



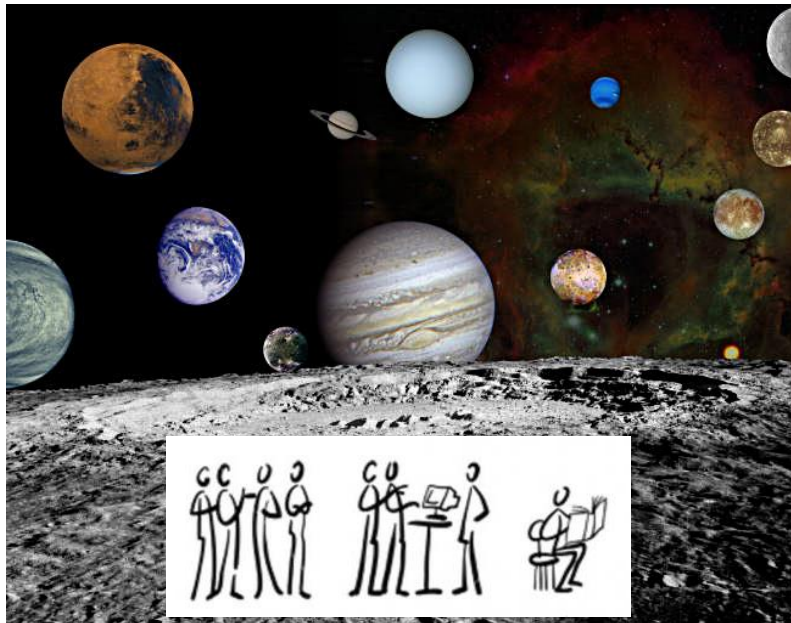
Технически университет София



Катедра Приложна физика

# Сборник популярни и научни доклади

Дни на физиката 2022  
Том 14



София, 14 - 16 Април 2022 г.

# Дни на физиката 2022

## Сборник популярни и научни доклади

Редактори: Е. Халова  
С. Александрова  
Н. Кожухарова

ИЗДАТЕЛСТВО НА ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

**ISSN 1313-9576**

## Предговор

Провеждането на „Дни на физиката 2022“ се състоя в рамките на „Дни на науката“ в Технически университет – София и се организира от Катедрата по приложна физика към Факултета по приложна математика и информатика (ФПМИ). Тази година Дните на физиката бяха посветени на Международната година на фундаменталните науки за устойчиво развитие (IYBSSD2022), както беше обявена 2022 г. в приета от Общото събрание на ООН резолюция. Настоящото издание на „Сборник популярни и научни доклади“ е четиринадесети том от поредица, която е включена в електронната база данни на НАЦИД. Сборникът включва доклади, представени на “Дните на физиката”, които се проведеха от 14 до 16 април тази година.

След ограниченията през последните две години, наложени от пандемията COVID-19, „Дните на физиката“ се проведеха в обичайната обстановка в традиционния формат в лекционна зала на ТУ-София с предимствата на личния контакт лектор-публика и възможностите за демонстрации на физични експерименти. Преобладаващото мнение на студентите е, че “Дните на физиката” са една добра възможност за придобиване на опит в излагането на научни проблеми и участие в научни дискусии.

Лекторите и тази година бяха студенти, преподаватели и учени от: ТУ–София, МГУ "Св. Иван Рилски", СУ „Св. Климент Охридски“ и БАН. Както всяка година докладите бяха посветени на интересни и актуални теми от различни области на физиката, свързани с фундаментални и приложни проблеми на модерната наука, както и теми от историята на физиката. Оригинално и увлекателно представяне на темите ги прави разбираеми за широка и разнообразна аудитория в атмосфера на научен семинар. Пред читателите е странния свят на квантовите системи. Труден ли е за разбиране квантовият свят, къде да търсим частиците в тази странна реалност, има ли все още въпроси без отговор? Как неочакваното поведение на квантови обекти определя съвременните технологии, скоро ли ще имаме настолен квантов компютър или квантовият компютър е нещо загадъчно и далечно? Как историята на цивилизацията е свързана с развитието на средствата за въоръжаване? Какво знаем за велики учени като Леонардо и Максвел и техните открития, какви загадки ни представя Слънчевата система?

В последния ден от “Дни на физиката” традиционно бе проведена научната сесия, която даде възможност за среща на учените и преподавателите участници във форума. Представени и дискутирани бяха проблеми в съвременни научни области. Темите бяха от много различни области на физиката и нейните приложения, както и въпроси, свързани с обучението по физика на студентите от специалността „Приложна физика и компютърно моделиране“.

Както и в предишни години се проведеха традиционните демонстрации на физични явления и закономерности в зала на ТУ-София по много атрактивен начин от ас. инж. Л. Георгиев и предизвикваха огромен интерес у студентите, поради възможността им да се докоснат и обсъждат реални физични експерименти и изследвания.

В края на сборника е представена програмата на проведените „Дните на физиката 2022“. Всички представени статии са рецензирани от учени с познания и авторитет в съответната област.

Организационният комитет на Дни на физиката се надява поредният том на сборника, насочен главно към студентската аудитория, но и към всички, които проявяват интерес към физиката, да изпълни ролята си на интересно, увлекателно и информативно четиво, да повиши интереса на бъдещите инженери към тази древна и същевременно модерна наука, чиито приложения са в основата на съвременната техника и технологии.

Редакторите на сборника изказват благодарности на всички участници в “Дни на физиката - 2022”, както и на членовете на Организационния комитет и Ръководството на ФПМИ.

Организирането и провеждането на „Дните на физиката 2022“, както и издаването на настоящия сборник са съфинансирани по вътрешния конкурс на ТУ-София 2022 със средства от субсидията за научна дейност. От името на Организационния комитет, на студентите и всички участници изказваме благодарност за финансовата подкрепа на НИС към ТУ-София, а така също и на ФПМИ.

Благодарност и на „Завод за Оптика - АД“ за финансовата подкрепа, която за пореден път позволи представените доклади да бъдат публикувани в поредния том 14 на сборника в Университетското издателство.

