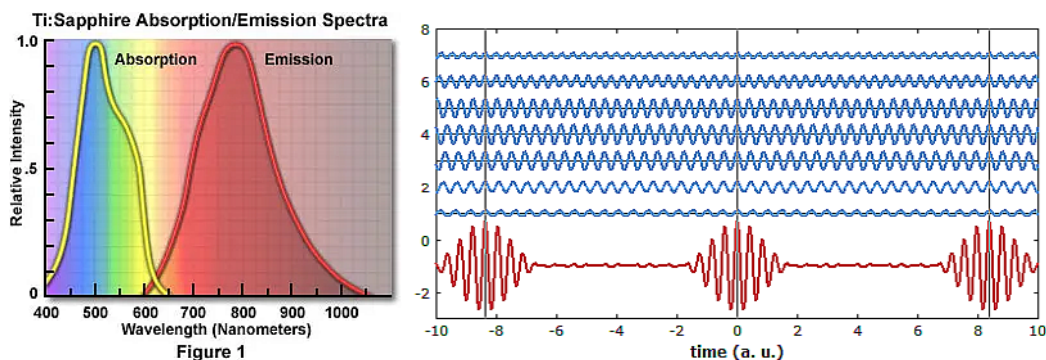
тал $\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$. Характерно за този лазер (и, общо казано, за другите видове вибронни лазери [19]) е възможността за пренастройване на дължината на вълната на лазерното лъчение в много широк спектрален интервал (в конкретния случай – от около 670 nm до около 1070 nm, с максимум на излъчването около 780 nm). Възможността да се генерира кохерентно лъчение с такъв широк спектър е задължително необходимо условие за получаването на свръхкъси импулси. Това се вижда пряко от съотношението $\Delta\omega\Delta t \sim 1$, което е следствие от теоремата за мащабирането при преобразуването на Фурие (накратко: по-късите във времето импулси с продължителности Δt имат спектри с по-големи ширини $\Delta\omega$). Тук трябва да се има предвид още нещо, характерно за лазерите. Активните им среди, които поглъщат възбуждащото лъчение и излъчват спонтанно и стимулирано, се поместват в резонатори. Целта е с увеличаване на броя на проходите му през резонатора началното спонтанно лъчение да стане усилено спонтанно лъчение и да прерасне в кохерентно. Но резонаторът (без да конкретизираме типа му) внася малки загуби само за тези спектрални компоненти с дължина λ от генерираното лъчение, които се „нанасят“ цяло число пъти ($\lambda/2$) в резонатора. Това не е нищо друго, освен условието в резонатора да се установи стояща вълна. Нека да оценим колко такива вълни (наричани надлъжни модове) се поддържат в резонатора на типичен титан-сапфиров лазер. Нека контурът на усиляване е с ширина 100 nm, централната дължина на вълната за спектъра е 800 nm, а резонаторът му е дълъг $L = 1,5 \text{ m}$. Предполагайки за простота, че показателят на пречупва-

не в резонатора е равен на 1 и скоростта на светлината е $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, за предположената минимална дължина на вълната в спектъра $\lambda_{min} = 750$ nm, най-високата честота в генерирания спектър е $\nu_{max} = c/\lambda_{min} = 4 \cdot 10^{14}$ Hz. За предположената максимална дължина на вълната от спектъра $\lambda_{min} = 850$ nm, най-ниската честота в генерирания спектър е $\nu_{min} = c/\lambda_{max} \approx 3,5 \cdot 10^{14}$ Hz. Така ширината на спектъра е $\Delta\nu = \nu_{max} - \nu_{min} \approx 5 \cdot 10^{13}$ Hz. Имайки предвид, че от споменатото условие за стоящи вълни, разстоянието между генерираните честоти е $(c/(2L))$, броят на генерираните честоти е $N = \Delta\nu/(c/(2L)) = 500\,000$! Но всички тези честоти се генерират едновременно и са кохерентни, което означава, че те интерферират. Именно тяхната синхронизирана интерференция, наричана синхронизация на модовете, води до генерирането на изключително къс във времето лазерен импулс. Всъщност явлението „биене между честоти“ е добре известно и изучавано в училище. Ако две хармонични вълни с близки честоти се насложат, се наблюдава модулация на амплитудата на резултантната вълна с честота, рав-

на на половината от разликата между честотите на двете вълни [20]. С други думи – получават се импулси. Колкото повече честоти се наслагват, толкова по-къси са импулсите. В представения по-горе пример импулсите, генерирани от лазера, биха били дълги от порядъка на 10 fs.

Този относително дълъг и концентриран курс по физика на свръхкъсите импулси бе необходим, защото редица присъдени Нобелови награди са за физиката и приложенията на фемтосекундните лазери.

Нобеловата награда за физика за 2005 г. беше разделена, като едната половина беше присъдена на Рой Глаубер „за приноса му към квантовата теория на оптичната кохерентност“, а другата половина – съвместно на Джон Хол и на Тиодор Хенш „за приноса им към развитието на прецизната лазерна спектроскопия, включително за техниката на оптичния честотен гребен“ [23]. Когато пресметнахме броя на честотите (надлъжните модове), генерирани от типичен титан-сапфиров лазер, предположихме, че те са еквилидистантни. Можем



Фигура 6. Абсорбционен и емисионен спектър на $\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$ (ляво) [21] и пример (дясно) за числено пресметнати периодични импулси (червена крива) чрез добавяне на седем (а не на половин милион!) вълни с леко различни, но равноотдалечени честоти (сини криви) [22]

да си представяме, че те формират „гребен от честоти“. Имайки такава „скала от честоти“, би било привлекателно с нея да измерваме конкретни честоти така, както с обикновена линейка (с „гребен от милиметрови деления“) измерваме разстояния между две точки. Би било чудесно, но последователностите от свръхкъси фемтосекундни импулси не са съвсем еднакви един с друг. Причината е относително проста. Носещата честота (съответстваща на централната дължина на вълната) се разпространява с фазовата си скорост, но обвивката на импулса с широкия спектър от многото честоти се разпространява с груповата скорост, зависеща от дисперсията на показателя на пречупване. Макар и малка, тази разлика е много съществена за свръхкъсите импулси. Ако тази разлика би могла да се компенсира, гребенът от честоти би бил стабилен (със стабилизирана абсолютна фаза) и перспективите за ползването му за прецизни измервания биха били блестящи. Джон Хол, като изследовател от Националния институт за стандарти и технологии на САЩ (Боулдър, Колорадо), намира първото решение на проблема. Той генерира т.нар. оптична октава (допълнително кохерентно разширен спектър), която обхваща една, условно казано, „минимална“ честота, но и нейната удвоена честота. Информацията за изработване на стабилизиращия акустичен сигнал се получава като се сравнят удвоената ниска честота с директно генерираната два пъти по-висока честота от октавата. Сравняването на тези честоти става с вече познатия ни процес на изваждане на честоти чрез генериране на сигнала на биене. Тиодор Хенш, по това време директор на „Макс

Планк“ Института по квантова оптика (Гархинг, Германия), усъвършенствайки метода на Джон Хол, заедно със своите сътрудници с безпрецедентна прецизност определя честотата на прехода $1s-2s$ в атомен водород [24]:

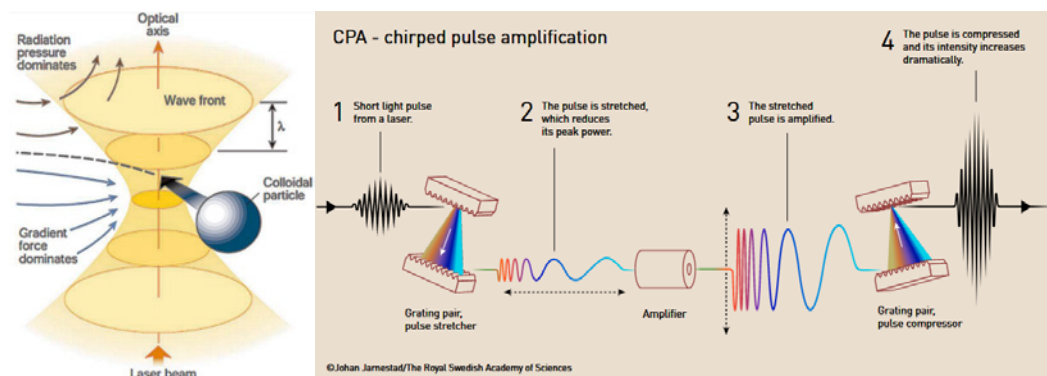
2 466 061 413 187 103 (46) Hz.

Нарушавайки хронологията, но опитвайки се да запазя логичната последователност, бих искал да пренеса читателя 13 години по-късно. Нобеловата награда за физика за 2018 г. бе присъдена „за революционни изобретения в областта на лазерната физика“, като едната половина бе присъдена на Артур Ашкин „за оптичните пинцети и тяхното приложение в биологичните системи“, а другата половина бе присъдена съвместно на Жерар Муру и Дона Стрикланд „за техния метод за генериране на високоинтензивни, ултракъси оптични импулси“ [25]. Оптичните пинцети улавят и позволяват манипулиране на микроскопични частици, като упражняват сили от страна на силно фокусиран лазерен сноп. Принципът се основава на действието на налягането на светлината, което е резултат от прехвърлянето на импулса от светлината към частиците. Действащите на частиците сили са две [26]: силата на разсейване, която изтласква частиците в посоката на разпространение на светлината, и градиентната сила, която привлича частиците към областта с най-висок интензитет на светлината в центъра на фокусирувания оптичен сноп. Градиентната сила е ключът към улавянето на частици (например колоидални частици), като стабилно ги задържа във фокуса на оптичния сноп. Ако обектът се държи във въздуха или във вакуум без допълнителна опора, това може да

се нарече оптична левитация. Оптичните пинцети се използват в биологията и медицината (например за захващане и задържане на единична бактерия, кръвна клетка или молекула като ДНК), в наноинженерството и нанохимията (за изучаване и създаване на материали от единични молекули), в квантовата оптика и квантовата оптомеханика (за изучаване на взаимодействието на единични частици със светлината [27]. Донякъде странно е, че Нобеловата награда за оптичните пинцети се присъжда на Артур Ашкин 17 години след присъдената през 2001 г. Нобелова награда на Ерик Корнел, Волфганг Кеттерле и Карл Уиман „за постигането на кондензация на Бозе-Айнщайн в разреждени газове от алкални атоми и за ранните фундаментални изследвания на свойствата на кондензатите“. Именно работите на Ашкин са създали експерименталната основа за генериране на Бозе-Айнщайн кондензатите.

Пробивът на Жерар Муру и на Дона Стрикланд е в откриването на метод за усилване на вече високоинтензивни

ултракъси лазерни импулси. В какво се състои проблемът. Да започнем с известния пример, илюстриращ колко малка е енергията от 1 μJ . Нека да разполагаме с една ябълка с приблизителна маса $m = 100 \text{ g}$. Нека да вдигнем тази ябълка от пода на стаята до повърхността на писалище с височина около $h = 1 \text{ m}$. Имайки предвид земното ускорение ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$), ние придаваме на ябълката потенциална енергия $E = mgh \approx 1 \text{ J}$. Типичните фемтосекундни лазерни осцилатори излъчват импулси с енергия от порядъка на части от 0,1 μJ . Мислено раздробявайки ябълката на повече от 10^6 броя частици, добиваме някаква представа колко малка е тази енергия. Но тази енергия, излъчена за много краткото време от порядъка на 10 fs, означава, че излъчените импулси са със забележително високата пикова мощност $P = 10^{-7} \text{ J}/10^{-15} \text{ s} = 10^8 \text{ W} = 100 \text{ MW}$. Ако снопът на лазера бъде фокусиран във фокално петно с радиус 20 μm , интензитетът на светлинното поле достига (в тази оценка) 0,8 GW/cm^2 . Тези забележително високи мощности и интензитети на свръхкъсите импулси обясняват най-раз-



Фигура 7. Схематично представяне на силите, на които се основава действието на оптичните пинцети [26] (ляво) и принцип на работата на техниката „chirped pulse amplification“ [28] (дясно)

нообразните им приложения в науката и в технологиите. Но редица приложения изискват още по-високи енергии и интензитети, т.е. усилване на импулсите от осцилаторите. Да се направи това директно, се оказва практически невъзможно. Причината е в това, че импулсите вече са толкова интензивни, че при опит за усилване разрушават оптичните елементи. Причината е в „задействането“ на нелинейни процеси като самофокусиране, йонизация и оптичен пробив на материалите. Пределно опростено приносът на Муру и на Стрикланд може да се резюмира в това, че те правилно са подредили три думи, „разшири (импулса), усил (го по енергия), компресирай (импулса)“, но и са доказали работоспособността на тази техника. Сега тя е повсеместно ползвана и се обозначава като „*chirped pulse amplification*; CPA“ [29]. Малко по-подробно: Идеята е в това, че свръхкъсият импулс, излъчен от осцилатора, се пропуска през оптична система, в която различните спектрални компоненти закъсняват/избързват една спрямо друга по контролируем начин. Последното е особено важно. Така, силно разширеният импулс е със силно понижена мощност/интензитет и може да бъде усилен по енергия. Като трета и последна стъпка, импулсът се подлага на обратно контролирано съксяване и дори с едностъпален усилвател се достигат интензитети $\sim 10^{14} - 10^{15} \text{ W/cm}^2$. Така се открива пътят към създаването на тераватови и петаватови лазерни системи и към физиката на свръхмощните оптични полета. Ще си позволя само да отбележа, че през февруари 2020 г. проф. Жерар Муру бе удостоен и прие да носи титлата „Почетен доктор“ на Българската акаде-

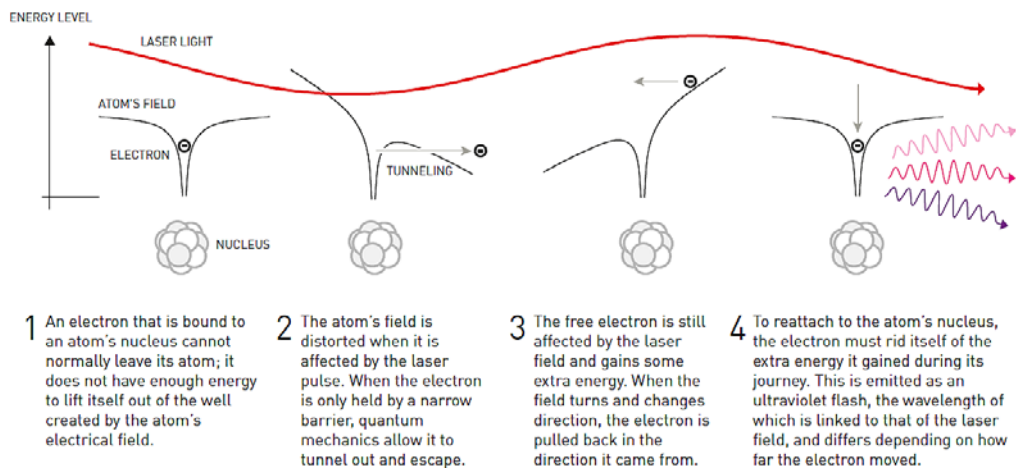
мия на науките [30] и „Почетен доктор“ на Софийския университет „Св. Климент Охридски“ [31] – едно несъмнено признание и за нивото на институциите, присъдили му тези титли.

С още един скок във времето, нека да се пренесем в 2023 година. Нобеловата награда за физика е присъдена на Пиер Агостини, на Ференц Краус и на Ан Л'Юлие „за експериментални методи, които генерират атосекундни светлинни импулси за изследване на динамиката на електроните в материята“ [32]. Преди всичко стои въпросът колко дълга е 1 as? Отговорът: Една хилядна от фемтосекундата! През 1987 г. Ан Л'Юлие открива, че при преминаването на интензивни свръхкъси лазерни импулси през инертен газ се появяват високи нечетни n -ти хармонични на лазерната светлина – импулси с дължини на вълните, n -пъти по-къси от дължината на вълната на възбуждащото лъчение. През 2001 г. Пиер Агостини успява да генерира и да изследва поредици от светлинни импулси, всеки с продължителност от само 250 атосекунди. В друг експеримент Ференц Краус успява да изолира единичен светлинен импулс с продължителност от само 650 атосекунди. Без никаква претенция за изчерпателност бих искал да отбележа, че още през 2017 г. са достигнали продължителности на импулсите под 43 атосекунди [33]. Каква е физичната картина на протичащите процеси? Процеси, като генерация на втора и трета хармонични, фазова самомодулация и самофокусиране, са нелинейни процеси от относително нисък (втори/трети) порядък и могат да се опишат в рамките на теория на пертурбациите. Генерацията на високи хармонични и надпороговата

йонизация са силно нелинейни и непертурбативни процеси. По-детайлно казано, процесът на надпрагова йонизация и генерация на високи хармонични може да се раздели на 3 стъпки. Първоначално електрон в свързано състояние поглъща енергията на няколко фотона и се „издига“ в потенциалната яма на атомния остатък. Интензивното оптично поле модифицира йонизационния потенциал. Там, където той се окаже понижен, електронът може да тунелира (етап 2 на процеса) и започва да се отдалечава. Но фазата на оптичното поле се променя, повишавайки потенциала, и електронът усеща сила, връщаща го обратно към атомния остатък, откъдето е дошъл. През цялото това време той, бидейки изложен на интензивен поток от фотони, поглъща енергията на още фотони. Краят на процеса (етап 3) може да бъде или безвъзвратното отделяне на електрона от

атомния остатък (процес на надпрагова йонизация), или рекомбинация с атомния остатък, при което излишъкът от енергия се излъчва като висока нечетна хармонична [34].

През 1987 г. Ан Л'Юлие открива тези високи нечетни n -ти хармонични вълни на лазерната светлина – импулси с дължини на вълните, n -пъти по-къси от дължината на вълната на възбуждащото лъчение. Тук не мога да не се спра на българския принос в изследванията по проблема. През 1996 г. проф. Иван Христов от Физическия факултет на Софийския университет „Св. Климент Охридски“ докладва на международна конференция и впоследствие публикува статия с ключов резултат: изолиран атосекунден импулс може да се генерира от мощен инфрачервен фемтосекунден импулс, съдържащ няколко периода на носещата вълна, като се из-



©Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

Фигура 8. Илюстрация на (условните) стъпки в процеса на генериране на високи хармонични: (1) възбуждане, (2) тунелиране на електрона в потенциала на атомния остатък, модифициран от високоинтензивния импулс, (3) обратно връщане на електрона откъдето е дошъл и (4) рекомбиниране с атомния остатък, при което се излъчват високи хармонични

ползва континуума в края на генерирания от електроните спектър [35]. Тази публикация е цитирана във всички важни експериментални работи по генерация на единични атосекундни импулси, включително в тези на нобеловия лауреат Ференц Краус, който е осъществил първия успешен експеримент, довел до получаване на единични 650-атосекундни импулси [36]. Изследователите са на мнение, че тези постижения във физиката на атосекундните импулси разкриват пътя към потенциални приложения в много различни области, простиращи се от електрониката до медицинската диагностика. Повече за тази Нобелова награда заинтересованият читател би могъл да намери пак в списание „Светът на физиката“ [37].

Нека в края на този материал да се върнем от областта на екстремната фотоника към някои нейни приложения, с които сме свикнали в ежедневието си. Годината е 2009. Нобеловата награда за физика е разделена, като едната половина е присъдена на Чарлз Куен Као „за революционни постижения в областта на предаването на светлина във влакна за оптична комуникация“, а другата половина – съвместно на Уилард С. Бойл и Джордж Е. Смит „за изобретяването на полупроводникова схема за изображения – CCD сензора“ [38]. Нобелови награди, дълбоко повлияли върху начина ни на живот! Нека да ги погледнем по-отблизо. В зората на оптичните комуникации прозрачните оптични материали са въвеждали загуби от порядъка на 1000 dB/km, т.е. след 20 m разпространение на сигнала през такава среда, на изхода ѝ е бил регистриран едва 1% от входната оптична мощност. Чарлс Као

изказва предположението, че ако загубите бъдат понижени до 20 dB/km, след 1000 m разпространение на оптичната вълна през материала, на изхода ѝ би се регистрирал 1% от входната мощност на сигнала. Това би направило оптичните комуникации реалистични. Понастоящем, благодарение на изследванията на Чарлз Као и на редица технологични проби, за приемливи загуби в оптичните комуникационни влакна се считат загуби от 0,2 dB/km. Те гарантират, че след 1000 m разпространение на оптичните импулси, на изхода на влакното се регистрират 95% от входната им мощност. Как се е стигнало до тази толкова желана и огромна промяна? Съвременните влакнестооптични влаководи се изтеглят от химически чисти материали, получени от реагиращи химически чисти газове. Само един пример, без претенция за изчерпателност, е процесът на модифицирано химично отлагане от газова фаза (*Modified Chemical Vapour Deposition*; MCVD). Реагиращите газове се пропускат през куха кварцова тръбичка. Кислородно-водородни горелки сканират тръбичката по дължина, нагрявайки я. С цел равномерно нагряване, тръбичката се върти и около оста си. В началото се пропускат SiCl_4 и кислород. Благодарение на химичната реакция се образува SiO_2 и Cl_2 . Силициевият диоксид се отлага по тръбичката, за да формира впоследствие обвивката на влакнестооптичния влаковод, а хлорът се изтегля с вакуумна помпа. Когато се стигне до етапа на формиране на материала за изтегляне на сърцевината на влакното, продуктите на химичната реакция трябва да гарантират малко по-висок показател на пречупване на материала (за да има условия за

необходимото пълно вътрешно отражение). Заедно със SiCl_4 се пропуска и GeCl_4 , които пак „горят“ в кислородната атмосфера, но сега се отлага смес от SiO_2 и GeO_2 . Легирането на сърцевината с около 4% GeO_2 осигурява желаната разлика между показателите на пречупване на материала, подготвен за изтегляне на сърцевината, и на обвивката на оптичния вълновод. Така подготвените изходни материали се стапят и оптичните влакна се изтеглят през калибрани дюзи, след което веднага върху тях се полагат защитни обвивки от подходящи полимери. Технологичният пробив, реализиран на базата на идеите на Чарлз Као, позволи в много от домовете ни да влизат оптични влакна. Съвременният етап на мултиплексиране на оптичната информация, пренасяна по едно оптично влакно, се обозначава като *Dense Wavelength Division Multiplexing*, DWDM [39]. WDM е технология в оптичните мрежи, която позволява предаването на множество различни оптични сигнали по едно единствено влакно чрез използване на светлинни импулси с много близки дължини на вълните. Това позволява да се увеличава капацитетът на съществуващата инфраструктура, без да се полагат нови влакна. Но този е достигнатият днешен етап на развитието. Ако се съди по интензивните публикации в специализираната литература (и по това колко малка част от практически приложимите резултати се публикуват, преди да е изчерпан икономическият им потенциал), следващото ниво на мултиплексиране на оптичната информация е вероятно да бъде така наричаното мултиплексиране по модова структура (*Mode Division Multiplexing*), т.е. всеки WDM-канал ще

се пренася с оптичен сноп с различно, специфично само за него, напречно разпределение на интензитета [40].

Както беше споменато по-горе, другата част от Нобеловата награда за 2009 г. получават Уилард Бойл и Джордж Смит „за изобретяването на полупроводникова схема за изображения – CCD сензор“. Подозирате ли, че смартфонът, носен от почти всеки от нас, има често повече от един CCD сензор? Огледайте телефона си. А как работи всеки такъв сензор, ще се опитам накратко да опиша тук. Преди всичко това изобретение има своята предистория и тя е много дълга. В древен Китай, Египет и Гърция е било познато действието на *Camera obscura* [41]. През 1826 г. Жозеф Ниепс съхранява постоянен негативен образ след 8-часова експозиция върху слой от битум [42]. През 1841 г. Хенри Фокс Талбот изобретява светочувствителната хартия, съдържаща соли на сребро [43]. През 1888 г. Ийстман Кодак представя на пазара първата целулоидна филмова лента на ролка [44]. Да направим отново скок във времето с около 80 години. CCD сензорите са светлочувствителни електронни компоненти, действието на които се основава на вътрешния фотоефект. (Моля, спомнете си, че в началото свързахме вътрешния фотоефект с името на Алберт Айнщайн и с неговата Нобелова награда). CCD е съкращение от английското *charge-coupled device* (на български език „компонент с пренос на заряд“). Разработени за съхранение на данни, те се оказват светлочувствителни и подходящи за заснемане на едномерни и двумерни изображения. Съхраняващият информацията елемент е MOS-кондензатор (*Metal-Oxide-Semiconductor Capacitor*)

[45] със светлочувствителен елемент. От такива елементарни кондензатори се формират светлочувствителните пиксели на CCD-матрицата. Колкото по-голям е броят на пикселите на единица площ, толкова по-висока е разделителната способност на матрицата. За да се регистрира цветно изображение, всеки пиксел реално се състои от 4 пиксела – 2, чувствителни в зелената част на спектъра, и по 1, чувствителни в синята и в червената част на спектъра. Извеждането на информацията в подреден и използваем вид изисква пренасяне на натрупаните заряди от един пиксел към следващ пиксел чрез подходящо подавани потенциали към съответните електроди. Понастоящем CCD сензори се ползват за телевизионни камери, като изобразителни сензори в астрономията, в спектрометри и скенери,

в CCD матрични сензори за цифрови фотоапарати и видеокамери, само колкото да споменем някои от приложенията им.

Тук бих искал да завърша донякъде непоследователното пътуване във времето, посветено на Нобеловите награди по физика в областта на фотониката. Фотониката е една въодушевяваща и зрелищна част от физиката. А „*Физиката е висока и пространна наука, за да я изложи човек цялата, трябва много нещо да се труди...*“ – това са уводните думи на българския будител Найден Геров в учебника му „Извод от физика“, отпечатан през 1848 г. Убеден съм, че никой, посветил се на тази „*висока и пространна наука*“, бил той нобелист или редови физик, никога през житейския си път не е съжалявал за избора си.

Литература

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/Nobel_Prize_in_Physics
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_nominees_for_the_Nobel_Prize_in_Physics
- [3] <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1918/summary/>
- [4] Ponor – собствена графика, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=92684859> (ляво) и собствена графика, основана на диаграмата на Klaus-Dieter Keller Photoelectric effect diagram.svg, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=91380913> (дясно).
- [5] http://phys.tu-sofia.bg/ef/Phys_2/Lektzii/Optika/Optika - fotoefekt.pdf
- [6] <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1921/summary/>
- [7] https://en.wikipedia.org/wiki/Theory_of_relativity
- [8] V1adis1av – собствена графика, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3983414>
- [9] <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2014/summary/>
- [10] http://wop.phys.uni-sofia.bg/digital_pdf/wop/4_2014.pdf
- [11] https://www.uni-sofia.bg/index.php/bul/novini/arhiv/arhiv_na_goreschi_novini/bg_sleda_v_nobela
- [12] <https://www.physics-and-radio-electronics.com/physics/laser/rubylaserdefinitionconstructionworking.html>
- [13] <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1964/summary/>
- [14] <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1971/summary/>
- [15] <https://etit.ruhr-uni-bochum.de/en/ptt/research/fields-of-research/holographic-imaging/>
- [16] <https://bg.wikipedia.org/wiki/LIGO>
- [17] <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1907/summary/>

- [18] https://www.uni-sofia.bg/index.php/novini/novini_i_s_bitiya/prof_bari_barish_be_udos-toen_s_pochetnoto_zvanie_doktor_honoris_kauza_na_sofijskiya_universitet
- [19] <http://quantum.phys.uni-sofia.bg/dreischuh/LaserPhysicsTypesOfLasers/L4.pdf>
- [20] [https://en.wikipedia.org/wiki/Beat_\(acoustics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Beat_(acoustics))
- [21] <https://evidentscientific.com/en/microscope-resource/tutorials/lasers/tsunami>
- [22] https://www.rp-photonics.com/mode_locking.html
- [23] <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2005/popular-information/>
- [24] M. Fischer, et al., Lecture Notes in Physics 648, 209 (2004)
- [25] <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2018/summary/>
- [26] J. Liu and Z. Li, Micromachines 9, 232 (2018); <https://doi.org/10.3390/mi9050232>
- [27] https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_tweezers
- [28] <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/10/press-fig3-fy-en-cpa.pdf>
- [29] D. Strickland, G. Mourou, Optics Communications 56, 219 (1985)
- [30] <https://www.bas.bg/?p=29175>
- [31] https://www.uni-sofia.bg/index.php/novini/novini_i_s_bitiya/prof_zherar_muru_be_udos-toen_s_pochetnoto_zvanie_doktor_honoris_kauza_na_sofijskiya_universitet
- [32] <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2023/summary/>
- [33] T. Gaumnitz, A. Jain, et al., Optics Express 25, 27506 (2017)
- [34] R. Santra and A. Gordon, Phys. Rev. Lett. 96, 073906 (2006).
- [35] I. P. Christov, M. M. Murnane, and H. C. Kapteyn, Phys. Rev. Lett. 78, 1251 (1997)
- [36] M. Hentschel et al., Nature 414, 509 (2001)
- [37] А. Драйшу, „Нобеловата награда по физика за 2023г. и приносът на български изследовател към нея“, Светът на физиката, бр. 4, с. 253-269 (2023)
- [38] <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2009/summary/>
- [39] https://en.wikipedia.org/wiki/Wavelength-division_multiplexing
- [40] https://en.wikipedia.org/wiki/Orbital angular momentum_multiplexing
- [41] https://en.wikipedia.org/wiki/Camera_obscura
- [42] https://en.wikipedia.org/wiki/Ni%C3%A9phore_Ni%C3%A9pce
- [43] https://en.wikipedia.org/wiki/Henry_Fox_Talbot
- [44] <https://www.britannica.com/technology/Kodak-camera>
- [45] <https://hamamatsu.magnet.fsu.edu/articles/moscacapor.html>



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

ИЗРАБОТВАНЕ НА ГЕНЕРАТОР ЗА ЕЛЕКТРИЧЕСТВО С МАТЕМАТИЧНО МАХАЛО

Михаил Б. Илиев, Тома Томов

Обектът на експеримента е конструирането и тестването на електрически генератор, който работи с явлението магнитна индукция, и включва математично махало със закрепени постоянни магнити на него, което трепти между соленоиди. Махалото използва земното ускорение и съответно периодичното превръщане на кинетична енергия в потенциална енергия и обратно.

Статията разглежда структурата на генератора и самия прототип, както и теорията, на която всичко е подчинено. Измерени са техническите спецификации на прототипа, проведени са експерименти с него. Изчислени са основните величини – фактори, от които зависи работата на генератора. Оценена е цялостно работата на конструкцията. Тази установка е подходяща за демонстрации как явлението електромагнитна индукция може да бъде свързано с трептене и гравитация.

Ключови думи: променлив ток, електромагнитна индукция, токове на Фуко, математично махало, везна

Увод

Идеята е да се изработи везна, която създава електричен ток и използва трептенията на математично махало, върху което са закрепени постоянни магнити. Магнитите се движат близо до бобини и в бобините се генерира електричен ток. Явлението е електромагнитна индукция. За задвижване на махалото е нужно само начално отместване от равновесното му положение и под влияние на гравитационната сила махалото трепти. При добър баланс на електромагнитните и гравитационните взаимодействия може да се получи уравновесена система. Условно това е електрически генератор, без това да има смисъл на готов продукт.

Електричните и магнитните сили са известни от древността, но те са били разглеждани като отделни явления

в продължение на векове. Магнетизмът е изследван експериментално още през Средновековието. Пионер в този дял на физиката е Отто фон Герике, който през 1663 г. описва първия електростатичен генератор – сфера от сяра, която чрез триене генерира електрични искри. Така той демонстрира основните принципи на наелектризирането. Британският учен Стивън Грей разширява познанията по електростатика, показвайки, че електричеството може да се предава през материали, като извършва експерименти с триене на стъклени тръби в конопени нишки. Значим пробив настъпва с изобретяването на Лайденската стъкленица през 1745 г. от нидерландския физик Питер ван Мьосхенбрук. Това е устройство, което съхранява електричен заряд в стък-

лен съд. Бенджамин Франклин доказва, че гръмотевицата е електрически феномен и формулира Закона за запазване на заряда. След Франклин с бързи темпове настъпват значими открития в електромагнетизма [1].

Шарл Кулон формулира закономерността, че електричната сила зависи обратно пропорционално от квадрата

на разстоянието. Майкъл Фарадей провежда първите прецизни експерименти, които потвърждават Закона на Кулон за обратния квадрат и Закона за запазване на заряда. Експериментите на Фарадей утвърждават математичните основи на електростатиката и поставят основата на съвременната теория за електричеството [1].

Обзор на някои съвременни изследвания, свързани с конкретния експеримент

В статия, публикувана през 2016 г., Гиорги Хомерики от Училище по физика и математика „Векуа“, Тбилиси, Грузия, изследва махало с приложена към него магнитна сила от соленоид, през който протича променлив ток. Магнитът, разположен в свободния край на махалото, е под въздействието на тази сила, което води до *параметричен резонанс* – явление, при което амплитудата на трептенията се усилва поради променящи се параметри на системата. Изследването разглежда как този резонанс може да предизвика хаотично поведение в системата. Установено е, че системата на магнитното махало проявява хаотично поведение само когато са изпълнени условията за параметричен резонанс [2].

В публикация през 2022 г. на учени от Университета „Рътгърс“ (*Rutgers University*) в Ню Джърси, САЩ, се разглежда метод за събиране на енергия от движението на човека за запазване на преносими устройства (*wearable devices*). Използва се система с махало с електромагнитен генератор, която преобразува кинетичната енергия от ходенето в електрична. Авторите анализират динамиката на тази система чрез математични модели и симулации, за да

идентифицират ключови параметри, като честота на възбуждане, амплитуда, електрично съпротивление и местоположение върху тялото. Те откриват, че когато системата преминава през определена граница – точка на бифуркация, получената енергия се увеличава многократно. Освен това по-високата скорост на ходене води до по-голяма изходна мощност. Симулациите на ходене помагат за предсказване на изходното напрежение и мощност, като по-точните траектории на движението дават по-добри предсказания за работата на генератора [3].

През 2024 г. група учени от Катедрата по автоматизация, биомеханика и мехатроника при Техническия университет в Лодз, Полша, разглежда динамиката на махало, възбудено от променливо магнитно поле, чиято фаза зависи от положението на махалото. В нея се анализират хаотични и закономерни динамики на махалото чрез симулации и експерименти. Математичният модел, базиран на физична постановка, включва магнитен възбуждащ момент с фазова зависимост от динамичната променлива. Махалото в магнитно поле проявява хаотично или закономерно поведение в зависимост от физични параметри, ка-

то честота на възбуждането, фазово отместване, амплитуда и др. Хаосът в динамиката възниква, когато системата се влияе от началните условия – ъгъл на пускане, начална скорост и други, което води до непредсказуемост въпреки предопределеността на модела [4].

Ценен е и обзорът на *Chen, Bao, Liu* и други за генератори на енергия, използващи махало (*Pendulum Energy Harvesters*), публикуван на 18.11.2022 г. Накратко този обзор представя обширен научен преглед на технологията за добиване на енергия чрез махаловидни системи. В него се разглеждат както основните принципи и механизми на преобразуване на

енергия, така и конкретни приложения и иновации в конструкцията на такива устройства [5].

През последното десетилетие се наблюдава значителен научен интерес към разработването на енергийни преобразуватели, използващи математично махало като основен елемент за преобразуване на механична енергия в електрична. Тези системи се отличават с простота на конструкцията, нелинейна динамика и висока ефективност при работа в ниско-честотни среди, като човешки движения, вибрации на структури и вълни в океаните.

Основни направления и разработки [5]

Електромагнитни системи за преобразуване на енергия с математично махало. Те използват закона на Фарадей, като относителното движение между махалото (магнит) и фиксирана бобина индуцира електродвижещо напрежение.

➤ *Ding* и др. през 2017 г. разработват махаловиден генератор за добив на енергия от морски течения с изходна мощност до 0,3 W.

➤ *Xie* и др. през 2020 г. създават преносимо устройство, базирано на махално трептене, за събиране на енергия от човешко движение, като се генерира електрическа мощност 30 mW при вървене.

➤ *Zhou* и др. през 2020 г. представят компактен махаловиден генератор, използващ *Halbach* масив от магнити за засилено магнитно поле. *Halbach* масив е специална конфигурация на магнити, при която магнитното поле се фокусира от едната страна на масива, докато от другата страна то почти изчезва.

Пиезоелектрични махалови системи. При тях се използва механичното напрежение, предизвикано от движението на махалото, за да се генерира електрически заряд в пиезоелектричен елемент.

➤ *Wu* и др. през 2022 г. създават махаловиден осцилатор, съчетаващ пружина и пиезоелемент, способен да събира енергия при 2,03 Hz, с мощност 13,29 mW.

➤ *Shukla* и др. през 2014 г. предлагат устройство за събиране на енергия от движения в кръста на човека с максимална мощност 290 μ W.

➤ *Fan* и др. през 2022 г. представят система с „плъзгащо махало“, която използва страничен удар за възбуждане на пиезоелемента – пиезокристал.

Трибоелектрични системи с махало. Основават се на триенето между различни повърхности за генериране на заряд.

➤ *Lee* и др. през 2013 г. използват махаловидна конструкция с повърхности

с нанотекстура, повишаващи ефикасността четири пъти.

➤ Zhang и др. през 2021 г. разработват система за преобразуване на водното течение в електроенергия с резонансен механизъм, включваща махало, ефективна дори и при слаби океански вълни.

Хибридни системи с модел на махало. Комбинират поне два механизма за преобразуване на енергия, например електромагнитен и трибоелектричен. Такива системи се отличават с висока ефективност, гъвкавост и способност да работят при ниски честоти на възбуждане – характеристика, особено ценна при приложения в морска среда, човешки движения или структурни вибрации на високи сгради.

➤ Нои и др. през 2019 г. разработват въртяща се хибридна система, базирана на махало, която интегрира електромагнитен и трибоелектричен модул. Основният работен елемент е ротационно махало, което при механично възбуждане активира едновременно двете енергийни подсистеми. Електромагнитният модул използва магнитен ротор и околна бобина, като при въртене се индуцира електродвижещо напрежение. Успоредно с това трибоелектричният модул използва контактноразделителен режим между повърхности с различен електроафинитет, осигурявайки допълнителна енергийна продукция. При честота на възбуждане 2 Hz и амплитуда 14 cm, системата постига комбинирана мощност до $79,9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, което я прави изключително ефективна за добив на енергия от бавни и широки механични движения, като тези от океански вълни.

➤ Zhang др. през 2022 г. представят

още по-сложна трихибридна система, която комбинира пиезоелектричен, трибоелектричен и електромагнитен механизъм в единно устройство, базирано на бифиларно махало. Този тип махало е окачено на две струни, което му осигурява стабилни и контролирани колебания. Трите различни преобразователни модула работят синхронно: пиезоелементите се деформират при удари или натиск, трибоелектричният модул генерира ток чрез триене, а електромагнитният компонент използва люлеенето на магнити около бобини. Резултатът е изключително висока плътност на мощността – $358,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-3}$, което превъзхожда получаваната от повечето конвенционални генератори. Устройството е проектирано да улавя както кинетичната, така и гравитационната енергия на морските вълни и намира приложение в енергийно автономни системи за наблюдение, интелигентно земеделие и автономни сензори.

Предимства на математичното махало:

➤ Подходящо за нискочестотни вибрации и многопосочно събиране на енергия.

➤ Наличие на собствен резонанс и широк честотен спектър.

➤ Сравнително лесна разработка и настройка.

Махаловидните системи, и по-специално тези, базирани на математично махало, представляват обещаваща насока за бъдещи изследвания и разработки в сферата на самозахранващата се електроника, интелигентните сензори и структурното здравеопазване [5].

Построяване на прототип. Описание на устройството

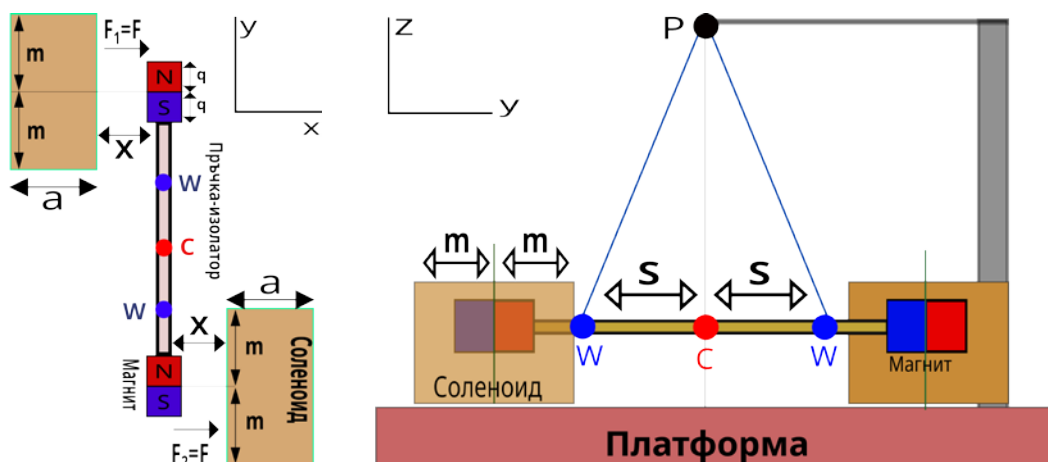
Целта на експеримента е изработката на гореспоменатата везна, която използва явлението електромагнитна индукция, и устройството ѝ се състои от математично махало с прикрепени постоянни магнити на него, което трепти между соленоидни бобини. Махалото използва земното ускорение и съответно периодичното превръщане на кинетична

енергия в потенциална енергия и обратно. Следователно е нужна външна сила само да приведе махалото в движение. Основен недостатък на такъв вид система е, че тя трябва да е хоризонтално разположена на земната повърхност и зависи изцяло от посоката на вектора на земното ускорение.

Основни проблеми и предпоставки при изработването на прототипа

Токът, който ще се генерира е променлив, защото махалото трепти спрямо статичните соленоидни бобини. Съответно и магнитното поле на постоянните магнити, разположени на махалото, ще е периодично за бобините. Магнитната индукция на магнитите трябва да е голяма, за да се да се създаде съществено напрежение от генерирания ток, което да бъде измерено. По същата причина е нужно и соленоидните бобини да са с го-

лям брой намотки. Горните два фактора са причина за съществено магнитно поле, което е генерирано от индуцирания от основното магнитно поле ток. *Електромагнитната индукция е двупосочен процес и индуциран от магнитното поле ток създава обратно магнитно поле, което индуцира ток с обратна посока на първия индуциран ток и така нататък [7, 8].* Това е затихващо явление, но не е за пренебрегване.



Фигура 1. Схема на конструкцията – махало, соленоиди и платформа в проекция XY (вляво) и в проекция YZ (вдясно). P – опорна точка махало-статив, C – център на масите, W – точка на окачване

При конструиране на прототипа се появи основен проблем, който си струва да се отбележи. Генерираното магнитно поле в бобините от индуцирания ток, което е обратно на основното, влияеше на магнитите и привличаше или отблъскваше махалото към соленоидите. Токовете на Фуко бяха значителни и не позволяваха махалото да трепти свободно без удар. Първоначалната идея беше то да се движи вътре в бобините, но това беше невъзможно като конструкция и прециз-

ност поради гореспоменатите токове на Фуко. Не беше възможно да се постави махалото в точката/линията, където индуцираното магнитно поле от тока се уравновесява само. Това е идеалният геометричен център на соленоидите. Този вариант отпадна.

Друго важно нещо за изправната работа на прототипа е нишката на махалото да е неразтеглива и еднослойна, с минимален модул на Юнг.