*Доц. д-р Елена Халова  
Проф. д-м Сашика Александрова  
Ас. Невена Кожухарова*

**СЪДЪРЖАНИЕ****ПРЕДГОВОР****НАУЧНО-ПОПУЛЯРНИ ДОКЛАДИ**

И. Копринков, <b>Квантова физика ли?...Нищо по-странно!</b> .....	6
Е. Халова и Н. Кожухарова, <b>Изобретенията на Леонардо да Винчи изпреварили времето си</b> .....	14
Н. Кожухарова и Е. Халова, <b>Фундаменталните науки – общо начало и хиляди възможности за развитие</b> .....	24
С. Александрова, <b>Неизвестният Д. Максвел</b> .....	31
Р. Кобиларов, <b>Променлив или постоянен ток. Битката между „Westinghouse Electric Corporation “ и „General Electric“</b> .....	41
М. Занева, М. Василева, <b>Квантовите компютри - революция в информационните технологии?</b> .....	46
К. Граматиков, <b>Война и физика</b> .....	58

**НАУЧНИ ДОКЛАДИ**

Х. Търнев, <b>Анализ на учебното съдържание на курса Компютърно моделиране на физични системи</b> .....	65
Б. Рангелов, <b>Загадки в Слънчевата система – мирис, вкус, звук и красота на планетите</b> .....	73
В. Ranguelov and all, <b>The seismic hazard and risk components – necessary knowledge for the real estate business (Sofia case)</b> .....	82
Г. Димитрова, <b>Приложение на Монте Карло симулациите в радиационната защита</b> .....	94
И. Стефанов и Н. Денев, <b>Вириалната теорема и съвременната теория на протозвездните ядра</b> .....	103
Ст. Тодоров и Л. Попова, <b>On characteristics of some natural waters</b> .....	112

Авторски указател .....	118
Програма на Дните на физиката .....	119

## КВАНТОВА ФИЗИКА ЛИ? ... НИЩО ПО-СТРАННО!

**Иван Копринков**

Катедра Приложна Физика, ФПМИ, ТУ-София, бул. "Кл. Охридски" №8, София 1000  
e-mail: [igk@tu-sofia.bg](mailto:igk@tu-sofia.bg)

*Резюме.* На фона на впечатляващите успехи на квантовата физика, разгледани са някои явления като квантовия аналог на опита на Юнг, парадокса на Айнщайн-Подолски-Розен, закъснително квантово изтриване, чийто физически механизъм остава неясен и чието разбиране би дало голям тласък в познанието ни за квантовите явления.

**Ключови думи:** квантова физика, корпускулярно-вълнов дуализъм, квантов аналог на класическия експеримент на Юнг, парадокс на Айнщайн-Подолски-Розен, вплетени квантови състояния, квантово изтриване.

### 1. Увод

Квантовата физика постигна огромни успехи в описанието и обяснението на квантовите явления. Тя е основен инструмент за изследване на микросвета и това естествено повдига въпроса доколко тя правилно и пълно описва и обяснява квантовите явления. Известно е, че съществува определена неяснота относно физическия механизъм на определени квантови явления, дори когато можем да ги опишем правилно количествено. Целта на настоящия популярен доклад е да бъдат разгледани някои от най-впечатляващите загадки в квантовата физика, като по този начин направим опит да очертаем границите между известното и неизвестното в тази изключително конкурентна област, в която са работили и работят едни от най-великите умове на човечеството.

### 2. Квантова механика – успехи, значимост, мистерии и парадокси

Квантовата физика и в частност квантовата механика, върху която основно ще се фокусираме тук, представлява най-успешния подход за описание на физическата реалност на микроиво. Говорейки за квантова механика, ние обикновено разбираме нерелативистката квантова механика, която описва поведението на *нерелативистки тъждествени* физически обекти. *Нерелативистки* означава обекти, които се движат със скорости  $v$  много по-малки от скоростта на светлината във вакуум  $c$ , т.е.,  $v \ll c$ . Под *тъждествени* ние разбираме обекти/частици, които остават непроменени при взаимодействие с други частици - нямаме раждане, унищожение и преобразуване на частици. Всъщност, квантовата механика може да описва всякакви физични обекти, за които са в сила горните условия. Това включва, както обикновено, обекти от микросвета, така и макроскопически обекти и явления, като свръхпроводимост, свръхфлуидност, достигайки до квантови процеси и параметри засягащи

Вселената като цяло. Ако все пак трябва да посочим областите, в които квантовата механика блести най-ярко със своите резултати, това са областите свързани с описание на обекти като *атоми, молекули и кондензираното състояние* на материята. Благодарение на квантовата механика, ние имаме днешните задълбочени и детайлни представи за строежа на атомите и молекулите. Ние знаем как се описват и каква е структурата на техните електронни, а при молекулите, още и на техните вибрационни и ротационни квантови състояния. Ние знаем каква е енергетичната структура на атомите, молекулите и твърдото тяло, какви са физичните процеси които я обуславят, какви физични процеси могат да протичат в тази енергетична структура и как можем да определим количествено параметрите, които характеризират тези процеси. Квантовата механика ни дава една цялостна концептуална теоретична база, в рамките на която можем да разбираме и анализираме експерименталните резултати на описваните от нея физични обекти и явления. При това, предсказаните теоретични резултати блестящо се потвърждават от експеримента. Освен тази евристична сила, квантовата механика представлява и фундамента на широк кръг съвременни технологии и в този смисъл, тя има и огромно приложно значение.