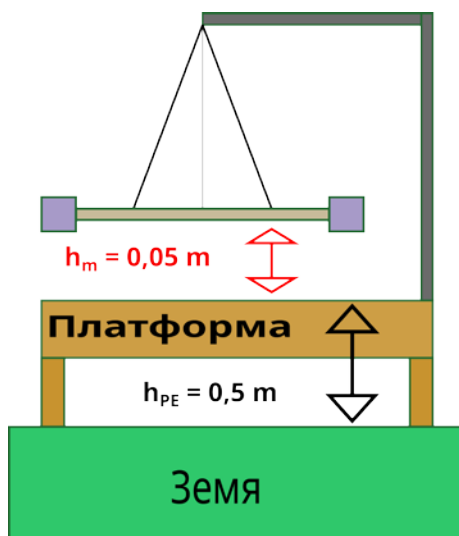
Решение на проблемите и описание на конструкцията на „генератора“

Не е възможно да се изолират полетата, създадени от индуцирания в бобините ток, те трябва да се уравни-воят относно махалото. Соленоидните бобини се разполагат диагонално симетрично спрямо него, като симетрията трябва да се спазва с голяма точност. Бобините трябва да са на равно разстоя-

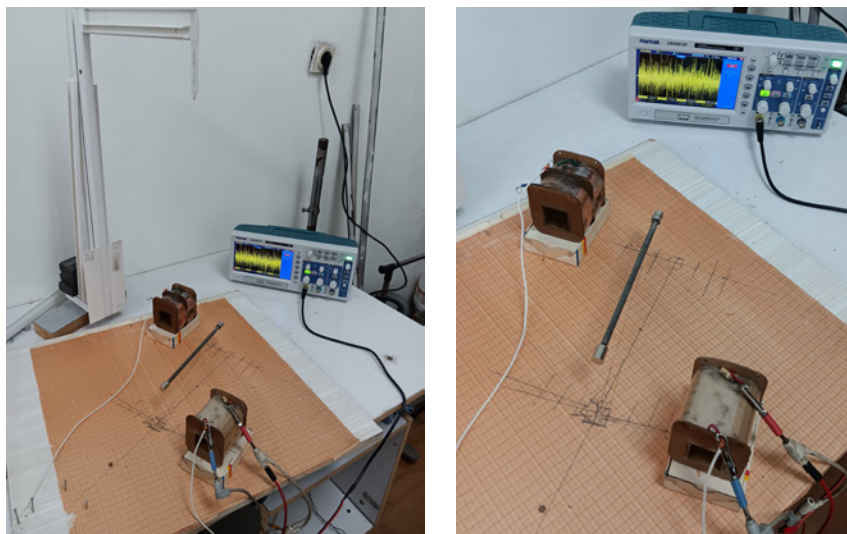
ние от краищата на махалото. Линията, минаваща напречно през средата на соленоида, минава напречно и през средата на магнита, закрепен в края на махалото. Двата магнита са разположени в краищата на махалото. Те са с разменени полюси помежду си, тоест външната страна на единия е със северна полярност, а на другия – с южна. За по-лесна представа са дадени графики на конструкцията (Фигура 1 и Фигура 2).

Създава се фина система, включваща лост и две уравнивяващи го сили. Магнитното поле на индуцирания ток в едната бобина привлича махалото, а магнитното поле на тока в другата бобина отблъсква махалото. Това е така заради посоката на вектора на скоростта на махалото спрямо всеки соленоид. Тъй като то е лост, при прилагане на срещуположни сили в краищата му, се самоцентрира.

Махалото трябва да е нивелирано спрямо земната повърхност и платформата, на която е монтирано, и центърът на тежестта му да е на равни разстояния от соленоидните бобини.



Фигура 3. Средни разстояния махало-платформа и платформа-земна повърхност.



Фигура 3. Снимки на прототипа на установката, на които се виждат махалото, платформата със соленоидите и осцилоскоп

Създаване на прототипа. Условия и използвани материали

Установката включва махало, платформа и соленоиди. Махалото се състои от тежест, нишка и статив (стойка). Тежестта на махалото е цилиндрична пръчка изолатор, на чиито краища са закрепени еднакви постоянни магнити. Всеки магнит в края на пръчката е съставен от 6 долепени еднакви постоянни магнитчета. Нишката на махалото е неразтеглива рибарска корда. Соленоидите са идентични – равен брой намотки, равен радиус, равен радиус и дължина на проводника. Изработени са от меден проводник. Двата соленоида са разположени в диагонална симетрия с махалото. По

цялата установка няма метал, който да се привлича от магнитите. Основните материали са PVC, пластмаса и дърво. Не са необходими специални условия при изграждането на прототипа – стабилна температура и налягане. Влажността на въздуха не трябва да е висока. Работата по изработването отне около 2 месеца. Всички измервания се проведоха при постоянен електромагнитен фон и материали, внасящи допълнително магнитно поле (метални маси, апарати и др.). На Фигура 3 са представени снимки на прототипа. В Таблица 1 и Таблица 2 са дадени спецификациите му.

Таблица 1. Технически спецификации на махалото

Дължина на магнитите [m]	0,015
Дължина на оста на пръчката/изолатор [m]	0,19
Обща дължина на махалото [m]	0,22
Радиус на сечението на магнита r [m]	$5 \cdot 10^{-3}$
Радиус на сечението на пръчката/изолатор $\varnothing$ [m]	$3,5 \cdot 10^{-3}$

Височина на махалото от стойката/статива l [m]	0,485
Период на махалото (измерен) T [s]	1,45
Период на махалото (теоретичен) T [s]	1,398
Грешка при измерване Δl [m]	$1 \cdot 10^{-3}$
Дебелина на кордата [m]	приема се за 0
Разстояние магнит-платформа в покой h_m [m]	0,05
Разстояние магнит-платформа при пускане $h_{m \max}$ [m]	0,08
Височина земя-платформа h_{PE} [m]	0,5
Индукция на един от съставните магнити B_0 [T]	$1 \cdot 10^{-3}$
Индукция на един от магнитите B [T]	$2,1 \cdot 10^{-3}$
Индукция на магнитното поле на Земята E [T]	от $4 \cdot 10^{-5}$ до $7 \cdot 10^{-5}$

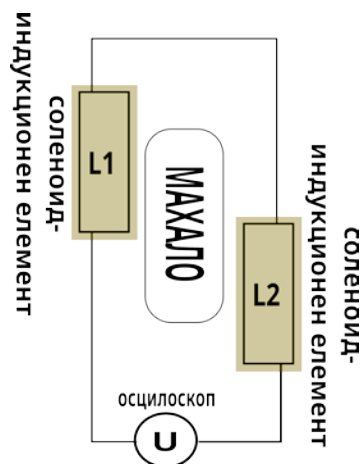
Таблица 2. Технически характеристики на соленоидите

Дължина на соленоида [m]	0,065
Брой намотки на соленоида N	12 000
Материал на изработка на проводника на соленоида	Cu (мед)
Специфично съпротивление на медта ρ_{Cu} [$\Omega \cdot m$]	$1,68 \cdot 10^{-8}$
Радиус на сечението на проводника в соленоида ρ_r [m]	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Дължина на целия проводник в соленоида l_p [m]	240
Съпротивление на соленоида R_{01} [Ω]	57
Радиус на напречното сечение на соленоида R_{02} [m]	0,04

Описание на проведените експерименти с прототипа

Направени са измервания на напрежението на индуцирания в бобините ток при различно разстояние между тях и махалото. Диагоналната симетрия е прецизно спазена. Използван е електронен осцилоскоп. Бобините са свързани последователно с осцилоскопа. На Фигура 4 за по-ясна представа е дадена в опростен вид схемата на свързване.

Начин на измерване. Махалото се пуска от точно определена височина и посока, които са едни и същи за всички измервания. Отчитат се напреженията при четири поредни периода за едно пускане. За дадено разстояние махало –



Фигура 4. Схема на свързване

соленоид махалото се пуска два пъти. Измерват се напрежението от пик до пик и средното напрежение. Проведени са общо 56 измервания. Отчетени са грешките при измерването – от средните грешки на уредите, използвани за експеримента.

Уреди и среда. За определяне на разстоянията е използвана линия, а за напреженията – електронен осцилоскоп, модел *Hantek DSO 5072P*. Грешката при

линията е фиксирана на 2 mm, независимо от измереното разстояние, тук е включен и човешкият фактор. Грешката на осцилоскопа е 2% според техническите му спецификации [8]. За провеждане на експеримента не се изискват специални условия, като температура, налягане и др. Желателно е влажността на въздуха да не е висока.

Анализ на резултатите и изчисления по прототипа. Решения на задачи, свързани с механизма и характеристиките на везната.

Обработка на резултатите

Данните от проведените измервания могат да се представят в обобщена таблица. Изчислява се средноаритметичното напрежение за всяко разстояние D . Т.е. от стойностите на напреженията, получени от двете пускания на махалото за конкретно разстояние, се определя средноаритметичното напрежение. Това се прави за напрежението от пик до пик U_{pk-pk} и средното напрежение, отчетено

от осцилоскопа U_{av} .

Грешката на средноаритметичните стойности се определя чрез Формула 1, където C е средноаритметичната стойност на измерените данни, N е броят измервания, δ е средната грешка при измерване [9].

$$\Delta = \frac{\delta \cdot C}{\sqrt{N}} \quad (1)$$

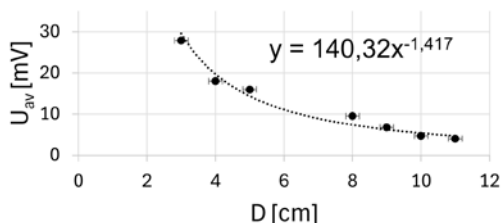
Таблица 3. Обобщена таблица с обработените данни от измерванията

D [cm]	ΔD [cm]	U_{av} [mV]	ΔU_{av} [mV]	U_{pk-pk} [mV]	ΔU_{pk-pk} [mV]
3	0,2	27,88	0,20	120,13	0,85
4	0,2	18,00	0,13	104,00	0,74
5	0,2	16,00	0,11	84,00	0,59
8	0,2	9,50	0,07	74,25	0,53
9	0,2	6,75	0,05	60,00	0,42
10	0,2	4,70	0,03	38,63	0,27
11	0,2	4,03	0,03	41,00	0,29

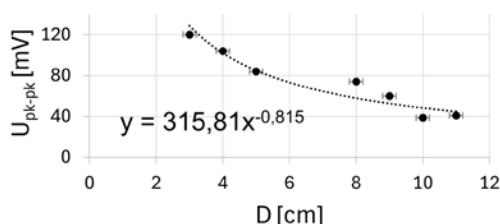
Чрез данните от Таблица 3 могат да се построят графики на зависимостите на средното напрежение U_{av} от разстоянието махало – бобина D и напрежението от пик до пик U_{pk-pk} от разстоянието маха-

ло – бобина D . Графиките са представени на Фигура 5 и Фигура 6.

Зависимостите и при двете графики са степенни. Върху самите графики са дадени функциите на фитовите (Формула



Фигура 5. Зависимост на средното напрежение от разстоянието махало – бобина



Фигура 6. Зависимост на напрежението от пик до пик от разстоянието махало – бобина

2 и Формула 3). Теоретично погледнато, стойността на индукцията трябва да е обратнопропорционална на разстоянието до източника на трета степен (Формула 4). Постоянният магнит създава магнитно поле, което на разстояния, по-големи от размерите на магнита, може да се опише като дипол с магнитен момент m . Като се използва Законът на Фарадей, даден във Формула 5, за зависимостта на индуцираното напрежение от магнитния поток, след няколко преобразувания се стига до извод, че то зависи обратнопропорционално от разстоянието на четвърта степен – Формула 9 [6, 7].

$$y = 140,32 \cdot x^{-1,417} \quad (2)$$

$$y = 315,81 \cdot x^{-0,815} \quad (3)$$

$$B(r) \approx \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2m}{r^3} \quad (4)$$

$$U = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (5)$$

$$d\Phi = B \times A \approx B \cdot A \quad (6)$$

$$U = -N \cdot A \frac{dB}{dt} \quad (7)$$

$$\frac{dB}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{r^3} \right) = -3 \frac{1}{r^4} \cdot \frac{dr}{dt} \quad (8)$$

$$U \sim \frac{1}{r^4} \quad (9)$$

В уравнение (4) B е магнитната индукция, μ_0 е магнитната проницаемост на вакуума, m е магнитният диполен момент, r е разстоянието магнит – бобина. В Закона на Фарадей N е броят намотки на соленоида, Φ е магнитният поток, t е времето. В уравнение (6) с A е означена площта на контура, през която преминава конкретното количество магнитно поле.

Уравнения 2 и 3 не са от четвърта степен. Измерванията са проведени при естествен за лабораторията електромагнитен фон (замърсяване). При всяко пускане се внасят различни по големина и посока осцилации, които създават допълнителни отклонения от идеалната теоретична крива. Това наложи многократно провеждане на експериментите за да се установи повторемост. Изчакваше се системата да самокомпенсира внесени първоначални механични смущения, докато не влезе в режим на самоосцилиране. Въпреки неточностите, може да се приеме, че експериментът удовлетворява теорията и е успешен, тъй като зависимостта е степенна и се доближава до теоретичната.

Задачи, свързани с механизма и характеристиките на прототипа

Нека се съставят зависимости за някои величини, свързани с работата на прототипа, като се използват конкретните му технически спецификации. Могат да се изведат връзки за силата на съпротивление на въздуха при движение на махалото и силата на магнитното поле, което е индуцирано от генерирания от основното магнитно поле ток.

Първата задача е да се състави уравнение за силата на съпротивление на въздуха при основно движение на махалото. Уравнение за силата на съпротивление при движение на тяло във флуид е формула 10, където ρ е плътността на флуида, в който се движи тялото, v е скоростта на тялото, A е активната му площ, която при движение е в контакт с флуида, и C_d е коефициентът на влачене на тялото, който зависи от формата му [10].

$$F = 0,5 \rho v^2 A C_d \quad (10)$$

Пренебрегват се размерите, съответно и съпротивлението на кордата на махалото. Активната площ при движение на махалото е външната страна на магнита и вътрешната страна на отсрещния магнит, които са в двата края на пръчката изолатор. Магнитите са с форма на цилиндър и активната зона при основното движение на махалото е основа на цилиндър. От вътрешната основа – активната площ на отсрещния магнит, е извадено напречното сечение на пръчката изолатор, което също е основа на цилиндър. Това е площ, в която магнитът е залепен с пръчката и площта не е в контакт с въздуха. Приема се, че въздухът е с постоянни плътност и състав. След преработка на

формула 10 се стига до долното уравнение (Формула 11), където r е радиусът на сечението на магнита, а δ е радиусът на сечението на пръчката изолатор.

$$F = 0,5 \rho v^2 (2\pi r^2 - \pi \delta^2) C_d \quad (11)$$

За удобство са изведени активните площи.

$$A_1 = \pi r^2 \quad (12)$$

$$A_2 = \pi r^2 - \pi \delta^2 \quad (13)$$

Следва да се заместят конкретните стойности в горните формули. В Таблица 6 са дадени стойностите на величините без скоростта, която е променлива в случая [11].

Таблица 6. Стойности на величините

ρ [kg/m ³] при температура 15°C	1,225
A_1 [m ²]	$7,85 \cdot 10^{-5}$
A_2 [m ²]	$7,07 \cdot 10^{-6}$
C_d	1,1

След заместване се получава израз за F в нютони, в който само скоростта е неизвестна.

$$F = 5,77 \cdot 10^{-5} v^2 \quad (14)$$

Втората задача е да се състави уравнение за силата на магнитното поле, което е индуцирано от генерирания от основното магнитно поле ток. Това е силата на магнитното поле, което е създадено от тока в соленоидите. Този ток е индуциран от основното магнитно поле на постоянните магнити, закрепени на махалото. От Закона на Фарадей е известно, че индуцираното от създадения ток магнитно поле е противоположно

по посока на основното, силите са противоположни [7]. Поради значителната индукция на магнитите в прототипа, възпроната сила на новото поле влияе на движението на махалото.

За изчисляване на силата се използва формула 15, където B е индукцията на магнита, S е площта на напречното сечение на соленоида, N е броят намотки на соленоида и v е скоростта на махалото, съответно и на магнита. Както се вижда, изчислява се силата, която влияе на най-близкия до соленоида магнит. Силата, действаща между другите магнит и соленоид, ще е със същата големина, но

противоположна по посока.

$$F' = B S v N \pi \quad (15)$$

За пресмятане на площта S се използва долното уравнение (16), където R_{02} е радиусът на сечението на соленоида.

$$S = \pi \cdot R_{02}^2 \quad (16)$$

След заместване се получава израз за F' в нютони, в който само скоростта е неизвестна:

$$F' = 0,127 v \quad (17)$$

Изводи

Взната работи според теоретичните модели. Автономната ѝ работа, при която генерираното напрежение може да бъде измерено с осцилоскоп, е между 20 минути и половин час. Махалото е

стабилно и не се наблюдават удари в бобините. Амплитудата му затихва плавно, според очакванията. Проведените експерименти са успешни.

Благодарности

Благодарности към Физическия факултет на Софийския университет „Св. Климент Охридски“ за осигурените условия и материали за работа.

Литература

- [1] <https://www.britannica.com/science/electromagnetism/Invention-of-the-Leyden-jar>, Frank Neville, H. Robinson, Edwin Kasy, *Historical survey in electromagnetism Britannica*, (5.10.1998 г.)
- [2] <https://arxiv.org/abs/1511.04593>, Giorgi Khomeriki, *Parametric resonance induced chaos in magnetic damped driven pendulum*, (5.08.2016 г.)
- [3] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022460X22002541?via%3Dihub>, Hesam Sharghi, *Energy Harvesting from Human Walking Motion using Pendulum-based Electromagnetic Generators*, (15.05.2022 г.)
- [4] <https://arxiv.org/abs/2501.00023>, Krystian Polczyński, Maksymilian Bednarek, Jan Awrejcewicz, *Dynamics of pendulum forced by a magnetic excitation with position-dependent phase*, (17.12.2024 г.)
- [5] <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/22/8674>, Jiatong Chen, Bin Bao, Jinlong Liu, *Pendulum Energy Harvesters: A Review*, (18.11.2022 г.)
- [6] Харолд Фулър, Ричард Фулър, Робърт Фулър, *Физиката в живота на човека*, Издателство наука и изкуство, (1988 г., Глави: 3.,4.,5.,6.,15.,21.,23.,24.,25.)

- [7] Иван Лалов, *Електричество, магнетизъм, оптика*, Университетско Издателство "Св. Климент Охридски", (2008 г.)
- [8] <https://www.hantek.eu/product/dso-5072p/>, Осцилоскоп *Hantek DSO 5072P*
- [9] Любомир Илиев, Дочка Съева, Камен Недев и др., *Лабораторен практикум: Механика*, Университетско Издателство "Св. Климент Охридски", (2014 г., Глави: 5., 7.)
- [10] <https://bg.khanacademy.org/computing/computer-programming/programming-natural-simulations/programming-forces/a/air-and-fluid-resistance>, Khan Academy, *Съпротива на въздух и флуид*
- [11] (PDF) Online Wind Tunnel Laboratory, E. S. Aziz, Sven Esche, C. Chassapis, *Online Wind Tunnel Laboratory*, (Stevens Institute of Technology, 06.2008 г.)

INVENTION OF AN ELECTRIC GENERATOR WITH A MATHEMATICAL PENDULUM

Mihail B. Iliev, Toma Tomov

The object of the experiment is the construction and testing of a balance that operates based on the phenomenon of electromagnetic induction, incorporating a model of a simple pendulum with attached permanent magnets, oscillating between solenoids. The pendulum utilizes gravitational acceleration, demonstrating the periodic conversion of kinetic energy into potential energy and vice versa.

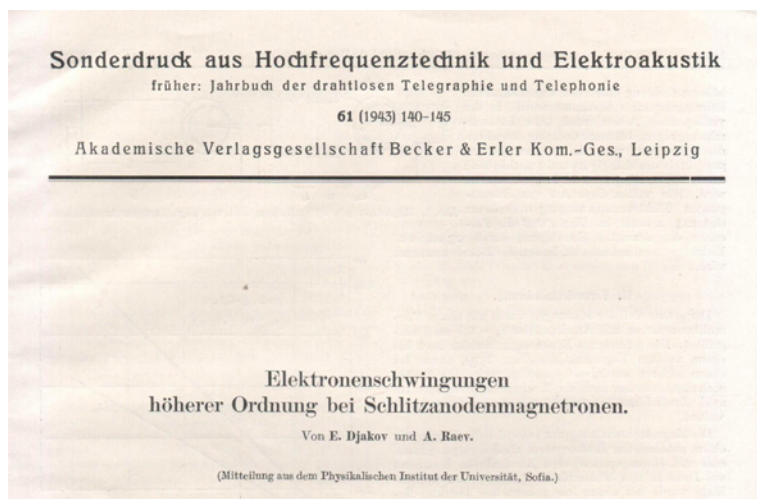
This article examines the structure of the balance, the prototype itself, and the underlying theoretical framework. Technical specifications of the prototype have been measured, and experiments have been conducted. Key parameters influencing the performance of the setup have been calculated, and a comprehensive evaluation of the system's operation has been performed.

The apparatus is particularly suitable for demonstrating the phenomenon of electromagnetic induction and its connection to oscillation and gravity.

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

Предшестващи трептения в магнетрони – едно малко познато българско научно откритие с автори Емил Джаков и Александър Раев

Боян Джаков



Първите няколко десетилетия след нашето освобождение от турска власт бележат подем във всички сфери на живота. В новосъздаденото Висше училище изследвания на предния фронт на природните науки започва проф. П. Бахметиев. Той днес е широко известен със своите научни открития. Няколко десетилетия по-късно следват още няколко открития от по-младите наши университетски физици. Сред тях е и наблюдаването от Емил Джаков и Александър Раев на един нов вид електрични трептения, възникващи самостоятелно в магнетрони.

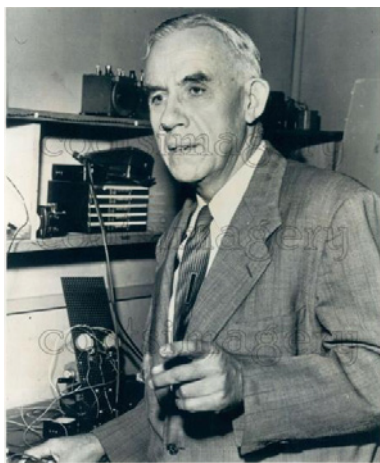
Магнетронът е радиолампа – столетник. През 1924 г. Аугустин Жачек, професор в Карловия университет – Прага, изобретява генератор на електрични трептения с вакуумна електронна лампа, поместена в магнитно поле. Засиленият

интерес към магнетрона в края на 30-те години води до нови научни постижения, сред които достойно място заемат резултатите, получени от българските физици Емил Джаков и Александър Раев. Но нека първо да хвърлим поглед към някои страници от предисторията на това откритие.

Още в началото на отминалото столетие са правени опити да се създаде вакуумна електронна лампа с магнитно управление. Почвата е подготвена от физиците, които определят експериментално заряда и масата на електрона. Изучено е поведението на електрически заредени частици в кръстосани електрично и магнитно поле. Жачек публикува резултатите си на чешки език [1] и няколко години остава неизвестен за задграничните си колеги (в литературата често се цитират други автори – *Habban* [2], работил в Йена, Слуцки – в Харков

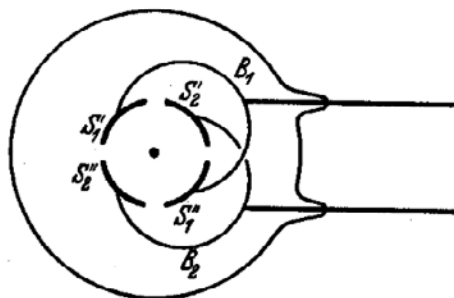
и др.).

Многокамерният магнетрон [3] е предложен и патентован от Ханс Ерих Холман през 1936 г. Негов предшественик е магнетронът с разрязан анод, който в продължение на няколко десетилетия изиграва неоценима роля за изучаването на физичните явления в свръхвисокочестотните електронни прибори. Преди да се присъедини към групата изследователи на магнетрони, асистентът Емил Джаков от Софийския университет вече е правил теоретични и лабораторни изследвания в областта на физичната електроника [4]. Осъществил е първите точни измервания на електричен импеданс при дециметрови радиовълни и детайлно е изучавал в свои лабораторни опити механизма на осцилациите на електроните в решетъчен диод – генератор на ултракъси вълни, създаден по-рано от професор Холман (Фотос 1). Младият физик от България завършва успешно специализация в Берлин при Холман, който по същото време е и един от изобретателите на радиолокацията.



Фотос 1. Проф. Ханс Ерих Холман – учител на акад. Емил Джаков (от: Cootsimagery)

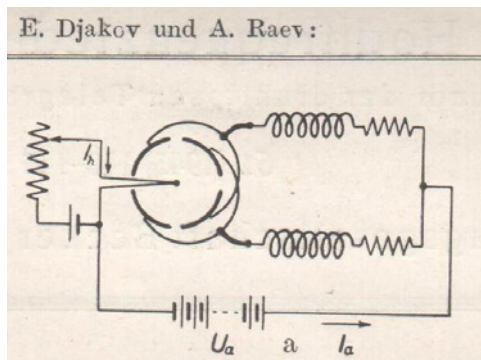
И така, стигаме до откритието на Джаков и Раев [5]. Магнетронът е с цилиндрична симетрия, а на Фигура 2 е показано напречното му сечение.



Фигура 2. Напречно сечение на магнетрон с разрязан анод. Катодът (нагрятая жичка) е в центъра, а секциите на анода са четири (от S_1' до S_2''). Магнитното поле е перпендикулярно на равнината на чертежа (успоредно на катода)

Важно е да се отбележи, че в труда на Джаков и Раев [5], за разлика от изследванията на магнетрони дотогава, новооткритите трептения възникват в отсъствие на външна резонансна система (резонансната честота на външните вериги, захранващи анодите, е много отдалечена от честотата на трептенията в лампата).

Наблюдават се трептения с честота, която се мени в широки граници в зависимост от анодното напрежение и магнитната индукция. Изучено е и влиянието на някои други параметри. Изказани са предположения относно физичния механизъм на явленията. Подробности са дадени в книгата [4], а тук, преди да насоча вниманието на читателя към новото в изследванията на Джаков и Раев, ще припомня какво се е знаело за движението на електрона в края на XIX век.



Фигура 3. Схема на експериментите на Джаков и Раев [5] (I_h – отоплителен ток на катода, U_a и I_a – анодно напрежение и ток)

Малко след като Максвел създава своята теория на електромагнитните явления, движението на частица с електричен заряд e (например електрон) в магнитно поле е описано с израза за Лоренцовата сила

$$F = eE + ev \times B \quad (1)$$

Тук E и B са векторите на електричното и магнитното поле, а v – на скоростта на частицата. Електричното поле ускорява частицата в посоката на силовите линии (или в обратна посока при отрицателно заредения електрон), а магнитното създава ускорение в посока, перпендикулярна на B и v . В магнетрона с цилиндричен анод, изобразен на Фигура 3, едно достатъчно силно магнитно поле изкривява дотолкова траекторията на изпусканите от катода електрони, че те не стигат до анода, а се движат – както подсказва решението на уравнение (1) в първо приближение – по кардиоида. Големината на това критично поле, B_{crit} , е неразделна част от решението. При $B > B_{crit}$ траекторията е епициклоида.

Порядък на осцилациите, както е

споменато от Джаков и Раев [5], е бил въведен от други автори като

$$n = T/T_0 = (\lambda B)/10650 \quad (2)$$

Тук T означава периода на трептения, λ (cm) – дължината на вълната, B (Gauss) – магнитната индукция. T_0 е времето на преминаване на електроните по една обиколка на кардиоидната траектория на електрона (или от възел до възел на епициклоидната). Преди публикацията на Джаков и Раев [5] са известни две основни разновидности на трептения, генерирани с помощта на цилиндричен магнетрон с цял или разрязан анод (цитирам [5]):

„1. Динаatronни или Хабанови трептения, дължащи се на статично отрицателно съпротивление между сегментите.

2. Трептения, получавани поради неквазистационарното движение на електроните във магнетрона при периодъ на трептене от порядъка на времето за описване една циклоида или едно обикаляне около катода“.

Първият вид осцилации възникват във външната резонансна система, когато магнитната индукция е равна или близка до критичната стойност, поради което електронните траектории тангират към анодната повърхност. Порядъкът n е близък до 1.

От втората разновидност, отново с външна резонансна система, са били наблюдавани трептения тип А с порядък $n \leq 1$ и трептения тип Б с порядък, по-голям от 1. При тип А магнитната индукция е около критичната, а анодният ток е ограничен в тесен интервал. Трептенията тип Б се появяват в доста широки интервали на анодното напреже-

ние и магнитната индукция. При тип Б, както и при А, честотата на генерирани-те трептения се определя от резонансната честота на външния трептящ кръг. Има основание да се смята, че механизмът на генерация се определя от конструкция-та на лампата.

За своите новооткрити трептения Джаков и Раев [5] пишат:

„Въобще всички автори, безъ изключение, считатъ за установено, че наблюдаваните трептения съ порядъкъ $n > 1$ при магнетроните съ разрезанъ анодъ винаги иматъ честотата на приложениа настроенъ кръгъ [2, с. 64 и 68], [6, с. 131], [7, с. 206], [8], [9, с. 12], [10, с. 93 и 94].

Въ настоящата работа, обаче, противно на горното твърдение, ще покажемъ, че при магнетрони съ разрезанъ анодъ могатъ да се наблюдаватъ чисто електронни трептения отъ високъ порядъкъ ($n = 5$ до 550), чиято честота се определя въ твърде широкъ интервалъ отъ режима на лампата, безъ да зависи отъ външната система“.

Част от експерименталните резултати в графична форма виждаме по-долу.

Наблюдават се два вида трептения с дължина на вълната λ_1 и λ_2 , които възникват в широки области на следните параметри: брой на секциите на разрядания цилиндричен анод p ($p = 2$ или 4), радиус на анода r_a , ток на насищане (максимален ток на емисия от катода) I_s , анодно напрежение U_a и магнитна индукция B . Изучено е и как влияят малки отклонения на посоката на магнитното поле от успоредната на катода. Експе-

рименталните данни са обобщени от зависимостта

$$\lambda_i = K(i, n, p) r_a^2 B / U_a \quad (3)$$

За коефициента K в труда [5] и в последвалите публикации са посочени числени стойности в интервала от 200 до няколко хиляди – за различни стойности на i , n и p , като единиците в (3) са сантиметър, гаус и волт.

Заслужава още да отбележа, че електричното поле E в междината е от порядъка на U_a/r_a . Електронът би изминал обиколката на кръг с радиус r_a за време $2\pi r_a/(E/B)$, където E/B (изразено в единици от системата СИ) е равно на дрейфовата скорост в кръстосаните полета $E \perp B$. Виждаме, че при обиколките на електрона би се излъчвала вълна с дължина от порядъка на $2\pi r_a^2 B / U_a$. Аналогията на този израз с (3) ни убеждава, че наблюдаваните от Джаков и Раев трептения са пряко свързани с движението на електроните в лампата¹.

В една по-късна публикация [6] четем за генерация с порядък до $n = 2500$ или $\lambda = 100$ m:

„Получаването на трептения при магнитни полета 2 до 30 пъти по-силни от критичното показва, че трептенията се появяват, когато пространствените електронни товари са концентрирани около катода. При това порядъкът на наблюдаваните електронни трептения беше от 5 до 2500 при дължина на вълната от 0,8 до 100 м“.

В работата си Джаков и Раев използват вълномер, чийто галванометър е с висока чувствителност – няколко на-

¹Трептения при по-силно магнитно поле изискват електронни орбити с по-малък радиус. Електронният облак е свит около катода, а поради високата си плътност е склонен към неустойчивост [7].

ноампера/деление. Това обяснява защо другите автори (преди тях) не са регистрирали слабите сигнали, дължащи се на осцилации вътре в лампата.

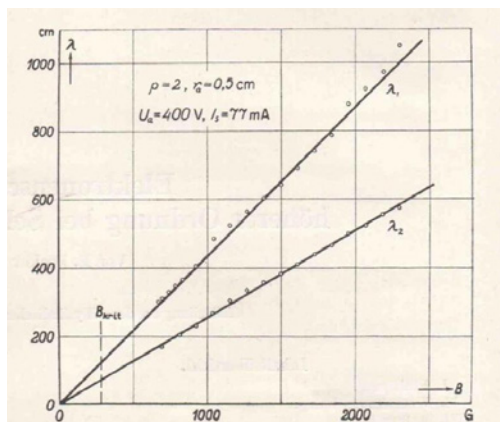


Abb. 2. Abhängigkeit der Wellenlänge von der magnet. Induktion bei konstanter Anodengleichspannung und aperiodischem Anodenkreis.

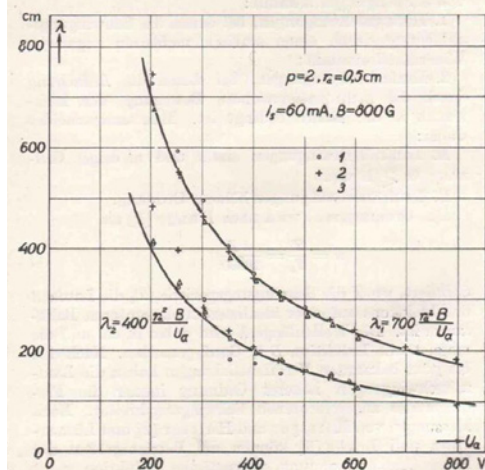


Abb. 3. Abhängigkeit der Wellenlänge von der Anodengleichspannung bei konstanter magnet. Induktion 1. bei aperiodischem Anodenkreis, 2. bei Lechersystem mit Eigenwellenlänge $\lambda_0 > \lambda_1$, 3. bei $\lambda_0 < \lambda_1$.

Фигура 4. Зависимости на наблюдаваната дължина на вълната λ от магнитната индукция B при анодно напрежение $U_a = \text{const}$ и от U_a при $B = \text{const}$

²Названието *предхождащи* идва от обстоятелството, че в импулсните многокамерни магнетрони тези трептения се появяват в началото на импулса – преди възбуждането на мощни трептения в резонансната система.

* * *

В „Книга за академик Емил Джаков“ [4] съм написал по-подробно за отклика към публикациите по радиофизика и електроника от периода 1937 – 1943 г. на младите тогава физици Джаков и Раев от Софийския университет. Трудът [5] незабавно, този път в превод на английски, е отпечатан във водещо англезично списание по електроника. Следва цитиране не само в литературата за магнетрони, но и от изследователи на по-широк кръг взаимодействия на движещи се във вакуум електрони с електрични и магнитни полета. А откритите от Джаков и Раев трептения в магнетрони са наречени *preoscillations* – предхождащи (предшестващи)² трептения, за да се направи разлика от височестотните токове, генерирани с участието на външна резонансна система. При резонанс в една такава система възниква променливо напрежение, което е насложено върху постоянното анодно напрежение и силно променя условията за движение на електроните в електродната междина.

Други автори по-късно наблюдават предшестващи трептения, често под формата на слаб шум, възникнали при определени условия и в други лампи, например в модерните многокамерни магнетрони.

Напредък има и в теоретичното обяснение на подобни явления. В своя публикация [7] от последните години на отминалото столетие проф. Раев добавя нови опитни данни и разсъждава върху едно възможно описание на предшестващите трептения в магнетроните



Фотос 5. Проф. Александър Раев и акад. Емил Джаков (около 1970 г.)

като неустойчивост на електронния облак.

Според оценка от 2014 г. [3], в същата година по света е имало около един милиард работещи магнетрони. Използват се например в микровълновите фурни за подгряване на храни, като у нас само „Техномаркет“ предлага над 70 модела. Магнетронът и други електронни лампи – негови братовчеди, генериращи радиовълни с малка дължина, имат предимства при по-големи мощности.

Навлизането в живота на тези и на други нови технологии, а още повече успехите в широк кръг научни области днес започнахме да смятаме за нещо дадено. Нека да не забравяме за българските научни открития, допринесли за такъв напредък. Да си припомним и какви усилия е струвал успехът.

През първата половина на XX век физиците експериментатори у нас работят при тежки условия. В свои спомени за първите години на работа в СУ акад. Емил Джаков пише: „...започнах науч-

ноизследователската си дейност в 1932 г. като млад асистент. Имах упоритото желание да навляза в една съвсем нова тогава област – електрониката. А условията за експериментална научна работа у нас бяха мизерни – нямаше апаратура, нямаше никаква техническа помощ и работилници, нямаше и кой да ми помогне да навляза в тази област. Започнах сам да се уча, сам да си изработвам всичко необходимо...“ (ръкопис в архивите на акад. Джаков).

Професионалният път на проф. Александър Раев започва като студент-кръжочник и по-късно като асистент на проф. Емил Джаков. Чиракува в изработването на уреди и пособия, необходими за експериментите им („аз държах лампите, а той ги запояваше“); неговата задача е ръчно да задвижва форвакуумната помпа, а сутрин да пусне инсталацията за течен въздух („в 5 часа бях там и въртях колелото“).

За отминалите осемдесет години напредъкът в тази област на физиката не само умножи семейството на магнитно управляемите вакуумни прибори (ускорители, амплитрони, карсинотрони, лазери със свободни електрони и др.). Родиха се нови области, напр. космическа електродинамика.

Акад. Емил Джаков и неговият следовник проф. Александър Раев са световно признати със своите приноси към развитието на радиофизиката и електрониката. Те оставиха трайна диря в историята като първопроходци на университетското преподаване и научните изследвания по физика у нас.

Литература

- [1] A. Žáček, Čas.pro přest.mat. a fys. **53** 378 (1924)
- [2] E. Habban, Hochfrequenztechn. **24** 115 (1924)

- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Cavity_magnetron
- [4] Б.Е. Джаков, *Книга за академик Емил Джаков*. Издателство на БАН „Проф. Марин Дринов“ (2024)
- [5] E. Djakov, A. Raev, *Elektronenschwingungen hoecher Ordnung bei Schlitzanodenmagnetronen. Hochfrequenztechn.* **61** 140 (1943);
Е. Джаков, А. Раев, *Електронни трептения от по-висок порядък в магнетрони с разрязан анод*, Годишник СУ ФМ **39** 67 (1942-1943)
E. Djakov, A. Raev, *Magnetron Frequencies*. Electronic Industr. **4** 106 (1945)
- [6] Е. Джаков, А. Раев, *Електронни трептения в магнетрони с разрязан анод при нееднакви постоянни напрежения на сегментите*. Годишник СУ ФМ **43** 351 (1946-1947)
- [7] A. Raev, *End-effect and Preoscillations in Small Cathode Magnetrons*. Bulgarian Journal of Physics **24** 175 (1997)

PREOSCILLATIONS IN MAGNETRONS – A LITTLE KNOWN BULGARIAN SCIENTIFIC DISCOVERY: AUTHORS EMIL DJAKOV AND ALEXANDER RAEV

Boyan Djakov

The first half of the 20th century was abundant in discoveries in science and technology. The magnetron – a vacuum tube that generates microwaves using the interaction of electrons with a magnetic field – was invented in 1924. The split-anode configuration was soon replaced by a number of cavities surrounding the cathode. Nevertheless, the split-anode magnetron happened to be more suitable for the research that followed soon. With this device, two Bulgarian physicists, Emil Djakov and Alexander Raev (Sofia University „St. Kliment Ohridski“), became the first to observe a new type of oscillations that were later labelled 'preoscillations'. They have published a number of articles on their discovery since the first announcement in *Hochfrequenztechnik u. Elektroakustik* (1943).

The order of the wave n is the ratio of its period to the electron transition time. For the newly discovered oscillations n is typically between 5 and several hundreds. Being observable by means of an extremely sensitive detector, the preoscillations were generated in the absence of any external resonance system within a wide range of external conditions (magnetic induction, anode voltage etc.).

The present paper outlines the history of this discovery as well as the immediate response from the scientific community. Eighty years since, the electron motion in crossed electric and magnetic fields formed the basis of newly developed devices (accelerators, amplitrons, carcinotrons, free electron lasers etc.), and new fields of scientific research emerged such as cosmic electrodynamics.

КРАТКА ИСТОРИЯ НА КРАТКИЯ КУРС ПО ЕЛЕКТРОДИНАМИКА ПРЕЗ ВТОРАТА ПОЛОВИНА НА XX ВЕК¹

Христо Попов

Първо: Благодаря на организаторите на това юбилейно честване за това, че като най-стар измежду живите бивши членове на Катедрата, ме поканиха да разкажа спомени от нейната история, като при това ми предоставиха и свободата сам да избира темата.

Второ: Предварително моля колегите, които по възраст са от или близо до моето поколение, да проявят снисходителност към неизбежните за възрастта ми пропуски и неточности, които със сигурност ще допусна. С възрастта искам да оправдая пред вас и факта, че чета, вместо да говоря свободно и се надявам, че ще бъде великодушно разбран.

Трето: Както се следва, настоящата научна сесия включва доклади, отразяващи днешните интереси и научна дейност както на настоящите, така и на пенсионираните членове на Катедрата. В това отношение и моето изказване прави изключение и не съм сигурен, че със спомените си за събития отпреди повече от половин век бих могъл да заинтересувам някого. Но все пак – ще опитам.

Когато преди три седмици се съгласих да разкажа спомени от историята на Катедрата, няколко дни умувах как да ги озаглавя така, че да не звучат твърде претенциозно. Въпреки това, малко прибързано предложих заглавие, което включваше развитието на курсовете по теоретична физика в средата на миналия

век. Когато започнах да събирам мислите си обаче, бързо установих, че все пак съм се надценил и съм си поставил неизпълнима за толкова време задача, тъй като решението ѝ изисква ровене из стари архиви за учебни планове на различни, променящи се през годините специалности и специализации, в учебни програми, учебници и т.н., и т.н.

Поради тази причина реших да стесня силно предмета на разглеждане и се огранича само с това, с което съм свързан пряко – с курса по електродинамика. А тъй като нормалния курс съм чел само две години, след като не открих следи върху траен носител на информация от четенето му след 1969 г., в края на краищата се оказа, че мога да говоря само за краткия курс.

Преди това обаче искам с няколко думи да кажа как в средата на миналия век изглеждаше обучението по физика в тогавашния Физико-математически факултет, в който учеха бъдещи математици, физици и химици, както и в частност – какво включваше обучението по теоретична физика.

В онези години специалността физика имаше два профила: научно-производствен и педагогически. Годишният прием в научно-производствения профил бе около 25 – 30 студенти, а завършилите го намираха реализация в научни институти, в катедри по физика на висши

¹Доклад, изнесен през 2024 г. на научна сесия по случай 100 години от създаването на катедра „Теоретична физика“ в Софийския университет.

учебни заведения, както и в някои от тогава малкото на брой заводски физични лаборатории. Педагогическият профил подготвяше годишно около 80 – 100 учители по физика, но завършилите имаха право да участват и в конкурси за научни длъжности (което мнозина правеха с успех).

Обучението по ТФ (теоретична физика) за двата профила бе различно. За научно-производствения профил то започваше от втория семестър с двусеместриален курс по ММФ (математични методи на физиката), след който следваха курсовете по ТМ (теоретична механика), ТСФ (термодинамика и статистическа физика), ЕД (електродинамика) и КМ (квантова механика). За педагогическия профил курсът по ММФ бе по-кратък, а останалите четири курса, със съответно намален хорариум, бяха обединени в два двусеместриални: ТФ-I и ТФ-II част. Към 1955 г. факултативни курсове все още нямаше.

Катедрата ТФ в средата на 50-те години наброяваше 6 члена: академиците проф. А. Дацев и проф. Хр. Христов, един доцент – И. Златев и асистентите (по реда на назначаването) Г. Десимиров, Хр. Димитров и А. Николов. Христов „четеше“² курсовете по ММФ и ЕД, Дацев – по ТСФ и КМ, а Златев – ТМ. Курсовете по ТФ- I и II част ежегодно се възлагаха на асистентите Десимиров и Димитров. (По това време вървеше шегата, че един бъдещ учител може да вземе диплома за висше образование без въобще да е слушал лекции от **професор** по теоретична физика).

От 1960 г. започна бързо разрастване на броя на новоприетите студенти – годишно той вече беше от порядъка на 200 и повече. Това наложи бързо нарастване и на всички факултетски катедри. Докато преди това нов асистент в нашата катедра се назначаваше примерно веднъж на 2 – 3 години, сега се получи нещо, подобно на периода на Инфлацията след Големия взрив на Вселената: от два последователни³ випуска – 1960 и 1962 г., бяхме назначени аз и В. Караиванов, а от всеки от следващите три випуска в Катедрата постъпиха по трима колеги – 1963 г.: М. Матеев, А. Донков и Й. Влахов, от 1964 г.: Ив. Захариев, Д. Светогорски и Яна Пройкива, а след тях още една тройка – А. Илчев, В. Карлуковски и Д. Бакърджиев.

При разпределяне на работата между асистентите горе-долу се проявяваше стремеж един асистент да не води всяка година семинарни занятия по един и същи предмет, за да не се превърне например в асистент НА Иван Златев, а да си остане асистент ПО теоретична физика. (В противен случай би се стимулирало нежелано оформяне на различни групи в Катедрата). Така например, като се изключи КМ, аз съм водил семинарните занятия към всички катедрени курсове.