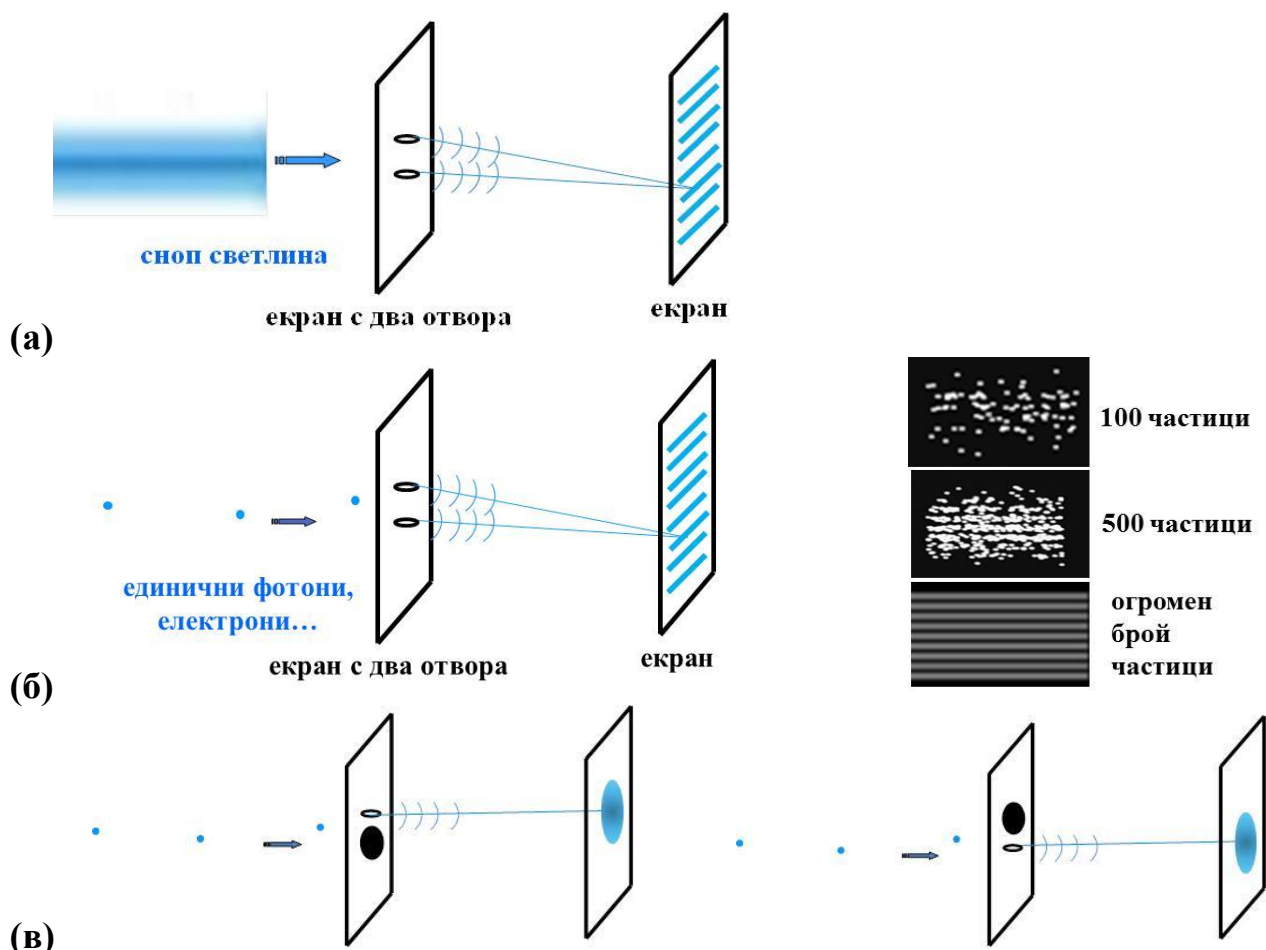
Учените, свикнали да си изясняват до най-фините детайли изследваните от тях явления, трудно могат да се примирят с неясноти в разбирането на обектите на техните изследвания. Това вероятно е накарало един от бащите на квантовата физика, Ричард Файнман, в една своя публична лекция да възкликне (оригинален текст): "*I think I can safely say that nobody understands quantum mechanics.*" [1]. Само година по-късно, 1965г., Нобеловият комитет удостоява (в тази последователност) Томонага, Швингер и Файнман с Нобелова награда по физика за тяхната фундаментална работа по създаване на квантовата електродинамика. Файнман се откроява и с други фундаментални приноси в квантовата физика, като въвеждането на графично представяне, *диаграми на Файнман*, на математическите изрази описващи процесите на взаимодействие и разсейване на елементарни частици, формулиране на квантовата механика на базата на *Файнманови интеграли по траектории* и др. Именно във връзка със споменатите неясноти в механизма на някои квантови процеси, които Файнман определя като *мистерии*, той характеризира разбирането на квантовия аналог на класическия експеримент на Юнг с екран с два процепа като основен проблем в квантовата механика (оригинален текст): "*the double-slit experiment ...has in it the heart of quantum mechanics. In reality, it contains the only mystery.*" [2].

### **2.1 Мистерии свързани с квантовия експеримент на Юнг**

За да разберем в какво се състои "мистерията" на експеримента на Юнг, ще разгледаме неговият класически (фиг.1(а)) и квантов аналог, (фиг.1(б, в)). При класическия експеримент на Юнг (фиг.1(а)), когато осветим екран с два процепа със сноп светлина, върху помощния екран наблюдаваме обичайна интерференчна картина, характерна за всеки вълнов процес. Когато осветим



екрана с процепите с *поток от "класически" частици* (електрони, протони, неутрони, атоми,...) отново се получава същата интерференчна картина. Това налага тезата за *корпускулярно-вълновия дуализъм* като универсално свойство на физическите обекти. При квантовият аналог на експеримента на Юнг (фиг.1(б)) ние пускаме *единични "класически" частици* (електрони, протони, неутрони, атоми,...), така че във всеки момент в интерферометъра на Юнг има не повече от една частица. Това изключва възможността да се наблюдават вълнови ефекти като колективни процеси от много частици, както е при класическите вълни. Въпреки това, единичните частици попадат върху екрана така, че постепенно, от попадението на отделните частици, отново се формира интерференчна картина, (фиг.1(б)) вдясно. Ако закрием някой от двата процепа (горния или долния) (фиг.1(в)), то се наблюдава само дифракция от един отворен процеп. Всичко това е необяснимо от гледна точка на нашето обичайно класическо разбиране за *частица* и *вълна*. *Частица*, това е пространствено локализиран обект, който винаги се проявява като единно цяло и чиито вътрешни характеристики, маса  $m$ , заряд  $q$ , спин  $s$ , ..., остават неизменни докато обектът съществува. *Вълна*, това е пространствено нелокализиран (разпределен) обект, който може да дифрактира и интерферира и чиито характеристики могат да се променят в процеса на разпространение.



**Фиг. 1.** Класически (а) и квантов (б), (в) аналог на експеримента на Юнг.

Ще анализираме квантовия аналог на опита на Юнг с единични електрони. Електронът е градивна частица на атома и като такъв неговият размер не надвишава размера на атома, докато типичното разстояние между процепите е от порядъка на милиони атомни радиуса. Възниква въпросът, ако електронът е частица, откъде той "знае", че има отворени два процепа и електроните попадат върху екрана така че да формират интерференчна картина в случая на (фиг.1(б)), както и че има отворен само един процеп и електроните попадат върху екрана така че да формират дифракционна картина в случая на (фиг.1(в))?

Това поведение формално може да се обоснове в рамките на една класификацията на квантовите процеси, дадена от фон Нойман, които той нарича кратко "процес 1" и "процес 2" (фиг.2) (представени в обратен ред).