След тези думи за състава и работата в Катедрата, искам да поясня за каква **история** става дума в заглавието на тези спомени, тъй като е ясно, че класическата електродинамика век и половина след Максвел си е все една и съща. Когато става дума за електродинамиката

²Глаголът „четеше“ съм поставил в кавички, защото в края на 50-те години вече никой професор не влизаше в аудиторията с кола от своя учебник в ръка, от която да чете в буквалния смисъл лекцията си. (Всъщност повечето от лекторите дори нямаша свои учебници).

³Тогава стана преходът от пет към 6-годишно обучение в научно-производствения профил.

като университетска учебна дисциплина обаче, трябва да се отчитат и редица други фактори като различията в специалностите, които я изучават, различния математичен апарат и различната предварителна подготовка, с които разполагат студентите, и ред други. Именно те определят възможните начини на подбор и изложение на материала, подбора и подреждането на темите и т.н..

Не съм сигурен дали е необходимо пред тази аудитория, но за всеки случай ще припомня, че за излагане на електродинамиката, както и за всяка наука, са възможни два подхода: индуктивен и дедуктивен. Дедуктивният стъпва върху уравненията на Максвел, след което, с помощта на подходящ математичен апарат и съответни моделни представи за структурата на веществата, се извеждат всички следствия, необходими за приложенията в различни области на физиката и техниката. По очевидни причини не това е подходът, подходящ за обучение.

При индуктивния подход се използва методът на последователните обобщения, при който се започва с най-простите, статичните взаимодействия, докато последователно се стигне до най-сложните явления, които зависят от времето. След уравненията на Максвел, вече в зависимост от необходимостта, се правят връзките с електротехниката, с радиофизиката, с оптиката и т.н.

Самият метод на последователните обобщения обаче допуска също два варианта. При първия вариант на всеки етап от обобщенията (статични, стационарни и променливи явления) едновременно се разглеждат и взаимодействия във вакуум, и взаимодействия в присъствие на материални среди. При втория вариант

първо се изучават всички етапи на обобщение за явленията във вакуум, след което се разглеждат взаимодействията в присъствие на среди.

В курса си по електродинамика проф. Хр. Христов използваше първия от двата варианта. В известен смисъл той продължаваше някои традиции, които могат да се проследят във втория том на изданието през 1938 г. учебник „*Увод в теоретичната физика*“ от създателя на Катедрата проф. Георги Манев. През 1953 и 1954 г. проф. Христов бе издал първия български учебник по електродинамика, който, макар и на нередовен печат по времето на моето следване, все още можеше да се купи от Университетската книжарница. В това отношение електродинамиката се отличаваше от много други курсове, за подготовка по които студентите търсеха по библиотеките подходящи учебници, предимно на руски език.

Като коментар към курса на проф. Христов може да се отбележи преди всичко неговата тясна връзка с курса по ММФ – факт, който не е изненадващ, като се има предвид, че и двата курса се водеха от един преподавател. Цялата векторна алгебра, целият векторен анализ, теорията на обикновените и на частните диференциални уравнения в ММФ бяха построени така, че да обслужват нуждите на курса по електродинамика. Това гарантираше строгата математична коректност на изложението. С него се обяснява например особеното внимание, което на всеки етап от обобщенията проф. Христов отделяше на началните и на граничните условия, без които няма отговор на въпроса за съществуване и единственост на решението на нито една

конкретна задача, изискваща решаване на диференциално уравнение.

Както бе вече отбелязано, характерна черта на курса на проф. Христов е плътното придържане към първия вариант на метода на последователните обобщения. Това означава:

Първо – електростатика (закон на Кулон, електрични диполи, електростатични взаимодействия в непрекъснати среди).

Второ – магнитостатика (закон на Кулон, магнитни диполи и т.н.).

Трето – стационарно електрично и стационарно магнитно поле.

Четвърто – променливо магнитно поле (закон на Фарадей и пр.).

Пето – променливо електрично поле (Максуел, ток на отместване).

По-нататък следваха, разбира се, различните следствия от уравненията на Максвел: електромагнитни вълни, вълнова оптика, геометрична оптика, електромагнитни вълни в движещи се среди.

По този начин проф. Христов създаваше у студентите ясна представа за един от пътищата на научното познание. Тази структура на курса има и ценното качество, че дава възможност при изучаване на магнитостатиката да се пести време: аналогията между основните закони (на Кулон за взаимодействие на електрични заряди и на Кулон за взаимодействие между фиктивните, но измерими магнитни маси) гарантира, че всяка зависимост при магнитните взаимодействия може да се получи от съответната електростатична зависимост – достатъчно е в последната електричният заряд да се замени с магнитната маса, електричният диполен момент – с магнитния диполен

момент и т.н.

След тези думи около преподаването на електродинамика в началото на 60-те години на миналия век, трябва да се върнем отново към събитията в Катедрата. Шестата декада на миналия век бе характерна с това, че непрекъснато поне двама от членовете на катедрата бяха в чужбина – в аспирантура, на специализация или на работа. Освен това ангажиментите на проф. Христов (и като учен – член на БАН, и като администратор – директор на ИЯИЯЕ) непрекъснато растяха. В средата на 60-те години той видимо почувства, че преподавателските му задължения (четене на два основни курса, към които той бе добавил и един спецкурс, плюс ангажиментите около студентските изпити) сериозно затрудняват неговата работа в Академията, която все повече и повече привличаше интересите и вниманието му. Затова на един катедрен съвет той неочаквано обяви, че се отказва от четенето на курса по електродинамика, което веднага постави въпроса кой да го поеме. Проблемът бе сериозен, защото и тримата хабилитирани преподаватели в Катедрата вече имаха пълна учебна заетост. Тъй като (както отбелязах по-горе) нямаше определен асистент по електродинамика (всички бяхме **общо** асистенти по ТФ), според традицията бе естествено курсът да се поеме от следващия „по старшинство“ – гл. ас. Георги Десимиров. Изненадващо обаче, той отказа да поеме курса. Следващите двама главни асистенти – Хр. Димитров и А. Николов бяха в чужбина – първият, като аспирант в Московския университет, вторият – на работа в ОИЯИ – Дубна. Поради тази причина Катедреният съвет предложи,

а Факултетният съвет, въпреки краткия ми стаж като асистент (едва 6 – 7 години), възложи курса на мен.

Приех това предложение като дългосрочен ангажимент и през следващите две години прочетох курса, като следвах плътно програмата на проф. Христов. Междувременно обаче през тези две години Десимиров се хабилитира и, в съответствие с университетските традиции, по-нататъшното четене бе възложено на него. За компенсация, моята дългосрочна командировка в Дубна бе ускорена, така че от 1970 г. до 1974 г. работих в ОИЯИ – Дубна. Завръщайки се със защитена кандидатска дисертация, заварих във Факултета коренно променена ситуация. Двата профила бяха изчезнали, а вместо тях като специалности се бяха появили Физика, Инженерна физика и Физика за подготовка на учители. Вътре в първите две специалности съществуваха различни специализации: напр. Атомна физика, Физика на Земята, атмосферата и Космоса, Физика на полупроводниците, Оптика и спектроскопия и др. Появили се бяха и четения по теоретична физика на специалности извън Факултета. Съответно с това старите основни курсове бяха клонирани на нормални (с хорариум 90 часа лекции) и кратки (с хорариум 60 часа лекции). Всяка катедра, която ръководи някоя специализация, определяше кой от двата курса да слушат нейните студенти – нормалния или краткия. Краткия курс по електродинамика обикновено слушаха бъдещите учители и инженерни физици.

При това положение доц. Десимиров продължи да чете нормалния курс, а на мен бе възложен краткият. Това вече наистина беше дългосрочен ангажимент

и аз го приех с амбицията да направя промени в програмата, целящи неговото осъвременяване. Трябваше да отбележа, че докато старите курсове по теоретична физика бяха оформени по модели още от времената на Абрахам, Бекер, Зомерфелд, Смайт, Шефер и др., у нас през 60-те години вече набраха популярност учебниците на Ландау и Лифшиц, както и руските преводи на електродинамиците на Джаксън, Панофски и Филипс и др., в които ясно се налага тенденцията изучаването на теорията на полето да предшества това на взаимодействията в присъствие на среди. С други думи, в съвременните учебници преобладаваше вторият вариант на метода на последователните обобщения.

Окончателното решение краткият курс да се изгради по втория вариант на метода на последователните обобщения бе взето заради един недостатък на първия вариант, който бе забелязал още проф. Христов. В електростатиката енергията на взаимодействие на електричен дипол, поставен във външно електрично поле, се изразява чрез взетото с обратен знак скалярно произведение на електричния диполен момент и интензитета на полето. Ако аналогията между двете полета бе пълна, би трябвало енергията на взаимодействие на магнитен дипол във външно магнитно поле да се описва чрез взетото с обратен знак скалярно произведение на магнитния диполен момент и **интензитета** на магнитното поле. Вместо това, въпросната енергия е произведение от диполния момент и **индукцията** на магнитното поле, но по-важно – без знак минус!

Причината за тази разлика е изяснена например в лекциите на Файнман и се

крие във факта, че въпросът за енергия на магнитните взаимодействия не може да се разгледа коректно без да се познава законът на Фарадей за електромагнитната индукция, т.е. без да се познават законите на **променливите** полета. Наистина, когато преместваме електричен дипол в електрично поле, външните сили извършват работа само за преодоляване на електричните сили, докато при преместване на магнитен дипол в магнитно поле, към работата за преодоляване на магнитните сили се добавя още и онази работа, която външните сили извършват за преодоляване на индуцираните ЕДС, т.е. работата за поддържане на големината и посоката на самия дипол.

Към слабите страни на метода на аналозите може да се причислят още фактът, че на интензитета на едното поле съответства не интензитетът, а индукцията на другото, както и трудностите при въвеждане на мултиполните моменти. (Аз лично не познавам учебник по електродинамика, използващ този метод, в който учебник да се въвеждат важни понятия квадрупол, октупол и т.н.).⁴

Разбира се, всички подобни затруднения са преодолими, но на твърде висока цена – губи се основното преимущество на подхода на аналозите: печалбата на време. Ето защо Катедреният, а след него и Факултетният съвет приеха новата програма на краткия курс по електроди-

намика, в който взаимодействията във вакуум се изучават отделно от взаимодействията в присъствие на непрекъснати среди. Това дава възможност да се оголи скелетът на електродинамиката, т.е. да се изясни, че тя се гради върху само две фундаментални понятия (електричен заряд и електромагнитно поле), чиито свойства установяваме опитно, на три експериментални закона (Кулон, Ампер и Фарадей) и на една хипотеза – хипотезата на Максвел. Така до уравненията на Максвел отново стигаме по метода на последователните обобщения, а всички техни следствия служат за потвърждаване справедливостта и пълнотата на теорията. При това положение цялата теория на електромагнитните взаимодействия в присъствие на материални среди се оказва вторичен продукт, който зависи съществено от нашите моделни представи за структурата на средата.

Именно тази програма стана основата, върху която бе изграден краткият курс по електродинамика и издаден съответният учебник – през 1989 г. е неговото първо издание от издателство „Наука и изкуство“, и съответно шест години по-късно – второто му издание от Издателството на Софийския университет.

Това е кратката история на краткия курс по електродинамика. Може би от моето изложение се чувства, че историята е наситена с остри конфликти и в

⁴В рамките на шегата към тези съображения мога да добавя още едно. В началото на 60-те години нашият колега от катедра „Атомна физика“ Петър Райчев бе преброил, че по време на цялото си 16 – 17-годишно обучение един бъдещ физик изучава електростатиката от 7 до 9 пъти! Този факт бе умело пародизиран от нашите студенти, които по време на някакво тържество във Факултета пожънаха овации със сценка, в която показаха как е изглеждал урок по физика в дълбоката древност. Урокът започваше със следните думи на учителя: „Ако натъркаме един добре оглозган кокал със суха кожа от мамут...“ и т.н. Искаше ми се тази традиция да бъде прекъсната.

Катедрата, и във Факултетния съвет, но тъй като оттогава са изтекли почти шест десетилетия, техните остри ръбове неизбежно са загладени от неумолимата Благодаря за вниманието!

пила на времето. Подобни, повече или по-малко радикални, но вече лишени от драматизъм промени претърпяха и другите курсове по теоретична физика.

Редакцията изказва благодарност към г-жа Биляна Попова – дъщеря на проф. Христо Попов, за предоставения за публикуване доклад.

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

организируют лектория

СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА НА ЖИВО

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

*всеки втори вторник, 17:30 ч.,
Американския център към Столичната библиотека, пл. „Славейков“ № 4*

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

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

КИТАЙ – ЛИДЕР В СВЕТОВНАТА ТЕРМОЯДРЕНА ПРОГРАМА?

Иван Цаков

Сателитна снимка от скалистата и камениста китайска провинция Съчуан (*Szechuan*) показва огромна футуристична масивна Х-образна сграда (Фигура 1). Това би могло да бъде просто поредният мегапроект в страна, известна с бързото си строителство и мащабното си мислене. Но за знаещите това е още един пример за амбицията на Китай за победител в съревнованието за комерсиален термоядрен

реактор – една от най-значимите технологични надпревари на нашето време. Термоядреният синтез, този имитиращ звездната енергия физичен процес за получаване на електрическа енергия, е гарантиран евтин и безопасен източник на енергия без производство на дългоживущи радиоактивни отпадъци и ядрени инциденти.



Фигура 1. Сателитна снимка на странна постройка в провинция Съчуан, Китайска народна република. Източник: <https://www.telegraph.co.uk/business/2025/01/28/china-building-laser-ignited-fusion-research-centre/>

Поради специфичната Х-образна форма, зданието изглежда е масивно съоръжение за лазерен термоядрен синтез. В четирите му дълги рамена вероятно са разположени мощни лазерни каскади. След серия от оптични преобразувания, лъчите им ще са фокусирани върху милиметрова криомишена от двата водородни изотопа деутерий и тритий. Така те я нагряват до няколко милиона градуса – температура, с което започва лазерният термоядрен синтез на хелиеви

ядра, освободени неутрони и отделена огромно количество енергия. Това кара специалистите да предполагат, че китайските учени ще повторят лазерния термоядрен взрив на *National Ignition Facility* (NIF) в САЩ от декември 2022 година, но в значително по-мощна версия. Друго предположение е за *Z-pinch* машина, в която термоядрената плазма се формира чрез силнотоккови импулси.

„Знаейки колко бързо китайците реализират проектите си, това е плашещо

бъдеще за САЩ“, заявява Декър Евелет (*Decker Eveleth*), независим аналитик от САЩ. „Термоядреният синтез е марафон, а не спринт, и Китай се готви за победител“.

Известно е, че учени от китайския проект в Хефей (*Hefei*), *Experimental Advanced Superconducting Tokamak* (EAST), известен още като „Изкуственото Слънце“ и считан за следващо поколение термоядрени реактори, неотдавна успяха да поддържат термоплазма с температура 100 милиона градуса за повече от 17 минути. Това постижение, заедно с резултатите от друг китайски проект – *Comprehensive Research Facility for Fusion Technology* (CRAFT), показва, че Китай скъсява дистанцията между експеримента и създаването на комерсиален термоядрен реактор *China Fusion Engineering Test Reactor* (CFETR). Неговият инженерен проект бе завършен през 2020 г. и в момента се провеждат изпитанията на свръхпроводящите магнити на токамака.

Всичко това се развива така стремглаво заради т.нар. „Програма за голямото възраждане“, триточков план на президента Си Дзинпин, който предполага собствени енергийни източници, минимум въглеродни отпадъци и лидерство в световните Hi-Tech технологии. А това води до гарантирана икономическа и стратегическа сигурност за години напред, признава Джими Гудрич (*Jimmy Goodrich*), водещ съветник в *Rand Corp.*

В САЩ обаче нещата се движат от държавата към частния бизнес, например към такива компании като *Commonwealth Fusion Systems*, *Helion* и *TAE Technologies*. Тези стартъп компании за термоядрен синтез инкооперираха милиардни капи-

тали, яхвайки обществения интерес и в частност бъдещите центрове за данни (*data centers*) на изкуствения интелект. Това е опасна стъпка, като се знае колко енергоемки са тези центрове. Това за тях е голямо предизвикателство и изисква гъвкавост в зависимост от пазарните турбуленции и опасности, както посочва Джими Гудрич. За сравнение – китайските подобни фирми са държавно защитени от подобни пазарни рискове.

Кадровото обезпечение е изключително важен фактор. Така например плазменият физик Чанг Лиу (*Chang Liu*) напусна Физичната лаборатория по плазма в Принстън (*Princeton Plasma Physics Laboratory*), за да продължи работа в Пекиния университетски термоядрен проект по развитието по пионерен метод за намаляване на електронната емисия в токамак плазмата.

Политиката на китайското правителство за привличане на способни кадри е създаване на максимални условия за реализация на водещите идеи на способни млади специалисти от цял свят. Правителството реализира и собствена кадрова програма по термоядрените проекти. Например университетите и лабораториите в Хефей, Мианянг (*Mianyang*) и Нанчанг (*Nanchang*) подготвят огромна армия от физици, инженери и технически персонал за амбициозните китайски проекти. За пример е мащабът на лабораторния корпус в Мианянг, който е почти с 50% по-голям от този на NIF в САЩ, където американците за пръв път през 2022 година, от приложените 2,05 мегаджаула лазерна енергия, получиха импулсно 3,15 мегаджаула изходна енергия. Този експеримент потвърждава възможностите на метода, но тук не коментираме как-

во е КПД-то на схемата, ако отчитаме и общата вложена електроенергия за тези изходни 3,15 мегаджаула.

Термоядрената китайска програма има и военно обяснение – независимо от това дали в Мианянг има лазерна установка или *Z-pinch* машина, това е проект с двойно предназначение – както за термоядрен синтез, така и като ускорена програма за създаване и изследване на военнонеобходими нови стомани и композитни материали, посочва аналитикът Евелет. „Това става, казва той, на фона на застаряващите американски военни лаборатории от миналия век и началото на новия“. Макар и водещи в много области, американските термоядрени проекти са все още недостатъчни – при вложени 800 милиона годишно в термоядрения синтез от администрацията на Джо Байдън, според U.S. *Department of Energy*, Китай е вложил 1,5 милиарда долара, а според някои аналитици, сумата е по-голяма.

Така че Китай, комбинирайки финанси и талантлив млади специалисти, има шанса да спечели този ядрен маратон. Важни са следващите години,

защото термоядрената физика се развива от ново талантливо поколение, а и времето, както винаги, е решаващ фактор.

Термоядрената енергия не е само ярко осветени градове, а фактор, който ще промени баланса на световните сили, според аналитика Джими Гудрич.

Китай е в състояние да доминира и в този маратон.

Европа също участва в тази надпревара. Както е известно, Европа и други страни от световния научно-технически елит са в основата на проекта ITER (*International Experimental Thermonuclear Reactor*).

Организацията *Eurofusion* координира европейските усилия в тази област като *Joint European Torus* в Обединеното Кралство и *Wendelstein 7-X Stellarator* в Германия. Пак там Европа стартира и проекта *Marvel Fusion*.

Тук възниква и въпросът какво прави България в тези динамични събития при силно намален интерес на младите хора към природните и инженерните науки, остарялата лабораторна университетска и академична база и слабата държавна политика.

По материали от световния печат

<https://areios.ca/is-china-pulling-ahead-in-the-quest-for-fusion-energy/>

[https://www.telegraph.co.uk/business/2025/01/28/](https://www.telegraph.co.uk/business/2025/01/28/china-building-laser-ignited-fusion-research-centre/)

[china-building-laser-ignited-fusion-research-centre/](https://www.telegraph.co.uk/business/2025/01/28/china-building-laser-ignited-fusion-research-centre/)

СТАНЕТЕ НАШИ АВТОРИ

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

Броевете на списанието можете да намерите на сайта ни

wop.phys.uni-sofia.bg



СЕДМА БАЛКАНСКА ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКА

Българският отбор отново постигна много добри успехи на Седмата балканска олимпиада по физика, която се проведе в Охрид, Северна Македония, между 26-ти и 30-ти юни 2025 г. Всички завояваха награди от състезанието: Стоян Милев и Красимир Тухчиев от СМГ, София – сребърни медали и грамоти за напълно решена задача, а Цветелина Данова от СМГ, София, и Раян Камаринчев от ППМГ „Добри Чинтулов“, Сливен – бронзови медали.

Олимпиадата се организира от Съюза на физиците в Македония, под егидата на Балканския физически съюз (BPU), с финансовата подкрепа на Европейския физически съюз (EPS) и Факултета по природни науки и математика към университета „Св. св. Кирил и Методий“ в Скопие.

В състезанието взеха участие 62 уче-

ници от 16 страни (България, Румъния, Турция, Гърция, Северна Македония, Сърбия, Хърватия, Босна и Херцеговина, Туркменистан, Словения, Казахстан, Австрия, Молдова, Черна Гора, Албания, Кипър).

Българският отбор беше избран въз основа на постиженията на учениците в национални състезания и олимпиади по физика през изминалата година. Участието им в Олимпиадата беше организирано от Министерството на образованието и науката и Съюза на физиците в България. Ръководители на отбора са гл. ас. д-р Мая Жекова от Физическия факултет на СУ и гл. ас. д-р Лилия Атанасова от Медицинския университет – София, които са членове на Управителния съвет на СФБ.

Представяме ви задачите от състезанието, като решенията им можете да намерите на интернет страницата: <https://balkanphysicalunion.info/?p=5726>



Задача 1. Охридски плувен маратон

Известният Охридски плувен маратон е международен маратон в открити води, който се провежда в Охридското езеро всяка година, обикновено през август. В този маратон участват професионални плувци от цял свят, които плуват по 25-километрово трасе. Те стартират от местността „Свети Наум“ и финишират на Охридското пристанище, близо до центъра на града. Постигнатите от плувците времена се измерват на три контролни пункта, първият е на 13 km от старта край село Пещани, вторият е на 19 km край хотел „Метропол“, а третият е на финала, т.е. на 25 km от старта.

В таблицата по-долу са показани официално измерените времена в трите контролни точки за петима произволно избрани плувци в състезанието на миналогодишния Охридски маратон (мъже).

а) (3 т.) Определете средната скорост на всеки плувец за всеки участък от маршрута. Изразете резултатите в m/s.

б) (2 т.) С каква средна скорост (в m/s) всеки плувец е преплувал целия маршрут?

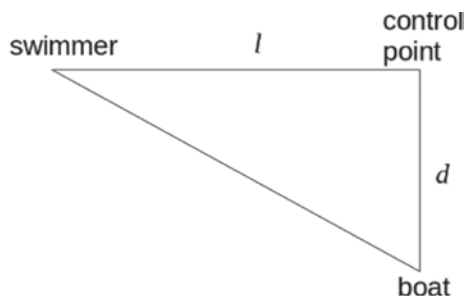


Код на плувца	13 km (h:min:s)	19 km (h:min:s)	25 km (h:min:s)
Плувец 1	3:13:45	4:15:09	5:46:50
Плувец 2	3:13:05	4:17:37	5:46:52
Плувец 3	3:13:22	4:15:03	5:50:49
Плувец 4	3:19:24	4:25:26	6:12:32
Плувец 5	3:38:58	4:52:20	6:58:27

с) (1 т.) Победителят в миналогодишния маратон е ли сред петимата плувци в таблицата, ако е известно, че е изминал разстоянието до първия контролен пункт със средна скорост 1,15 m/s? Обосновете отговора си.

По време на Охридския плувен маратон към всеки плувец, участващ в състезанието, се присъединява екип, който следва плувца с лодка.

д) (15 т.) Лодките се движат на определено разстояние от състезателите, за да се



осигури гладкото протичане на състезанието. В даден момент един от плувците спира и дава знак (като вдига ръка) на отбора си да му даде вода за пиене. В този момент плувецът се намира на разстояние ℓ от втората контролна точка. След като е подал сигнала, той започва отново да плува с ускорение a_1 към контролната точка. В момента, в който плувецът подава сигнала, лодката се намира на разстояние d спрямо посоката на движение на плувеца, т.е. на разстояние d от контролната точка, както е показано на фигурата. Когато екипът вижда сигнала, лодката започва да се движи от покой с ускорение a_2 . Определете минималното време t_{min} , за което лодката ще достигне плувеца, преди плувецът да достигне контролната точка. Приемаме, че водата в езерото е неподвижна.

е) (2 т.) Изразете разстоянията, изминати от лодката и плувеца до контролната точка, като съотношение на ускоренията $r = a_2/a_1$, ℓ и d . Какво е оставащото разстояние, което плувецът трябва да измине, за да достигне контролната точка?

ф) (2 т.) При какво условие лодката няма да срещне плувеца преди контролната точка?

Забележка: Може да се използва известната формула за решението на квадратно уравнение.

Задача 2. Междузвездни войни

Изкуствен спътник с маса $m \ll M$, където M е масата на Земята, обикаля Земята по елиптична траектория, която има главна полуос $a = \alpha R$, където R е средният радиус на Земята, $\alpha = 3$, и ексцентрицитет $e = 1/2$. Числената стойност на първа космическа скорост е $v_I = 7,91 \text{ km/s}$.

а) (8 т.) Определете скоростта на спътника в апогея (v_a) и в перигея (v_p).

Обект с маса $m_0 = m/\beta$, където $\beta = 3$, изстрелян от Земята, се движи с радиална скорост спрямо спътника и претърпява пластичен сблъсък с него, когато той се намира в апогея си. След сблъсъка ексцентрицитетът на новата орбита на спътника е $e' = 3/4$.

б) (2 т.) Определете тангенциалната скорост на спътника непосредствено след сблъсъка.

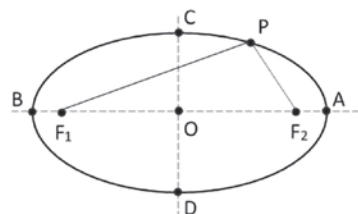
с) (7 т.) Определете съотношението между енергията на спътника непосредствено след сблъсъка с обекта и енергията на спътника непосредствено преди сблъсъка.

д) (3 т.) Определете радиалната скорост на спътника непосредствено след сблъсъка.

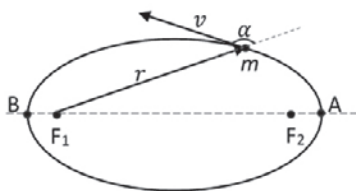
е) (5 т.) Определяне на скоростта на изстрелване на обекта.

Забележка:

1) Елипса е кривата в една равнина, представена на фигурата, за която $F_1P + F_2P = \text{const.}$ за всяка точка P , лежаща на елипсата. Точката O е центърът на елипсата, а неподвижните точки $F_{1,2}$ са фокуси на елипсата. Ако Земята е във F_1 , например, тогава A се нарича апогей, а



В – перигей. Други важни величини за елипсата са: $a = OA = OB$ – голяма полуос, $b = OC = OD$ – малка полуос, $c = OF_1 = OF_2$ – линеен ексцентрицитет, а безразмерният параметър, характеризиращ елипсата, $e = c/a$ се нарича ексцентрицитет на елипсата.



2) За системата спътник-Земя съществува физична величина, наречена ъглов момент L спрямо центъра на Земята, която се запазва. Нейното запазване доказва втория закон на Кеплер. Математически, ъгловият момент е (вж. чертежа вдясно): $L = mvr \sin \alpha$, където m е масата на спътника, v – неговата скорост, а r – разстоянието от центъра на Земята (F_1) до спътника.

Задача 3. Заредени сфери и пружини

Две еднакви малки сфери, всяка с маса $m = 1,00 \text{ g}$, са заредени с един и същ неизвестен заряд q и са окачени в една и съща точка с две еднакви неразтегливи нишки с дължина $L_0 = 0,200 \text{ m}$. Всяка нишка е под ъгъл $\alpha = 30^\circ$ спрямо вертикалата. Нишките са непроводящи.

а) (2 т.) Изведете математичен израз за електростатичната сила, действаща върху всяка сфера, както и определете нейната числена стойност.

б) (2,5 т.) Изведете математичен израз за електричния заряд на всяка от сферите, използвайки известните величини, и определете числената му стойност.

с) (3,5 т.) Изведете математичен израз за енергията, съхранена в системата, като приемете, че гравитационната потенциална енергия е нула на разстояние L_0 от точката, на която са окачени нишките.

Разглеждаме 5 еднакви сфери, всяка със същите характеристики и електричен заряд, както по-горе. Четири от тях са закрепени върху хоризонтална повърхност в ъглите на квадрат със страна L_0 . Петата сфера е прикрепена към останалите четири с четири еднакви пружини с пренебрежима маса, с равновесна дължина L_0 и неизвестна константа на пружината k . Пружините остават прави (не се огъват). Системата образува правилна квадратна пирамида. Когато системата е в равновесие, всяка пружина е свита на разстояние ΔL . Пружините са непроводящи.

д) (5 т.) Изведете математичен израз за константата на пружината k , използвайки величините m , q , L_0 , ΔL и зададените константи.

е) (2 т.) Изведете математичен израз за електростатичната енергия на системата, използвайки q , L_0 , ΔL и зададените константи.

ф) (10 т.) Сферата на върха на пирамидата е отместена вертикално с много малко отклонение h , като $h \ll L_0$. Покажете, че връщащата сила, която действа на сферата в момента веднага след като е пусната, има вид $F_r = C \cdot h$, където C е константа. Изведете математичен израз за константата C .

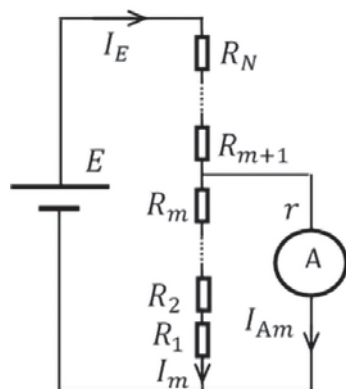
Забележка: Диелектричната проникваемост $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$ и гравитационното ускорение $g = 9,80 \text{ m/s}^2$ са известни.

Задача 4. N съпротивления и амперметър

На схемата е показана електрична верига. Тя се състои от батерия с напрежение E , N съпротивления с еднаква големина $R_1 = R_2 = \dots = R_N = R$ и амперметър със съпротивление r .

а) (5 т.) Изведете формула за тока I_{Am} през амперметъра, изразен чрез зададените величини.

б) (13 т.) За верига с $N = 50$ и $E = 12 \text{ V}$ са проведени поредица измервания с 10 последователни стойности на m ($m, m + 1, m + 2, \dots, m + 9$), като токът през амперметъра I_{Am} е показан в таблицата по-долу:



k	$I_{Am}, \text{ mA}$		
m	8,63		
$m + 1$	9,16		
$m + 2$	9,77		
$m + 3$	10,5		
$m + 4$	11,2		
$m + 5$	12,2		
$m + 6$	13,3		
$m + 7$	14,5		
$m + 8$	16,1		
$m + 9$	18,1		

Използвайки подходящи променливи, представете измерванията по най-подходящ начин на графика, така че стойностите на съпротивлението R и стойността m да могат да бъдат лесно получени. Приемете, че $m \gg I$ и $r < R$. Начертайте зависимостта на милиметрова хартия. Добавете празни колонии в таблицата за допълнителни пресмятания. Получете стойностите на R и m . Закръглете стойността на R до кратно на 5.

с) (7 т.) Получете стойността на r . Закръглете стойността на r до кратно на 5.

„ДНИ НА ФИЗИКАТА“ В ТЕХНИЧЕСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

Невена Кожухарова

„Дни на физиката“ се провеждат вече четвърт век в рамките на „Дни на науката“ на ТУ – София и се организират от Катедра „Приложна физика“ към Факултета по приложна математика и информатика. Тази година „Дните на физиката“, проведени от 10 до 12 април, бяха посветени на обявената от ООН „Международна година на квантовата наука и технологии“ по повод 100-годишнината от създаването на квантовата механика. Лекторите през настоящата година бяха студенти, преподаватели и учени от ТУ – София, МГУ „Св. Иван Рилски“ и БАН. Една част от докладите бяха посветени на „Международната година на квантовата наука и технологии“. Други доклади обсъждаха интересни и актуални теми от всички области на модерната физика.

Една от основните задачи от самото начало на това мероприятие е да се даде възможност на студентите да участват в научен форум и дискусия и да придобият опит в излагането на научни проблеми. Специално внимание през тази година бе отделено на бъдещите студенти – ученици от различни столични училища с изяви интереси към физиката и инженерните науки. През първите два дни, по традиция освен представените оригинално, увлекателно и разбираемо за всички доклади, за гостите на „Дните на физиката“ бяха проведени и интересни демонстрации на физични явления и закономерности, придружени с викторина. Те предизвикваха огромен интерес и позволиха на учениците да се докоснат

до различни физични уреди и апарати.

По повод на „Международната година на квантовата наука и технологии“ бяха представени доклади по теми, свързани с квантовата механика, както на историята на нейното развитие и учени, допринесли за това развитие, така и за бъдещото ѝ развитие и особеностите на квантовите компютри: „Квантови изчисления – новата технологична революция: теория на всичко или теория на нищото“ (проф. д-р Д. Иванова), „Квантовата механика като динамична и статистическа теория едновременно“ (проф. д-р И. Копринков), „Квантовата механика и възходът на полупроводниковата ера“ (проф. д-н. С. Александрова), „Квантова революция – история на уравнението на Шрьодингер“ (гл. ас. д-р В. Копчев), „Хайзенберг и принципът за неопределеност в квантовата механика“ (доц. д-р Е. Халова и гл. ас. Н. Кожухарова).

Други доклади бяха посветени на приложни аспекти, като „Инвестиции и развитие на свръхпроводниците: път към един по-устойчив свят“ (гл. ас. д-р Станимира Терзиева), „Опасности, очакващи самолетите при излитане и кацане“ (гл. ас. д-р Радостина Ташева, КПФ), „Методите Монте Карло: как да решаваме задачи със случайни числа“ (доц. д-н. Христо Търнев, гл. ас. д-р Росица Андреева); на света около нас на Земята и други небесни тела, като „Къде и как се раждат звездите“ (гл. ас. д-р Любов Маринкова), „Случаят Санторини – сценарии и поуки“ (проф. д-р Бойко

Рангелов), както и на въпроси, засягащи преподаването по физика.

Много от присъстващите успяха да си отговорят на редица въпроси, като например „Труден ли е за разбиране квантовият свят?“. Друга част от представените доклади пък позволиха на слушателите да видят красотата, която не можем да видим с очите си, а чрез космическите снимки. Както и да се запознаят с особеностите на земетресенията, луно-тресенията и марсотресенията.

„Дни на физиката“ са насочени към всички, проявяващи интерес към науката физика и основната им задача е да се по-

виши интересът на бъдещите инженери към тази древна и същевременно модерна наука и нейните приложения, които са в основата на съвременната техника и технологии. Организаторите се надяват тези основни цели и задачи на форума да се изпълняват успешно поне в следващия 25-годишен период.

Представените доклади са публикувани в „Сборник популярни и научни доклади „Дни на физиката – 2025“, който може да бъде намерен на сайта на Катедра „Приложна физика“ (<http://phys.tu-sofia.bg/physdays.html>).

„PHYSICS DAYS“ AT THE TECHNICAL UNIVERSITY – SOFIA

Nevena Koujuharova

„Physics Days“ have been held for a quarter of a century within the framework of „Science Days“ at the Technical University of Sofia and are organized by the Department of Applied Physics at the Faculty of Applied Mathematics and Computer Science. This year, the „Physics Days“ were dedicated to the „International Year of Quantum Science and Technology“ declared by the UN on the occasion of the 100th anniversary of the creation of quantum mechanics. Some of the reports were dedicated to this occasion. Other reports discussed interesting and current topics from all areas of modern physics and some were devoted to applied aspects. The presented reports have been published in the “Collection of Popular and Scientific Reports "Physics Days - 2025", which can be found on the website of the Department of Applied Physics (<http://phys.tu-sofia.bg/physdays.html>).

ЛЕКТОРИЯ „СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА НА ЖИВО“ Кратък обзор на 10-годишната ни дейност

Вили Лилков

Лекторията „Светът на физиката на живо“ навърши 10 години. Тя се организира от 2015 г. от катедра „Физика“ при МГУ „Св. Иван Рилски“, списание „Светът на физиката“ при Съюза на физиците на България и членове на Софийския клуб на физика.

Първоначално лекциите се представяха в Минно-геоложкия университет, но сега поради големия интерес към тях и с цел популяризиране на физиката сред по-широки кръгове под мотото: *Лекциите са научно-популярни и всеки, който се интересува от света на физиката е очакван наш гост!* те се провеждат всеки втори вторник на месеца от 17.30 часа в Американския център в Столична библиотека – пл. „Славейков“ № 4.

Медийните партньори на лекторията са БТА, MediaBricks.bg, Наука OFFNews и Столична библиотека.

Пряко ангажирани с организацията на лекторията са проф. д.т.н. Вили Лилков – МГУ „Св. Иван Рилски“ и членовете на редколегията на сп. „Светът на физиката“: проф. д.т.н. Сашка Александрова – Технически университет – София, Пенка Лазарова – Съюз на физиците в България и гл. ас. д-р Лили Атанасова – Медицински университет – София.

През годините са ни гостували лектори от Физическия факултет при СУ „Климент Охридски“, ИФТТ – БАН, ИЯИЯЕ – БАН, Института за космически изследвания – БАН, Института по физикохимия – БАН, Института по органична химия – БАН, Минно-геоложкия университет, Националната лаборатория по компютърна вирусология към БАН и др. Списък на някои от лекторите и темите на техните лекции са дадени в

„СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА НА ЖИВО“



таблицата по-долу.

Сърдечно благодарим на ръководството на Столична библиотека за любезното домакинство. Благодарим и на нашите лектори, и на нашите участници, чиито ангажираност, ентузиазъм и активност допринесоха за осъществяването на инициативата „Светът на физиката на живо“ и за постигане на основната ни цел – разпространяване на физичните

знания, които са в основата на техническия прогрес на обществото.

Към всички, които се интересуват от физиката – тази красива и винаги модерна наука – отправяме покана: нека да продължим нашите срещи на Лекторията. Предложения за теми на следващите публични лекции се приемат с благодарност.

Лектори	Теми на лекциите
Доц. д-р Любомир Цонев	Археоастрономия и археоурбанистика: Общи идеи и приложението им към български обекти
Доц. д-р Гергана Герова	Изследване на атмосферата с глобалните навигационни спътникови системи
Доц. д-р Пламен Яйджиев	Мисията на ЦЕРН в науката, новите технологии и образованието
Доц. Михаил Михайлов	Софийската „Странски-Кайшев“ школа по фазообразуване и кристален строеж и нейната следа в световната наука
Проф. д.фз.н. Александър Драйшу	Светлината, лазерите и Нобеловата награда по физика за 2018 г.
Доц. д-р Пламен Данков	Морето от сигнали в безжичните комуникации и човекът
Проф. д.фз.н. Леандър Литов	Кратка история на Вселената – поглед от ЦЕРН
Доц. д-р Владимир Божилов	Тайните в сърцата на Галактиките
Проф. д.х.н. Иван Дуков	Периодичната таблица на Менделеев: минало и настояще
Проф. д-р Бойко Рангелов	Загадки в Слънчевата система – мирис, вкус, звук и красота на планетите Сеизмична активност в Слънчевата система Физика на странните земетресения Мистерията за формирането на Малдивския архипелаг
Доц. д-р Ивайло Христосков	Ядрената енергетика – предизвикателства и перспективи
Доц. д-р Веселин Бончев	Шифроващи вредителски програми Съвременните тенденции при вредителските програми
Никола Каравасилев	(Не)спокойната Вселена Големите очаквания в астрономията
Доц. д-р Мариана Кънева	Физика и живопис
Д-р Ева Божурова	Планети около други звезди

Проф. д.фз.н. Евгения Вълчева	Силициевата ера – какво да очакваме след нея?
Боян Рашев	Енергийният преход в сблъсък с физиката и пазара
Доц. д-р Венцеслав Тодоров	Медицинската физика в България
Проф. д.т.н. Сашка Александрова	Неизвестният Джеймс Максвел
Проф. д-р Мишел Израел	Нейонизиращи лъчения. Топлинни и нетоплинни ефекти на въздействие върху човека. Безжичните технологии и здравето на населението
Невена Кожухарова	Следите, оставени от Нютон
Атанас Кръстанов	България след Чернобилската ядрена авария
Д-р Силвия Найденова	Д-р Петър Берон – учен енциклопедист, педагог, философ и естественик
Гл. ас. д-р Гергана Георгиева и Васил Гурев	Пътят към Антарктида
Проф. д.т.н. Гаро Мардиросян	С космически технологии срещу природните бедствия
Ст.н.с. д-р Иван Цаков	Европейски лазер на свободни електрони
Доц. д-р Борислав Павлов	70 години от основаването на ЦЕРН и 25 години пълноправно членство на България в организацията
Доц. д-р Тодор Велчев	Лесно ли се раждат звездите? Парадигма и енигма на звездообразуването
Чл.-кор. Стойчо Язаджиев и проф. д.н. Анжела Славова	Нобеловите награди по физика за 2024 г.

АБОНИРАЙТЕ СЕ

Абонамент за 1 година (4 броя) – 25 лв. (12,78 EUR)

За членове на СФБ – 22 лв. (11,25 EUR)

За ученици, студенти и пенсионери – 16 лв. (8,18 EUR)

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

Цена за 1 книжка – 7 лв. (3,58 EUR)

Банкова сметка: Първа Инвестиционна Банка

IBAN: BG91FINV91501215737609; BIC: FINVBGSF

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



СТИВЪН ХОКИНГ – ГЕНИЯТ, КОЙТО ПРЕОДОЛЯ НЕПРЕОДОЛИМОТО¹

Ива Якимова

Научен ръководител – инж. Християна Петрова,
ОУ „Св. Патриарх Евтимий“ – Велико Търново

*„Най-големият враг на знанието не е незнанието,
а илюзията за знание“.*

Стивън Хокинг

Безспорно един от учените, на които се възхищавам, един от учените, които запалиха интереса ми към физиката, е Стивън Хокинг. Бих казала, че този физик, космолог, този голям, велик учен е моят символ за сила, безкористност, гениалност, воля и отдаденост на науката и знанието. Човек, чиято цел е много проста, както той самият твърди, да разбере Вселената – защо е подредена така, както е устроена, и защо ние сме тук.

Хокинг е роден на 8 януари 1942 г., точно 300 години след Галилео Галилей – нещо, което ученият винаги изтъква с гордост. През 1959 г. бива приет в Оксфордския университет, където не е възможно да учи математика (както той желае), затова записва физика. Като дете се занимава с конна езда, а в Оксфорд влиза в отбора по академично гребане.

Малко след влизането му в Кеймбридж, на 21-годишна възраст, започват да се появяват странни симптоми. По нареждане на баща си Хокинг отива на преглед при специалист. Младият учен

е диагностициран с амиотрофична латерална склероза (АЛС), позната още като болест на Лу Гериг. Заболяване, което отнема животи в рамките на няколко години, амиотрофичната латерална склероза води до дегенериране на моторните неврони и централната нервна система. Постоянното умиране на клетки води до автотрофия на цялото тяло, последвано от парализа. В повечето случаи смъртта е причинена в резултат на отказа на дишателната мускулатура, което се случва сравнително бързо. Болестта засяга хора на възраст между 40 – 60-години.

Лекарите не дават на Хокинг повече от 2 години живот. Сякаш всичко е приключило. Но в този тежък момент има една велика сила, която успява да го избави от ямата, в която е пропаднал, а именно любовта. Малко преди диагнозата си ученият се запознава с едно специално – по негови думи, момиче – Джейн Уайлд. Тя му помага да продължи живота и да се посвети на науката отново. И така, сякаш за да опровергавае очаква-

¹Отличено есе във възрастова група 6 – 8 кл. в Национален конкурс за есе „Проф. Никола Балабанов“ на тема: „Физик, от когото се възхищавам“. Заглавието е на редакцията.

нията, Хокинг живее десетилетия наред след диагнозата. Живот, посветен на любовта и науката.

Животът, който води, е ограничен. Вследствие на заболяването Хокинг остава прикован към инвалидна количка, а единственият начин да общува със света е чрез специален апарат. Компютърът, инсталиран в инвалидната му количка, му позволява освен да говори, да пише статии и други текстове. Управлението се извършва чрез движение на единствения мускул, който Хокинг може да контролира – един от лицевите мускули на бузата, под окото. Движенията се разчитат от специален инфрачервен сензор, вграден в очилата му. За въвеждане на текст се използва система за предсказване на думите, но въпреки това процесът е усложнен и по-бавен.