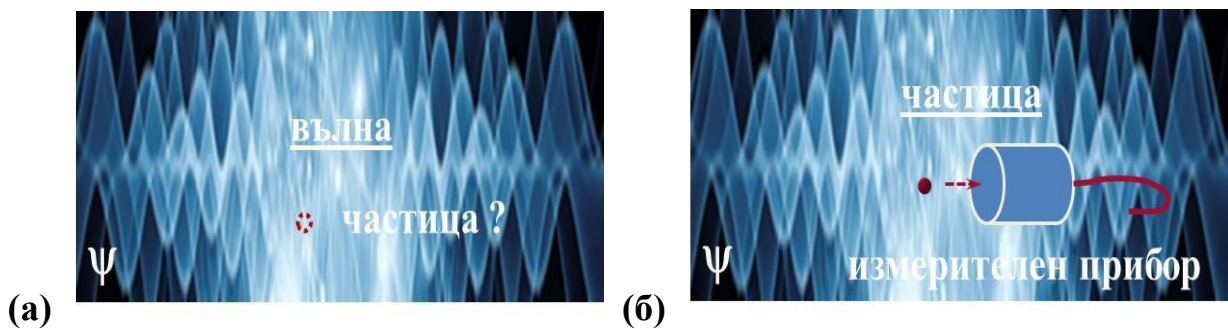
"Процес 2" на фон Нойман: вълновата функция  $\psi(\vec{r},t)$  (състоянието на квантовата система) претърпява *непрекъсната, обратима, причинна, унитарна* еволюция подчиняваща се на уравнението на Шрьодингер

$$\hat{H}\psi = i\hbar \frac{\partial\psi}{\partial t} \Rightarrow \psi(\vec{r},t) = e^{-i\hat{H}t/\hbar} \psi(\vec{r},0) , \quad (1)$$

като вълновата функция, изобщо, е суперпозиция от собствени състояния  $\Phi_i(\vec{r},t)$  на квантовата система:  $\psi(\vec{r},t) = \sum C_i(t)\Phi_i(\vec{r},t)$ . Това всъщност е обичайната еволюция на състоянието на квантовата система. При този процес се проявяват *вълновите свойства* на квантовия обект (фиг.2(а)). Разглеждането на *квантовия обект* като *вълна*, която е пространствено разпределен обект, обяснява процеса интерференция от двата процепа на интерферометъра на Юнг. "Процес 1" на фон Нойман : вълновата функция  $\psi(\vec{r},t)$  претърпява *внезапна, прекъсната, необратима* промяна при взаимодействие с *измерителния прибор*, известна като *колапс на вълновата функция* или *редукция на вълновия пакет*:

$$\psi(\vec{r},t) = \sum_i C_i(t)\Phi_i(\vec{r},t) \xrightarrow{\text{измерване}} \Phi_k(\vec{r},t) \quad (2)$$

При този процес се проявяват *корпускулярните свойства* на квантовата система и ние винаги детектираме цяла частица с неизменни характеристики (фиг.2(б)).



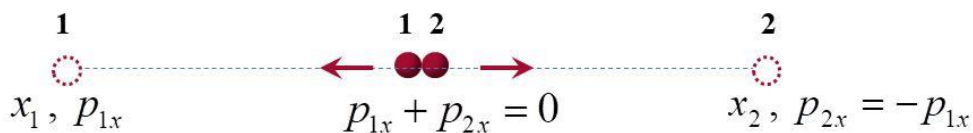
Фиг. 2. "Процес 2" (а) и "Процес 1" (б) на фон Нойман

Разглеждането на *квантовия обект* като *частица*, която е пространствено локализиран обект, обяснява локализирането на частицата върху "екрана" (фотоплака, диодна матрица), който се разглежда като *измерителен прибор*. В процеса на измерване, квантовата механика не предсказва точната стойност на измерваната величина, а само вероятността да се получи определена стойност.

Формалното "обяснение" на квантовия експеримент на Юнг на базата на процесите на фон Нойман не разкрива *механизма* на имащия отношение към случая *корпускулярно-вълнов дуализъм*, който е същинската "мистерия".

## 2.2 Парадокс на Айнщайн-Подолски-Розен

Вероятностният характер на предсказанията на квантовата механика дават основание на редица физици, сред които и Айнщайн, да поставят въпроса за пълнотата на квантовата механика. Айнщайн, Подолски и Розен [3] предлагат мислен експеримент (фиг.3), чиято цел е да се покаже, че квантовата механика е непълна теория, издигайки тезата, че в рамките на определени параметри, наречени *скрити параметри*, ограниченията на квантовата механика могат да бъдат заобиколени. Съгласно мисленият експеримент [3], частиците 1 и 2 на системата в даден момент са в контакт и взаимодействат. Ако техният общ импулс е, примерно, нула,  $p_{x1} + p_{x2} = 0$ , то след като се отдалечат, ако измерим импулса на едната частица, от закона за запазване на импулса автоматически следва импулса на другата частица. Това ни дава възможност да определим едновременно, при това точно, x-компонентите на координатите и импулса на дадена частица, нещо което е забранено от квантовата механика, в случая, от съотношението на неопределеност на Хайзенберг  $\Delta x \Delta p_x \geq \hbar/2$ . За целта не е нужно да определяме едновременно координатата и импулса на дадена частица, примерно 2, а само координата  $x_2$  на частица 2 и да измерим импулса на частица 1,  $p_{x1}$ , а от закона за запазване на импулса получаваме и импулса на частица 2,  $p_{x2} = -p_{x1}$ . По този начин можем да заобиколим принципа за неопределеност, в частност, забраната за едновременно измерване с неограничена точност на определени величини.



Фиг. 3. Мислен опит на Айнщайн-Подолски-Розен

Подобни системи като описаната са известни като *вплетени квантови системи*, а свързаните с тях квантови състояния са известни като *вплетени квантови състояния*. За вплетената квантова система е в сила следното:

- Система от подсистеми (частици), която е създадена и съществува като единно цяло и за която законите за запазване са в сила за системата като цяло.
- Частите на системата не се описват независимо, а са взаимно *корелирани*.

- Състоянието  $|\Psi\rangle$  на вpletената системата е сума от произведение от състоянията на подсистемите (частите, частиците) на системата.

Най-простите вpletени състояния са при системи от две части А и В (фиг.4), имащи две състояния  $|0\rangle$  и  $|1\rangle$ ,  $|\Psi\rangle = (1/\sqrt{2})(|0\rangle_A |1\rangle_B \pm |1\rangle_A |0\rangle_B)$ . Състоянията  $|0\rangle$  и  $|1\rangle$  могат да са спинови състояния на електрона или поляризационни състояния на фотона, например, и се наричат *квантови битове*, *кюбит*-ове.

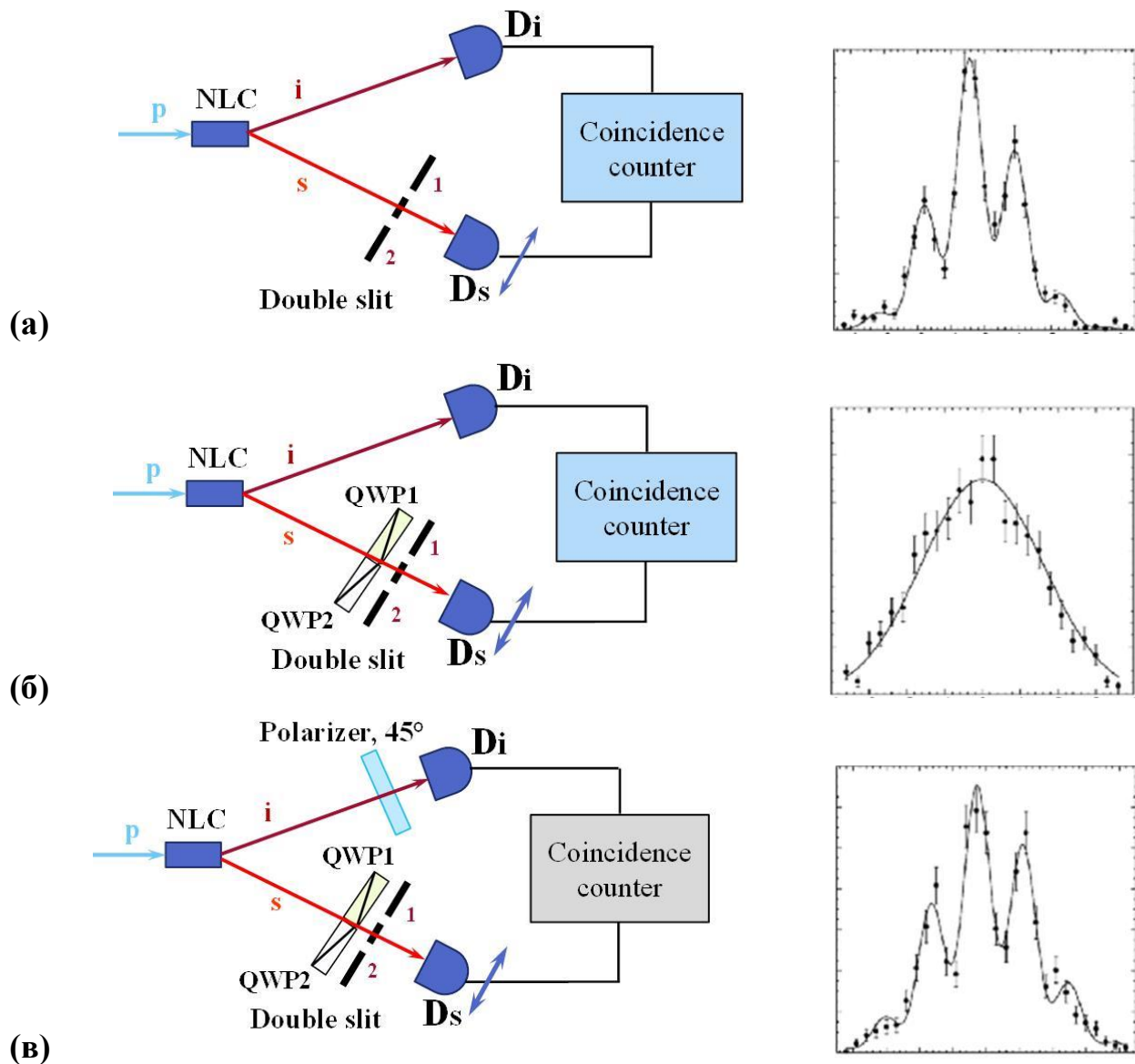
Измерване на състоянието на една частица от вpletената система "моментално" привежда състоянията на другите частици в съответствие с изходното състояние на системата и законите за запазване. Айнщайн нарича това "призрачно действие от разстояние", което се разпространява със свръхсветлинна скорост, нарушавайки принципа за локалност - аргумент на Айнщайн срещу квантовата механика. Оказва се, че предсказанията на теориите на скритите параметри и на квантовата механика могат да бъдат проверени експериментално на базата на теоремата на Бел [4]. Експериментите отхвърлят съществуването на локална теория на скритите параметри, но допускат съществуването на нелокална теория на скритите параметри. Въпреки това, инспирираните от Айнщайн-Подолски-Розен, по същество, вpletени състояния и квантови корелации продължават да са обект на интензивно изследване поради перспективни приложения в областта на квантовата информация: квантови компютри, квантова криптография, квантова телепортация и др.



Фиг. 4. Вpletена квантова система с две състояния/нива.

### 2.3 Квантово изтриване

Един от начините за генериране на вpletени състояния е чрез *спонтанна трифотонна параметрична генерация*. Това е нелинеен оптичен процес, при който един начален *напомпващ* фотон  $p$ , се разпада в нелинеен кристал NLC на други два вpletени линейно поляризирани фотона, *сигнален*  $s$  и *халостен*  $i$ , (фиг.5а). Сигналният фотон попада върху интерферометър на Юнг, реализирайки квантов експеримент на Юнг с вpletени фотони [5]. На практика това е експеримент с единични фотони и за да бъдат регистрирани на силния фон от шумови фотони, детекторите  $D_s$  и  $D_i$  работят в режим на съвпадение. Наблюдава се следното поведение. Когато и двата процепа **1** и **2** на интерферометъра на Юнг са отворени и няма информация през кой процеп минават сигналните фотони  $s$ , получава се обичайната интерференчна картина, (фиг.5а - вдясно). Ако маркираме процепа през който минава сигналният фотон  $s$ , в случая чрез четвърт-вълнови пластинки QWP, които превръщат линейната поляризация в кръгова, лява в единия процеп и дясна в другия процеп,