Въпреки тези физически ограничения Хокинг не се отказва. С физическите ограничения, с които е осъден да живее, той е затворник на тялото си, но напълно свободен в най-големия простор, който човек може да усвои – този на ума. Неведнъж той заявява, че болестта му играе важна роля в оформянето му като учен.

И така, Стивън Хокинг се отдава на теоретичната физика, космологията, астрофизиката и популяризацията на науката. Той се изявява в областта на физиката чрез своята докторска дисертация, в която доказва, че стационарното състояние на Вселената е математически противоречиво и че Вселената е започнала в една безкрайно малка и плътна точка, наречена сингулярност. Тази негова дисертация се появява в момент на разгорещен дебат между две съперничащи си космологични теории: за Големия взрив и за стационарното състояние. И

двете теории приемат, че Вселената се разширява, но според първата тя се разширява от едно начално свръхкомпактно състояние в един определен момент във времето. Според втората теория обаче Вселената се е разширявала вечно, като непрекъснато се е създавала нова материя за поддържане на постоянна плътност. А днес описанието на Хокинг е почти универсално възприето от учените по света.

Хокинг пише безброй трудове относно черните дупки. Той предполага, че веднага след Големия взрив са се образували първични черни дупки, които са се изпарили почти моментално. По-късно той показва, че ако бъдат пренебрегнати ефектите на квантовата механика, то хоризонтът на събитията на черна дупка може само да се увеличава, но не и да намалява. Стивън Хокинг изчислява и максималното количество енергия, което две черни дупки могат да отделят при сблъсъка си, както и че една черна дупка не може да се раздели на две по-малки. През 1974 г. той доказва, че черните дупки всъщност не са абсолютно черни, а излъчват енергия под формата на елементарни частици, докато изчерпят енергията си и избухнат. Това явление е известно като „Лъчение на Хокинг“.

Хокинг изказва и предложението си, че въпреки че Вселената няма граница, тя има краен размер в пространство-времето, математическо доказателство за което е дадено през 1983 г. Според него Вселената е „крайна“, но „неограничена“, така както е крайна и неограничена земната повърхност. За да проумеем теорията на Хокинг, трябва да работим освен с познатите ни три пространствени измерения, с още две допълнителни.

А въпреки че е разгадал много за Вселената, Хокинг все още има проблем с друга мистерия. В интервю по случай 70-ия му рожден ден, на въпроса за какво мисли най-много през деня, професорът отговаря категорично: „За жените. Те са пълна загадка“.

Стивън Хокинг е бил любител на хумора, именно затова, той казва: „Животът щеше да е трагичен, ако не беше смешен“.

Ученият неведнъж се е произнасял относно темата дали съществува Бог. Веднъж той споделя: „Живях цели 49 години с перспективата за ранна смърт. Не се боя от нея, но и не бързам да си отида от този свят. Гледам на мозъка като на компютър, който спира да работи, когато компонентите му се повредят. Няма рай или живот след смъртта за повредените компютри. Това е вълшебна приказка за хора, които се страхуват от тъмното“. Смятам, че всеки сам може да разтълкува думите на Хокинг, но мнението на един, дори и гениален човек, не би могло да повлияе на решенията ни.

Според Хокинг човечеството трябва да обмисли напускане на Земята и заселване на друга планета, за да бъде избегната, както той я нарича, катастрофа. Според него ние ще се разселим по цялата Вселена. Той казва: „Фактът, че ние, хората, нищожни струпвания от най-елементарните частици в природата, можем да се доближим толкова близко до разбирането за законите, които управляват нас и нашата Вселена, е истински триумф“. Той не отрича и съществуването на извънземни.

Възхищавам се на Стивън Хокинг, защото посвещава живота си на една цел

и се бори за нея. Успява да се спаси от смъртта и продължава да сбъдва мечтите си, да покорява целите си. В крайна сметка не трябва да забравяме, че всички тези открития и теории са създадени от човек, който е бил на прага на смъртта. Той преживява болестта си, научава се да живее с нея, както той самият казва: „Интелигентността е способността да се адаптираш към промените“. Според мен е имало причина този гений да преодолее непреодолимото, защото след целия този катаклизъм в живота си Хокинг успява да опровергае всички, той успява да живее в името на любовта, в името на науката... било то и в името на любовта към науката.

„Гледайте нагоре към звездите, а не долу в краката си. Опитвайте се да осмисляте това, което виждате, и се чудете защо съществува Вселената. Бъдете любопитни... Изненадан съм колко незаинтересовани сме днес от неща като физиката, Космоса, Вселената, философията на нашето съществуване, нашата цел, нашата крайна дестинация. Има невероятен свят. Бъдете любопитни“.

Нека послушаме тези думи и нека бъдем гордост за нашия свят. Нека търсим, нека се интересуваме, нека упорстваме, докато не открием това, което търсим. Нека започнем да гледаме на планетата ни по различен начин, нека започнем да гледаме на хората и нашия интелект по различен начин. Хокинг осъзнава нищожеството и невежеството на нашата цивилизация, което за съжаление продължава да се засилва във времето, но и разбира, че ние сме нещо много по-специално от просто едни нищожни струпвания от най-елементарните час-

тици в природата. Според него фактът, че ние можем да се доближим до такава степен и да разберем законите, които управляват нас и Вселената, е един истински триумф. Нека използваме това, което притежаваме. Нека разгадаем това, което е около нас! Това, което ни съставя, това, което ни ограничава, това, което ни управлява.

Хокинг запали моя интерес към физиката. Не само астрофизиката. Историята му, животът му, откритията му, всичко това ме накара да се замисля. Сякаш сега търся отговори на много по-дълбоки въпроси. Искам да разбера защо и как. Искам да разбера възможно повече за света около мен. Искам да бъда част от нещо. Искам да оставя някаква следа в името и историята на науката. Искам да видя как успяваме да спасим света си, защото всичко е в нашите ръце. А алчността е най-голямата поквара, която успява да заслепи знанието. Алчност, незнание, глупост – всичко това превзема човешките души. Водени от това, ние разрушаваме, бавно унищожаваме света, който сме създали. *„Ние сме в опасност от самоунищожение от нашата собствена алчност и глупост. Не може да продължаваме да гледаме само себе си в една замърсена и пренаселена планета“* – казва Хокинг. И е прав. Гледаме

само и единствено собствените си проблеми, когато сме поставени пред нещо много по-голямо, а именно – глобалните проблеми на нашата планета. Вярвам, че някой ден ще се сетим за невъзможността да продължим нормален живот и ще започнем да обръщаме внимание на планетата си, но ще е прекалено късно. Тъжна истина. Сами ще се унищожим, колкото и пресилено да звучи.

Без съжаление, без огорчение, преодолял трудностите, той успява да разкрие загадките на Вселената пред нас, за да можем някога да имаме отговор въпросите „защо“ и „как“. За да можем да разберем света. За да можем да осъществим „простичката“ цел на живота му – да разберем Вселената и какво правим ние тук, сега.

Пример, пример за борбеност и отдаденост. Ученият, който разкри красотата на науката за мен. Ученият, който разкри Вселената за нас. Ученият, чийто пример искам да следвам. Ученият, чиято проникателност и хумор ще останат в историята завинаги. Ученият, чиито теории създадоха безброй раздори, но и отвори малката вратичка към Началото на всичко. Ученият, който живя заради знанието.

Стивън Хокинг, геният, който живя въпреки всичко ...

Източници на информация:

20 гениални личности, които промениха света, изд. Пан, 2020 г.

<https://www.vesti.bg/tehnologii/nauka-i-tehnika/4-stranni-teorii-na-stivyn-hoking-koito-se-okazaha-verni-6158749>, 18.02.2025 г.

https://bg.wikipedia.org/wiki/Стивън_Хокинг#Научни_открития, 18.02.2025 г., 17:55 ч.

<https://cominfblog.wordpress.com/2017/02/09/крестина-иванова-теория-за-всичко-ес/>, 19.02.2025 г.

<https://knigomania.bg/blog/styvyn-chokynh---henyat-kojto-zyvia-vpreky-vsyhko>, 21.02.2025 г.

МАРИЯ КЮРИ – УПОРИТОСТ, СТРАСТ И ВЯРА В НАУКАТА²

Райна Атанасова

За онези, които търсят истината.

Представете си един свят, в който никой не се пита „защо?“. Свят, в който ябълките падат, но никой не се чуди какво ги кара да го правят. Свят, в който светлината просто съществува, но никой не си задава въпроса дали е вълна или частица. Свят, където времето тече, но никой не се осмелява да попита дали може да се огъва.

Това щеше да бъде свят без физици.

Но ние не живеем в такъв свят. Живеем в свят, в който някой някога се е възрял в звездите и е решил да разбере как те светят. В който някой е наблюдавал водата и се е опитал да изчисли движението ѝ. В който някой е подложил на съмнение това, което всички приемат за даденост и е открил нещо, което никой преди него не е знаел.

Физиката е търсене – понякога самотно, понякога отчаяно, но винаги смело. И точно затова аз се възхищавам на всеки човек, който е посветил живота си на нея. На онези, които със смели уравнения преобръщат разбирането ни за реалността. На онези, които прекарват часове в лаборатории, без гаранция, че ще открият нещо. На онези, които преподават, за да предадат искрата на знанието на следващото поколение. Възхищавам се на всички тях – и на онези, чиито имена са в учебниците, и на онези, които работят в сянка, без награди и при-

знание. Може би някой физик, за когото дори не сме чували, е направил откритие, което един ден ще промени живота ни. Може би някой млад учен точно сега се бори със сложен проблем, който ще отвори нови хоризонти пред човечеството. Дори най-малкият принос в науката има значение, защото знанието е като верига – всяко ново откритие стъпва върху предишните.

И сред всички тези хора има една личност, която блести особено силно – Мария Кюри.

Тя не просто открива радия и полония – тя открива нови хоризонти за науката. Във времена, когато жените са били изключени от академичния свят, тя не само влиза в него, но го променя завинаги. В малка, неотопляема лаборатория, заедно със съпруга си Пиер, извлича радиоактивните елементи, които ще се окажат ключови за бъдещата медицина. Работи с опасни вещества, без да осъзнава напълно рисковете, защото за нея науката винаги е била по-важна от личната ѝ безопасност.

Но най-голямото ѝ наследство не са само нейните открития. Истинското ѝ наследство е духът ѝ – нейната упоритост, нейната страст, нейното нежелание да приеме границите, които обществото ѝ налага. Дори след смъртта на съпруга си, когато остава сама срещу един акаде-

²Отличено есе във възрастова група „Студенти“ в Национален конкурс за есе „Проф. Никола Балабанов“ на тема: „Физик, от когото се възхищавам“. Заглавието е на редакцията.

мичен свят, изпълнен с предразсъдъци, тя не се отказва. Продължава да работи, да открива, да обучава следващите поколения учени. Защото е вярвала в нещо по-голямо от себе си – в самата наука.

Мария Кюри доказва, че науката не принадлежи на един пол, на една нация или на една епоха – тя принадлежи на всички. И затова, когато си помисля за физиката, не си представям просто уравнения и лаборатории. Представям си безсънни нощи, в които някой се опитва да разбере невидимото. Представям си ръце, които прелистват страници, очи,

които търсят отговори, умове, които не спират да се питат „Ами ако...?“. И в този свят, където всичко се променя, едно нещо остава същото – жаждата за знание. Тя гори у всеки физик – и у тези, които вече са променили света, и у тези, които тепърва ще го направят. Защото, в крайна сметка, светът се движи напред не от онези, които приемат нещата за даденост, а от онези, които се осмеляват да питат.

Възхищавам се на всеки, който някога е гледал към звездите и си е задал въпроса „Как?“. Защото без тези хора светът ни щеше да бъде просто тъмнина.

РИЧАРД ФАЙНМАН И ДРУГИ УЧЕНИ, ДОПРИНЕСЛИ ЗА РАЗВИТИЕТО НА НАНОТЕХНОЛОГИИТЕ³

Мариела Колева

Научен ръководител: Християна Стоянова,
ВСУ „Захари Стоянов“ – Стара Загора

Терминът **нанотехнология** покрива голям обем от теми, но основната обединяваща тема е контролът над веществото при размери по-малки от 1 микрометър. Нанотехнологиите представляват нова и завладяваща научна област, развиваща се в продължение на повече от 60 години. Тя се базира на проектиране на функционални системи с предварително зададени свойства на атомно или молекулно ниво, като закономерностите на физичните свойства при взаимодействие на наноматериалите с електромагнитната вълна в сравнение с конвенционалните мате-

риали са различни. Принос за нейното развитие имат изследователи от различни дисциплини: физици, химици, инженери, геолози и биолози. Нанонауката разработва също разбирането на процесите, визуализирането и измерванията, компютърното моделиране [1].

Но дали природата, която е създала цялата Вселена, е създала и наночастиците (*NPs*)? За съжаление, голяма част от информацията е недостъпна за нас, тъй като знанията през дългите години на историята са били записани в трудна за дешифриране форма, а други са били

³Отлично есе във възрастова група 9 – 12 кл. в Национален конкурс за есе „Проф. Никола Балабанов“ на тема: „Физик, от когото се възхищавам“.

загубени. Без достъп до писмени записи учените, които изследват биотичните и абиотичните наночастици от праисторическата епоха, са изправени пред големи предизвикателства. Въпреки това последните разработки в науката посочват, че наночастиците възникват с началото на планетарната система. В литературата са разгледани концепциите на някои учени по отношение на еволюцията на живота (хипотезата на Едуин Хъбъл, теорията на Чарлз Дарвин и теорията за Големия взрив). Някои от тях са били лесно приети, докато други са повдигнали много въпроси. Смята се, че живите същества са резултат от взаимодействието на наночастици с околната среда, което е част от биологичната еволюция. ДНК, синтезирана от наноразмерни нуклеотиди, способни да съхраняват големи количества информация, е единствената причина за биологичната еволюция. Потвърдено е, че химичната и биологичната еволюции започват от най-малките атоми, които всъщност са наноматериали или наночастици. Те са преминали през различни взаимодействия помежду си, като свързване, разпадане, отблъскване, за да произведат енергия. Тази енергия, протичаща с големи или малки промени в обкръжаващата среда, не е нищо повече от еволюция.

В зависимост от произхода съществуват три типа наноразмерни частици – естествени, случайни и проектирани. Естествени наночастици, образувани от вулканичен прах, лунен прах, минерални композити и други, съществуват още от образуването на Земята. Случайните наночастици са дефинирани като отпадъци или антропогенни частици, които се получават в резултат

на промишлени процеси, като дизелови изгорели газове, изгаряне на въглища, заваръчни изпарения. Какво представляват естествените наноматериали? Както подсказва името, естествените наночастици се синтезират от природата без намесата на човека. Образуването им се осъществява по време на различни атмосферни влияния. Те се срещат в минерални композити като алофан, смектит и опал. Опалът представлява естествена наноструктура, която се състои от SiO_2 наносфери с диаметър от 150 до 300 nm в шестоъгълна или кубична плътна опакована решетка. Неговите красиви цветове са вследствие на дифракция от клъстери от наночастици, поради което е наречен природен фотонен кристал. Също така в литературата са налични данни за метални *NPs* от Fe, Ca, Hg, Al, Co; Si, вследствие от вулканична дейност. Друг вид наночастици са образувани в прах от космически източници. С помощта на инфрачервена спектроскопия са определени техният състав и размер. Изследванията показват, че космическият прах се състои от микрочастици, наночастици и техните агрегати с различен състав, размер и физикохимични свойства. Например праховите частици в дифузна междузвездна среда или прахови облаци съдържат лед, въглероден оксид, наночастици от силициев карбид, аморфен калциев силикат и полицикличните ароматни въглеводороди (ПАВ/ПАНs), които проявяват свойства на въглеродни квантови точки, както и на органични структури. Пустините също са основен и постоянен източник на *NPs*, които въздушните течения издигат в атмосферата. Прашните бури ги отнасят от повърхността на пустинята до

далечни места. Оптичните измервания на прахови частици, съдържащи предимно разтворими съединения на Fe, K и Co, показват, че техният размер е в диапазон на 400 – 600 nm.

Обектите на живата природа са съставени също от атоми. Молекулата на протеина и липидите е с размери от порядъка на няколко нанометра, диаметърът на спиралната молекула на ДНК също е от този порядък. Вирусите са с размери около 100 nm. Това поражда мотивация за съчетаване на комбинации от органични и неорганични системи. *NPs* в живите системи се откриват още в РНК, рибозоми, митохондрии, хлоропласти и др. [2].

Биологичната активност, биокинетиката, токсичността, транспортирането и натрупването на наночастици в човешкия организъм са отделна недобре изучена област, криеща и положителни, и отрицателни ефекти.

Не може да се отрече, че природата има способността да конструира наночастици, което е изиграло важна роля в еволюцията. Основният въпрос е дали природата е знаела значението на нанонауката и нанотехнологиите преди нас. *Hochella et al.*, са разгледали въпроса в своята статия „*Nanotechnology: Nature's Gift or Scientists' Brainchild?*“ и стигат до заключението, че магията на наноматериалите не е нова, и че природата е играела тези трикове в продължение на милиарди години [3]. Според *Tielens* [4] цялата материя във Вселената (с изключение на повечето водородни и благородните газове) е съществувала в даден момент във вид на едномерен, двумерен или триизмерен наноматериал.

Интересно е, че хората са използвали нанотехнологиите преди повече

от хиляда години, без да са разбирали нейното значение. Човешките мечти и въображение често пораждат нови знания и технологии. Нанотехнологията се определя като разбиране и контрол на наноразмерни системи, където специфични явления водят до нови приложения. Въпреки че срещи на хората с наночастици са се случвали през цялата човешка история, те драстично са се увеличили по време на индустриалната революция. Изучаването на наночастиците не е нова област в науката. Понятието „нанометър“ е предложено за първи път от Рихард Зигмонди (*Richard Zsigmondy*), нобелов лауреат с награда за химия за 1925 г., първият учен, който прави измерване на златни наночастици с помощта на микроскоп.

Наноразмерната област притежава свои закономерности, различни от тези на макросвета. Така например между две метални повърхности, отстоящи на малко разстояние една от друга, действа непознатата в макросвета сила на Казимир (*Hendrik Casimir*), открита през 1948 г. Първоначално тя се е разглеждала като теоретичен парадокс, но сега от нея се интересуват както конструктурите на микромашини, така и теоретиците, занимаващи се с универсални теории за природата и структурата на физическия вакуум.

За баща на съвременните нанотехнологии се смята Ричард Файнман (*Richard Feynman*), лауреат на Нобелова награда за физика за 1965 г. По време на среща на Американското физично дружество в Калифорнийския технологичен институт (Калтек) през 1959 г., той изнася лекция, озаглавена „*Има много място на дъното*“, в която въвежда концепцията

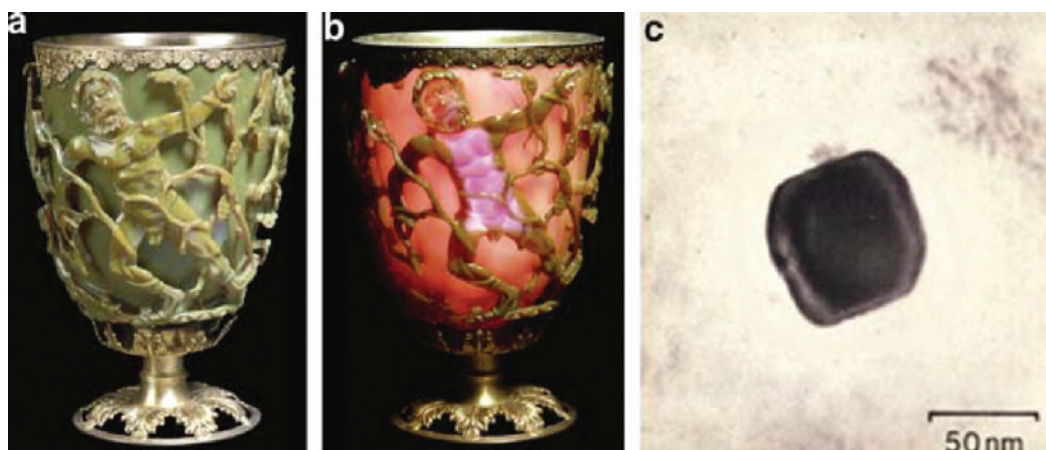
за манипулиране на материята на атомно ниво. Той казва: „Там, долу, има много свободно пространство – това е покана за нов свят... Принципите на физиката позволяват да се изграждат нещата атом след атом... Аз искам да построя милиарди нанофабрики, подобни една на друга, които произвеждат едновременно... Не става дума за преодоляване на теоретичен предел, а само за практическа трудност, защото сме твърде големи“. Тази нова идея демонстрира нови начини на мислене, като хипотезите на Файнман се оказват верни.

Почти 15 години след лекцията на Файнман, японският учен Норио Танигучи (*Norio Taniguchi*) е първият, който използвал термина „нанотехнология“ за описание на полупроводникови процеси. Той се застъпва за това, че нанотехнологиите се базират на разделяне, консолидиране и деформиране на материали, съставени от един атом или една молекула. Златната ера на нанотехнологиите започва през 80-те години, когато Крото (*Kroto*), Смоли (*Smalley*) и Кърл (*Curl*) откриват фулерена (молекула, съставена от въглеродни атоми, във формата на сфера, елипсoid или цилиндър). По това време Ерик Дрекслер (*Eric Drexler*) от Масачузетския технологичен институт обединява идеите на Файнман и термина „нанотехнология“ на Танигучи в книгата си от 1986 г., озаглавена „Двигатели на сътворението: Настъпващата ера на нанотехнологиите“. Дрекслер предлага идеите за създаване на чип с размерите на захарно кубче за наноразмерни „асемблери“ (малки машини), които могат да изграждат обекти атом по атом, и които биха могли да се използват от медицински роботи до скру-

бери, пречистващи въздуха. Визията на Дрекслер за нанотехнологиите често се нарича „Молекулярна нанотехнология“. Науката за нанотехнологиите е напредвала още когато Сумио Ииджима (*Sumio Iijima*), друг японски учен, е разработил въглеродните нанотръби [5].