**Фиг. 5.** Квантово изтриване с влетени фотони и интерферометър на Юнг. Фигурите вдясно са взети от [5].

интерференчната картина се разрушава и се получава дифракционна картина, (фиг.5б - вдясно). Всичко дотук е добре изследвано в рамките на известния "кой-път (*which-way*)"-експеримент и неговото отношение към корпускулярно-вълновият дуализъм, изразено със съотношението за дуалност на Englert-Greenberger,  $V^2 + D^2 \leq 1$ , където  $V$  е видимостта на интерференчната картина, а  $D$  е различимостта през кой път/процеп минава фотонът. Интересният резултат е когато отново направим невъзможно да се определи през кой процеп минава сигналният фотон  $s$ , което ще наричаме *квантово изтриване*. За целта, пред детектора  $D_i$  се поставя поляризатор под ъгъл  $45^\circ$  спрямо началната поляризация на халостните фотони  $i$ . Поляризаторът пропуска само фотони, които са поляризирани по неговата ос на пропускане. Ако разложим полето на халостните фотони по оста на пропускане на поляризатора и перпендикулярно



на нея, това води до 50% средностатистическа вероятност линейно-поляризираният фотон  $i$  да премине през поляризатора (и да задейства детектора  $D_i$  и схемата за съвпадение) и 50% вероятност да се отрази от поляризатора и да не задейства схемата. Поляризацията на преминалия след поляризатора халостен фотон  $i$  е завъртяна на  $45^\circ$  спрямо тази на падащия към поляризатора халостен фотон  $i$ . Тъй като сигналният  $s$  и халостният  $i$  фотони са вплетени, това води до завъртане на  $45^\circ$  на поляризацията и на вплетените сигнални фотони  $s$ . Тази завъртяна поляризация на сигналните фотони е ориентирана спрямо осите на четвъртвълновите пластинки така че, те вече не променят линейната им поляризация в кръгова, лява или дясна през различните процепи. Това размаркира/изтрива *"кой-път"*-информацията през кой процеп минават сигналните фотони. В резултат, интерференчната картина отново се появява, (фиг.5в - вдясно). Забележителното е, че манипулирайки поляризацията на халостния фотон  $i$ , изтриваме информацията за това през кой процеп минава сигналния фотон  $s$ . Това може да стане за времена, през които никакъв сигнал разпространяващ се със скоростта на светлината не може да се предаде между двата регистрирани от детекторите  $D_s$  и  $D_i$  вплетени фотона  $s$  и  $i$ . Най-странното е, че изтриването на *"кой-път"*-информацията може да стане дори когато регистрацията на сигналния фотон  $s$ , определящ дали ще се формира интерференчна или дифракционна картина, т.е., *следствието*, става не след а преди регистрацията на инициацията изтриването халостен фотон  $i$ , т.е., *причината*. Този ефект е наречен *закъснително квантово изтриване*. То дава основание някои физици да го разглеждат като проява на *обратна причинност*. При направа на съответните изводи, обаче, трябва да имаме предвид, че наблюдаваните картини, интерференчна или дифракционна, се получават точка по точка едва след като се обработят данните от всички регистрирани корелирани сигнални  $s$  и халостни  $i$  фотони.

#### 4. Заключение

Намиране на обяснение на физическия механизъм на редица квантови процеси би дало голям тласък в нашето разбиране за природата на физическите явления. Независимо от това, квантовата физика дава възможност за правилно количествено описание дори на процеси, чийто механизъм ние все още не разбираме и, в това си качество, тя представлява незаменима база за развитие на най-съвременните технологии.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Richard P. Feynman, The Messenger Lectures, 1964, MIT
- [2] R. Feynman, R. Leighton, M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics* (1965)
- [3] A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen, Phys. Rev., **47**, 777 (1935)
- [4] J. S. Bell, Physics, **1**, 195 (1964)
- [5] S. Walborn, et al., Phys. Rev. A **65**, 3 (2002)

# ИЗОБРЕТЕНИЯТА НА ЛЕОНАРДО ДА ВИНЧИ ИЗПРЕВАРИЛИ ВРЕМЕТО СИ

Елена Халова

Катедра Приложна Физика, ФПМИ, ТУ-София, бул. "Кл. Охридски" №8, София 1000  
e-mail: [ehalova@tu-sofia.bg](mailto:ehalova@tu-sofia.bg), [nkojuharova@tu-sofia.bg](mailto:nkojuharova@tu-sofia.bg)

*Резюме.* Настоящият доклад представя някои от най-забележителните изобретения на Леонардо да Винчи, далеч изпреварили времето си. Представени са идеите на да Винчи и техните аналози в наше време.

**Ключови думи:** Леонардо да Винчи, изобретения.

## I. Леонардо да Винчи

Леонардо да Винчи е роден на 15 април 1452г в град Винчи във Флоренция. Баща му е нотариусът Сер Пиеро да Винчи, а майка му е Катерина, която произхожда от селско семейство. Леонардо е израснал с втория си баща Акатабарига ди Пиеро дел Вака от Винчи.

През 1466г., едва четиринадесетгодишен, Леонардо се учи при известния флорентински живописец Андреа дел Верокио. Освен от живопис Леонардо се интересува химия, металообработване, механика, аеродинамика, металургия, дърводелство, анатомия, и др.

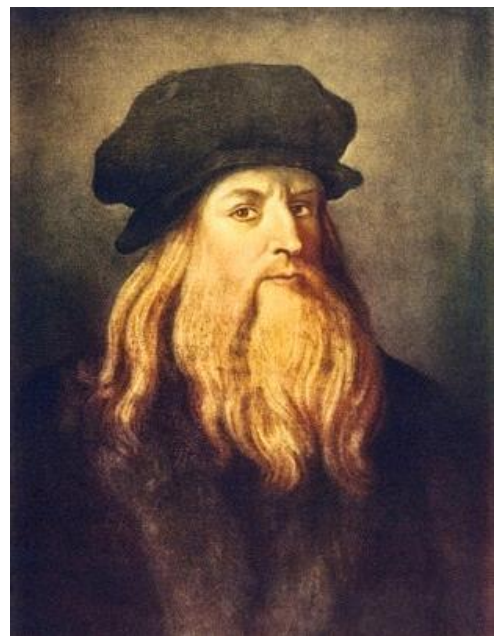
Следва дълъг период на търсене на своето място в живота и творчеството между Милано, Флоренция, отново Милано, Рим и Франция.

Именно тук във Франция в град Кло Люсе Леонардо да Винчи умира на 2 май 1519г.

Леонардо да Винчи е забележителен италиански архитект, скулптор, инженер изобретател и с това с което е най-известен, уникален художник от епохата на Ренесанса.

Леонардо е не по-малко известен с многобройните си изобретения, но за съжаление останали само на хартия през XV век.

В настоящата статия ще ви представим едни от най-значимите изобретения на Леонардо да Винчи, изпреварили времето си, с техните чертежи, схеми и рисунки, някои конструирани модели, повечето от които наистина работят, като и техните съвременни аналози. Тези модели са направени от съвременни учени и инженери по записки на Леонардо да Винчи.



**Фиг. 1.** Леонардо да Винчи  
15 април 1452 -2 май 1519г.

## II. „33-цевен огран“

Леонардо да Винчи е личност, която ненавижда войната и средствата за убийства, но въпреки това разработва многобройни видове бойна техника.

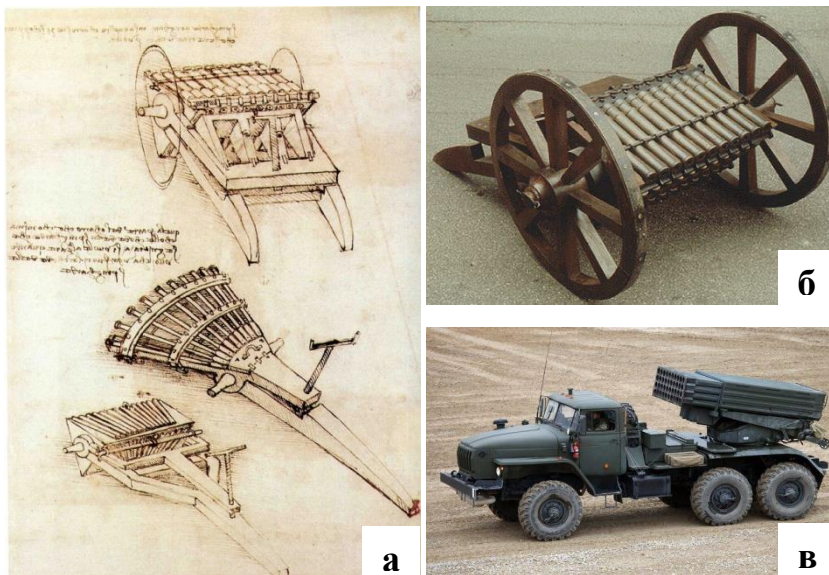
Едно от най-известните изобретения на Леонардо да Винчи, далеч изпреварило времето си е „33-цевният орган“. Идеята за това изобретение е породана от проблем свързан с бавното презареждане на оръдията, съществуващи по това време.

Изобретението представлява система от 33 малокалибрени оръдия, свързани в три групи от по 11 оръдия, поставени на въртяща се платформа, монтирана на колела. (фиг. 2а,б). Името „33-цевен орган“ е избрано поради приликата между свързаните съседни дула на оръдията и тръбите на орган.

След проведен изстрел от първа група оръдия, платформата се завърта към втората, след това към третата и така цикълът се повтаря. Докато една група стреля, предходната се охлажда, а следващата се зарежда. По този начин се увеличава скоростта на стрелбата. Това оръжие е със забележителна огнева мощ за времето си и е лесно за маневриране на бойното поле, тъй като е с малко тегло. Конструкцията е имала един съществен недостатък свързан със сложното презареждане, особено по време на бойни действия.

Всичко казано до тук дава основание изобретението на да Винчи да се счита на предшественик на днешните картечници и „Катюши“ (фиг. 2в).

Другият вариант, от малокалибрени оръдия, представлява система от 10 оръдия свързани в триъгълна форма, също поставена на колела, която е представена на фиг. 3. Целта на това изобретение е да се увеличи обхвата на артилерийската стрелба.



**Фиг. 2а.** Записки на Леонардо, **б.** Макет по записки, **в.** Съвременен аналог - „Катюши“



**Фиг. 3.** Макет на система от оръдия



### III. Превозни средства

Първият прототип на **велосипед** също е изобретение на Леонардо. В един от своите трудове от 1447г., той прилага чертежи на “двуколесно устройство”, което се движи от човек. На фиг. 4 е представен прототип на велосипед по записките на Леонардо.

Въз основа на трудовете на Леонардо се предполага, че идеята за създаването на **самодвижещо се превозно средство**, възниква още през 1478г. Това изобретение на Леонардо всъщност е първообразът на съвременните **автомобили**.

Идеята на Леонардо е превозното средство да е без шофьор, с три колела, като задните колела се въртят независимо едно от друго. За да се движи се използва сложна механична система от зъбчати колела и обтяжки, разполагаща се в долната ѝ част. Скиците на Леонардо (фиг. 5), за съжаление не разкриват напълно механизма за задвижване.

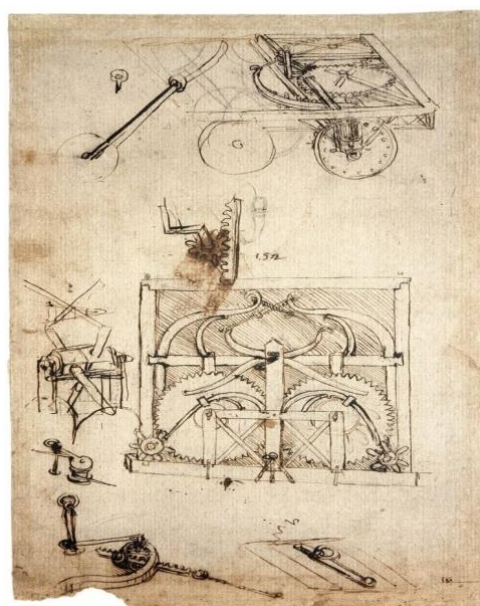
Съвременните инженери е трябвало да разгадаят, какво именно е задвижвало превозното средство (фиг. 6). Те предположили, че задвижването се осъществявало с помощта на пружинен механизъм, подобен на този в часовниците, но това са само предположения. За съжаление това изобретение на Леонардо на практика не е било осъществено през XV век.

Карло Педрети успява да разгадае принципа на движение на превозното средство на Леонардо, който е бил основната загадка. Трябвало е да се задвижва със специални пружини, разполагащи се в долната ѝ част. През 2004г. италиански инженери успяват да конструират прототип на превозно средство по записки на Леонардо и да го пуснат в движение.

На фактът, че прототипът няма шофьор може да се гледа и като на първият робот в историята.