Чрез нанотехнологиите могат да се създават и нови обекти, като метаматериалите. Префиксът „мета“ (на гръцки) означава „отвъд“ и в този смисъл името „метаматериали“ означава системи, които излизат отвъд ограниченията на микровълновите и оптичните мащаби. За групата на метаматериалите е характерно, че диелектричната и магнитната проницаемости ϵ и μ са отрицателни. Метаматериалите представляват изкуствено структурирани материали, показващи уникални или необичайни свойства, които не могат да бъдат открити в естествените материали. Метаматериалът има скала на нехомогенност, която е много по-малка от дължината на вълната, а неговият електромагнитен отговор се изразява чрез параметри на хомогенизиран материал. За първи път свойствата на материали с отрицателен показател на пречупване ($-n$) са предсказани в работите на Веселаго (*Veselago*) от 1968 г.

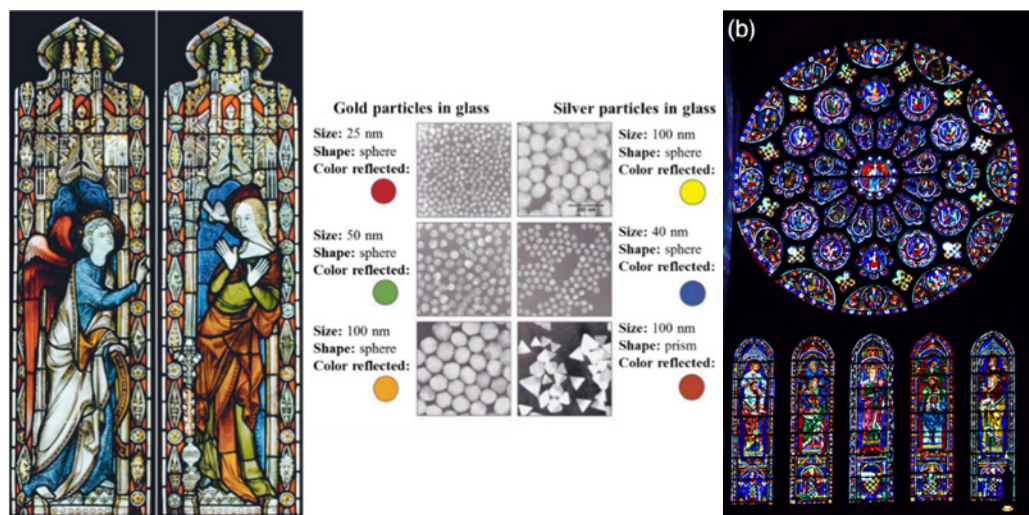
Думата „метаматериал“ се появява за първи път в литературата през 2000 г., когато *Smith et al.* публикуват данни за структуриран материал с едновременно отрицателна диелектрична и магнитна проницаемости при микровълнови честоти. Други източници предполагат, че терминът „метаматериал“ е въведен за първи път малко по-рано от Роджър Уолсър (*Roger Walser*), професор по физика в Тексаския университет, през 1999 г. Само за няколко години областта на метамате-



Фигура 1. Купата на Ликург (*Lycurgus*) при отражение и пропускане на светлината (a, b) и ТЕМ изображение на сребърен клъстер от купата на Ликург (c) [6]

риалите бързо се разраства и разцъфтява, включвайки учени от различни области. Но ако погледнем в историята назад, още преди векове, в древността, хората са използвали метаматериали в произведения на изкуството. Известен пример е Купата на Ликург (*Lycurgus*) (Фигура 1), изложена в британски музей и датира-

на от четвърти век след Христа. Чашата е направена от вероятно първия известен метаматериал – рубинено стъкло с вградени наночастици. Свойството на разсейване на метаматериала придава на чашата уникална красота. Дихроичният ефект е причинен от съдържащите се наноразмерни сребърни и златни клъс-



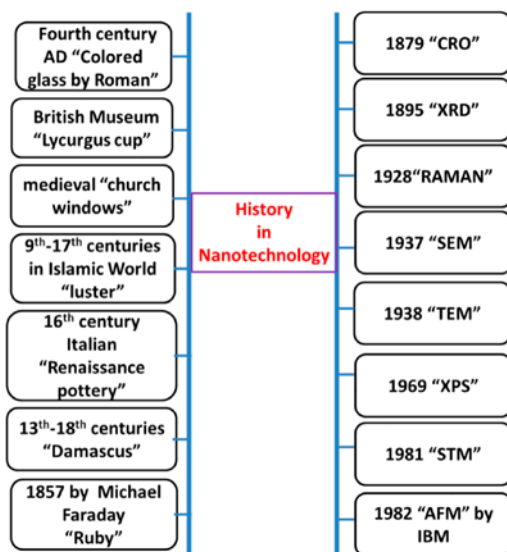
Фигура 2. Цветни стъклописи с вградени наночастици: ляво – от Музея на витражите, Англия [7], дясно – от катедралата в Шартър, Франция [8]

тери с диаметър 50 – 100 nm, в които локализираните плазмони могат да бъдат възбудени с видима светлина. При осветяване от външната страна, светлината се отразява от повърхността и се произвежда жълто-зелен цвят, при осветяване отвътре пропуснатата светлина продуцира рубинено червен цвят. Златната компонента в стъклото е отговорна за червения цвят, докато сребърната – за зеления [6, 9].

Известно е, че цветът на малките метални частици зависи силно от размера и формата им. Оптичните свойства на такива системи се дължат на повърхнинен плазмонен резонанс (*Surface Plasmon Resonance* – SPR), който се наблюдава при облъчване със светлина. Повърхнинните плазмони (SPs) се разглеждат като електростатични повърхнинни вълни, които взаимодействат силно със светлината, в резултат на което се образуват повърхнинни плазмон поларитони (*Surface plasmon polariton* – SPPs), като преминаваща вълна по повърхността на метал на границата с диелектрик [10].

Подобен ефект се наблюдава и в прозорците на късносредновековните църкви, които блестят в светещи червени и жълти цветове поради наличието на Au и Ag наночастици в стъклото. Фигура 2 показва ефекта от тези наночастици с различни размери върху цветни стъклописи.

В периода IX – XVII в. ярки керамични глазури, използвани в ислямския свят, а по-късно и в Европа, са съдържали Ag, Cu и други наночастици. Италианците също са използвали наночастици при създаването на керамика по време на Ренесанса през XVI в. Те са повлияни от османските технологии, когато



Фигура 3. Графично изображение на прогреса в нанотехнологиите [7]

през XIII – XVIII век са произвеждали устойчиви и здрави остриета на сабя дамаския, с помощта на наножички от цементит и въглеродни нанотръби. Тези цветове и свойства на материала са били използвани в продължение на стотици години, но средновековните художници и фалшификатори не са знаели причината за тези изненадващи ефекти.

През 1857 г. Майкъл Фарадей (*Michael Faraday*) изучава получаването и свойствата на колоидни суспензии от рубиново злато. Техните уникални оптични и електрични свойства ги правят едни от най-интересните наночастици. Фарадей демонстрира как златни наночастици произвеждат разтвори с различен цвят при определени условия на осветяване. Напредъкът в нанотехнологиите, дължащ се на нанонауката, е обобщен на Фигура 3 [7].

... Вместо заключение...

Днес нанотехнологиите оказват влияние върху човешкия живот всеки ден. Потенциалните ползи са много и разнообразни. Въпреки това, поради екстензивното излагане на хора на наночастици, съществува значителна загриженост относно потенциалните рискове за здравето и околната среда. Тези опасения са довели до появата на допълнителни научни дисциплини, като нанотоксикология и наномедицина. Нанотоксикологията е изследване на потенциалните неблагоприятни последици за здравето от наночастици. Наномедицината, която включва подсектори като тъканно инженерство, биоматериали, биосензори и биоизображение, е разработена за изследване на ползите и рисковете от наноматериалите, използвани в медицината и медицинските изделия.

Нанотехнологията се възприема като общонасочена, смята се че занапред ще променя почти всички индустрии и области на обществото. Тя предлага не само по-добри продукти, но и значителното им усъвършенстване и поевтиняване. Създаването на нови оръжия и средства за проследяване, а и на несъществуващи в природата материали, е и риск, носещ своите етични проблеми. Дали човечеството е готово за такъв бърз прогрес? Последствията от отсъствие на общоприети норми, а дори и на обичайната държавна регулация, могат да бъдат сурови поради различните възможни отговори на въпросите: Кой ще владее технологиите (големите фирми или държави)? Какъв ще бъде достъпът до тях? Няма ли те да задълбочат пропастта между бедни и богати? Как да се осъществи контрол върху нанооръжия-

та и да се избегне опасна надпревара във въоръжаването? Отговорите следва да се обмислят, в противен случай са възможни неприятни изненади.

Очевидно, общ сценарий за бъдещите стъпки няма. Проблемите ще се идентифицират и решават индивидуално за всяка област или дори приложение, като ще се развиват по-бързо наноелектрониката и свързаните с информационните технологии прибори, спестяващите и ефективно преобразуващи енергията технологии, повишаващи качеството на живот биотехнологии и екощадящите технологии, и не на последно място – ресурсоикономисващите нанотехнологии.

Една от прогнозите за развитието на нанотехнологиите (на Майк Роко (*Mike Roco*), предложена преди няколко години за периода до 2015 г., е:

- Първа генерация – пасивни наноструктури. Наноматериали и структури – колоиди и аерозоли, покрития, наночастици, уякчени нанокомпозити, метали, полимери, керамика.

- Втора генерация – активни наноструктури. Биоактивни материали и лекарства, микро- и наноелектронни елементи, сензори, изпълнителни механизми, усилватели, адаптивни устройства и др.

- Трета генерация – системи от наноструктури.

- Четвърта генерация – молекулярни наносистеми и нови функционални устройства.

Днес има няколкостотин пазарни приложения на нанотехнологиите. Предвижданията на Националната научна фондация на САЩ са, че пазарът им ще бъде не по-малък от десетки милиарди долари [1].

Използвана литература:

- [1]. Младенов, Г. М. (2010). *Нанотехнологии и наноелектроника*. Марин Дринов.
- [2]. Sharon, M. (Ed.). (2019). *History of Nanotechnology: From Prehistoric to Modern Times*. John Wiley & Sons.
- [3]. Hochella, M. F., Spencer, M. G., & Jones, K. L. (2015). *Nanotechnology: nature's gift or scientists' brainchild?*. *Environmental Science: Nano*, **2**(2), 114-119.
- [4]. Tielens, A. G. G. M. (2012). *Large Molecules and Nanograins in Space*. In *Nature's Nanostructures* (pp. 379-402). Jenny Stanford Publishing.
- [5]. Hulla, J. E., Sahu, S. C., & Hayes, A. W. (2015). *Nanotechnology: History and future*. *Human & experimental toxicology*, **34**(12), 1318-1321.
- [6]. Freestone, I., Meeks, N., Sax, M., & Higgitt, C. (2007). *The Lycurgus cup – a roman nanotechnology*. *Gold bulletin*, **40**(4), 270-277.
- [7]. Bayda, S., Adeel, M., Tuccinardi, T., Cordani, M., & Rizzolio, F. (2020). *The history of nanoscience and nanotechnology: from chemical-physical applications to nanomedicine*. *Molecules*, **25**(1), 112.
- [8]. Elbahri, M., Homaeigohar, S. and Assad, M.A. (2021), Reflective Coloration from Structural Plasmonic to Disordered Polarizonic. *Adv. Photonics Res.*, 2: 2100009.
- [9]. Cai, W., & Shalaev, V. M. (2010). *Optical metamaterials* (Vol. **10**, No. 6011). New York: Springer, 1-36.
- [10]. Катрова, В. М. *Наноструктуриране на тънки сребърни слоеве за приложение в нанофотониката*, дисертация.

„За да имаме истински напредък в постигането на целите за устойчиво развитие, трябва да популяризираме науката, като повишим научната грамотност на обществото и оформим среда, която насърчава по-голямо доверие в науката.“

Лидия Артър Брито (Lidia Arthur Brito)
Помощник генерален директор по природни науки на ЮНЕСКО

ЗА ХРИСТО ПОПОВ – КОЛЕГАТА И ПРИЯТЕЛЯ

Иван Лалов



Преди няколко десетилетия моя позната ме предупреди, че когато започна да губя близки, психиката ми трябва да е подготвена. Загубата на близки – в семейството, в колегията, в обществото – е неминуема, както е неизбежно нашето собствено преминаване в друга реалност (ако такава съществува). При мене тези загуби – на родителите ми, на сестра ми, на приятели, колеги – не причиняват психически срив. Но се засилва усещането, че моят свят опустява (за разлика от света наоколо, който става все по-труден и интересен).

Такова усещане имам и след неотдавнашната смърт на Христо – проф. Христо Попов (25.03.2025 г.). С него в последните години се виждахме по разни поводи няколко пъти в годината и си звъняхме един-два пъти месечно. Но аз знаех, че винаги мога да чуя неговия глас – спокоен и с иронична нотка – и неговото мнение за приятелите, хората и събитията.

С него се познаваме от кръжока по теоретична физика в студентските

ни времена. През есента на 1960 г. Факултетът се премести от сградата на „Московска“ 49 в сградата на Химическия факултет, а Христо стана асистент по теоретична физика и получи кабинет на седмия етаж. В битието си на петокурсник и приятел аз често се катерех по стълбите за всякакви разговори с него. А една селскостопанска бригада в софийското село (квартал) Чепинци стана рождено място на приятелски кръг, просъществувал десетки години (от който сега останахме двамина).

Хр. Попов е от поколението, преживяло надеждите и разочарованията на два прехода – от капитализъм към социализъм и тоталитарно общество (1944 – 1960) и периода на промените – от 1989 г., вероятно до сегашния момент. Както и да характеризираме нашето поколение, то беше възпитано да работи и да се надява, но с достатъчна доза български скептицизъм. Сега ми е трудно да определя чие скептично отношение към близкото „светло бъдеще“ беше по-силно – мое-то или на Христо (въпреки членството му в БКП).

Христо Попов е роден на 8.11.1937 г. в Габрово. От 7-ми клас учи в Априловската гимназия, която завършва през 1955 г. От тази година до 1960 г. е студент по физика във Физико-математическия факултет на Софийския университет. От 1960 г. той работи до пенсионирането си в същия факултет и се изкачва по „стъпалата на „академичната стълбица“ (цитат от неговата автобиография) в Катедрата

по теоретична физика, а от 1984 до 1992 г. – в Катедрата по методика на обучение-то по физика като неин ръководител. От 1977 г. е доцент по теоретична физика, а от 2001 г. – професор. Има две защитени дисертации – „кандидатска“ (1974), защитена в ОИЯИ (Дубна) за „кандидат на физическите науки“ и през 1997 г. – за „доктор на педагогическите науки“. През 1964 – 1965 г. е на специализация в Международния център по теоретична физика – Триест, а през 1970 – 1974 г. работи в ОИЯИ (Дубна).

Научният подход на Хр. Попов е на физик-теоретик. Научните приноси в статиите му до 1974 г. са по тематика от физиката на високите енергии. Още по-силно теоретичната проблематика е застъпена в лекциите, които чете за студентите. Основният курс е по електро-динамика (т.нар. кратък курс), по който е издаден учебник, претърпял няколко издания. Някогашните студенти, слушали този курс, досега си спомнят привлекателността и достъпността, с която Хр. Попов е изнасял своите лекции по основна област от физиката. Отношението към любим преподавател се проявява и в лекциите по физична оптика, за които има също издадени записки. Проф. Хр. Попов е чел и други лекции към Катедрата по теоретична физика.

Още през 1966 г. се проявява и друга област на интересите на Христо, която след 1974 г. става основна за него – преподаването по физика в средните училища. Бързо развиващата се физика и нейната роля в икономиката и образованието поставят непрекъснато – и досега, проблемите за реформи в изложението на дисциплината „Физика“, за да бъде тя интересна, разбираема и полезна за

по-голямата част от учениците. Трябва да признаем, че нашите усилия, вкл. и на Христо Попов, имат променлив успех. Но дейността му в методиката на преподаването е огромна. Освен споменатото ръководство на Катедрата по методика на физиката, той е ръководител на катедра „Природо-математически дисциплини“ в Централния институт за усъвършенстване на учителите (1986 – 1989). През периода 1982 – 2006 г. е главен редактор на научно-методическото списание „Физика“. През цялото време – повече от 50 години – Христо Попов е автор и съавтор на внушителните 60 научни статии и 26 учебника по физика, а от 2000 г. – по физика и астрономия, за задължителната и профилирана подготовка. Най-често той е организатор на авторските колективи, реализирали написването на учебниците. В някои авторски колективи участвах и аз. Освен на учебници, проф. Христо Попов е съавтор и организатор на авторските колективи на 15 научно-методични пособия, предназначени за учителите по физика и за любителите на физиката. Проф. Хр. Попов е редовен участник в Пролетните конференции по въпроси на обучението по физика, а през 2001 г. и 2009 г. бе председател на конференциите в Смолян и в Русе. Ще отбележа и факта, че през 2018 г. бяхме съавтори на доклад на конференцията в Плевен, посветен на развитието на обучението по физика в училищата в България. За мене от този доклад най-интересният факт беше „нашият“ хорариум по физика през 50-те години на XX век. Ние с Христо сме учили физика общо 16 часа седмично (от 6-ти до 11-ти клас). Сега седмичният хорариум за задължителната подготовка е 6 часа. По-нататъшни усилия за рефор-

ми са неизбежни, както разбираше това и Хр. Попов.

Проф. Хр. Попов се интересувахе и активно участваше в живота на физическата колегия и по-специално в дейността на Съюза на физиците в България. Той беше Почетен член на СФБ (до 1989 г. – „Дружество на физиците в България“), член в няколко мандата на Управителния съвет на Съюза. През 1990 – 1991 г. основните членове на СФБ, изготвили реално нов Устав, отговарящ на демократичните промени, бяхме Христо, Иван Лалов и частично проф. Н. Балабанов. Важно развитие на СФБ в следващите

години бе изграждане на независимостта на дейността ни от партийни и държавни структури, засилване на връзките с международни организации на физиците и запазване целостта на колегията от физици, за което безспорна роля има и Хр. Попов.

Разностранната работа на проф. Хр. Попов в полето на физиката и нейното преподаване в средните училища и университетите само отчасти характеризират неговата личност. Ще го помним като квалифициран и скромен колега с ярко, но не налагано от него, отношение към науката, света и хората.

СВЕТЛА ДА БЪДЕ ПАМЕТА МУ!

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

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

Корица – Фотоника: Конична дифракция на бяла светлина от пропускаща цилиндрична решетка. Автор: Светлен Тончев, *MKS Instruments Inc., Newport Corporation*

НАШИТЕ АВТОРИ:

Сашка Александрова – проф. д.т.н., Технически университет, София;
Александър Драйшу – акад., Софийски университет „Св. Климент Охридски“;
Михаил Илиев – студент бакалавър трети курс, Медицинска физика, Софийски университет „Св. Климент Охридски“;
Тома Томов – инженер-физик, Софийски университет „Св. Климент Охридски“;
Боян Джаков – проф. д.ф.н., Институт по електроника, Българска академия на науките;
Христо Попов – проф. д.ф.н., Софийски университет „Св. Климент Охридски“;
Иван Цаков – доц. д-р, Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика, Българска академия на науките;
Невена Кожухарова – ас., Технически университет, София;
Вили Лилков – проф. д.т.н., Минно-геоложки университет;
Ива Якимова – ученик 7 кл., ОУ „Св. Патриарх Евтимий“ – Велико Търново;
Райна Атанасова – студент I курс, Физически факултет, СУ „Св. Климент Охридски“;
Мариела Колева – ученик 10 кл., ВСУ „Захари Стоянов“ – Стара Загора;
Иван Лалов – проф. д.фз.н., Софийски университет „Св. Климент Охридски“.

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

Насърчаване на стопански инициативи – Чрез програмата „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 3'2025

СЪДЪРЖАНИЕ

РЕДАКЦИОННО

НАУКА

– А. Драйшу – Някои нобелови награди по физика в областта на фотониката: с уважение към пионерите

НАУЧНИ ПРОЕКТИ

– М. Б. Илиев, Т. Томов – Изработване на генератор за електричество с математично махало

ИСТОРИЯ

– Б. Джаков – Предшествващи трептения в магнетрони – едно малко познато българско научно откритие с автори Емил Джаков и Александър Раев

– Х. Попов – Кратка история на краткия курс по електродинамика през втората половина на XX век

НОВИНИ

– Иван Цаков – Китай – лидер в световната термоядрена програма?

ФИЗИКА И ОБУЧЕНИЕ

– Седма балканска олимпиада по физика

– Н. Кожухарова – „Дни на физиката“ в Техническия университет – София

– В. Лилков – Лектория „Светът на физиката на живо“

МЛАДИ ИЗСЛЕДОВАТЕЛИ

– И. Якимова – Стивън Хокинг – геният, който преодоля непреодолимото

– Р. Атанасова – Мария Кюри – упоритост, страст и вяра в науката

– М. Колева – Ричард Файнман и други учени, допринесли за развитието на нанотехнологиите

IN MEMORIAM

– И. Лалов – За Христо Попов – колегата и приятеля

THE WORLD OF PHYSICS 3'2025

CONTENTS

EDITORIAL 141

SCIENCE

– A. Dreischuh – Some Nobel Prizes in Physics in the Field of Photonics: With Respect to the Pioneers 145

SCIENTIFIC PROJECTS

– M. B. Iliev, T. Tomov – Invention of an electric generator with a mathematical pendulum 162

HISTORY

– B. Djakov – Preoscillations in Magnetrons – a Little Known Bulgarian Scientific Discovery: Authors Emil Djakov and Alexander Raev 175

– H. Popov – A Brief History of the Short Course in Electrodynamics in the Second Half of the Twentieth Century 182

NEWS

– I. Tsakov – China – a Leader in the Global Thermonuclear Program? 189

PHYSICS AND TEACHING

– Seventh Balkan Physics Olympiad .. 192

– N. Koujuharova – „Physics Days“ at the Technical University – Sofia 197

– V. Lilkov – „World of Physics Live“ Lectures 199

YOUNG RESEARCHERS

– I. Yakimova – Stephen Hawking – the Genius Who Overcame the Insurmountable 202

– R. Atanasova – Marie Curie – Perseverance, Passion and Trust in Science 206

– M. Koleva – Richard Feynman and Other Scientists Who Contributed to the Development of Nanotechnology 207

IN MEMORIAM

– I. Lalov – About Hristo Popov – the Colleague and Friend 215