Фиг. 4. Прототип на велосипед



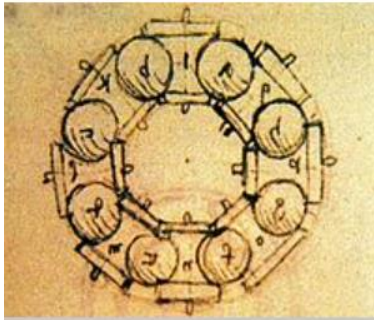
Фиг. 5. Записки



Фиг. 6. Прототип на превозно средство

#### IV. Съчмени лагери

Още по време на Римската империя е имало идея за съчмени лагери, но първите по-сериозни разработки на тази идея се споменават в тетрадките на Леонардо (фиг. 7). На фиг. 8 е представен макет на лагири по записки на Леонардо. На пръв поглед изобретяването на съчмения лагер не изглежда впечатляващо, но за много от съвременните технологии това изобретение е от огромно значение (фиг. 9). За съжаление, както много други проекти на Леонардо и този не придобива известност.



Фиг. 7.



Фиг. 8.



Фиг. 9.

#### V. Парашут

Една от най-простите, но работещи идеи на Леонардо е парашутът. Идеята за него се намира в ръкописите на да Винчи от 1485г. Там той е записал точните размери и форма на “средство за безопасно спускане на хора от големи височини”. Според скиците на Леонардо парашутът е с пирамидална конструкция и е изработен от плат (фиг. 10).

Въз основа на тези скици е направен прототип на парашут с такава конструкция, но със съвременни материали. С този парашут през 2008г. швейцарецът Оливие Теп скача от 650 метра височина. След това той коментира скока, който е бил безопасен, но това което го е затруднило е било неговото управление.

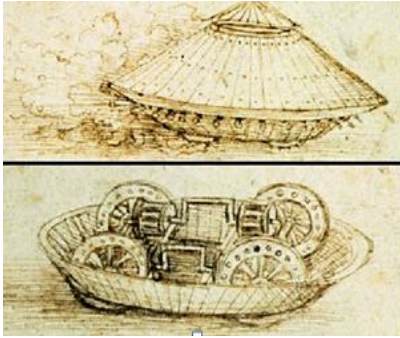


Фиг. 10.

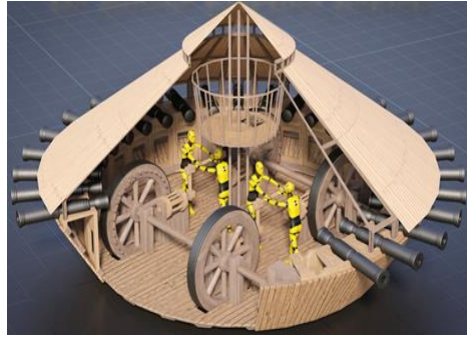
#### VI. Танк

Една от най-интересните идеи на гениалния Леонардо, изпреварили времето си, е била наречената от него “кула”. Проектът е предложен през 1487г. и всъщност е първият прототип на съвременните танкове. Според проекта устройството е с форма на конус наподобяващо черупката на костенурка. Конструкцията е трябвало да се изработи от дърво и покрито с метални плочки за по-голяма здравина (фиг. 11). Първоначално Леонардо смятал задвижването

да става с помощта на коне, но много скоро се отказал от тази идея, тъй като в затвореното пространство, конете нямало как да се контролират. Новата му идея за задвижване е била, четирима (или 8) мъже да въртят свързани колела посредством две големи манивели (фиг. 12). Друг мъж трябвало да стои в горната част и да задава посоката на движение. Множеството от оръдия (36) са били разположени радиално в основата. Тази конструкция може да бъде наречена не само първообраз на **танк**, но и на **бронебойна машина** от XX век. (фиг. 13).



Фиг. 11.



Фиг. 12.



Фиг. 13.

Скицата на бронирания танк в тетрадките на да Винчи съдържа интересен недостатък. Зъбните колела на конструкцията са разположени в обратен ред, което не би позволило танкът да се движи. Леонардо да Винчи, както е известно, е гениален изобретател, затова подобна грешка не би допуснал дори по невнимание. Някои изследователи на изобретенията на да Винчи твърдят, че това е направено съзнателно, за да не попадне във вражески ръце и никой друг освен него да не може да построи танка.

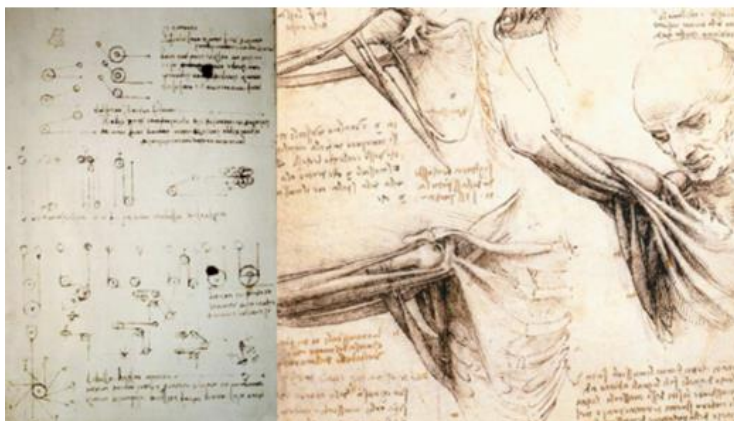
Цялата конструкция е твърде тежка и може би щеше да е трудно подвижна, но това е само предположение. По времето на Леонардо, тя би могла само да сплашва врага, но не и да се използва като оръжие. Това е причината да се смята, че този проект трудно би се реализирал през XV век. Въпреки това огромната заслуга на Леонардо да Винчи е, че е успял да погледне много далеч през вековете.

## VII. Рицарят - робот

Леонардо да Винчи е и първият човек, който достига до идеята за конструиране на механичен човек, с други думи казано на **робот**. Тази идея е описана в трудовете на Леонардо от 1495г. Както е известно да Винчи се интересувал и от анатомия, като например как функционира човешкото тяло и как мускулите движат костите. С тези познания, прилагайки същия принцип и при машините, той успял да конструира механичния човек (фиг.14). Според идеята това трябвало да бъде по-точно рицар в доспехи, наричан „**рицар-робот**”, който можел да извършва няколко човешки движения. Рицарът-робот



на да Винчи не е оцелял през вековете. Не е известно какво точно е можел да прави, но се предполага, че е можел да върви, да сяда, а може би и да говори.



Фиг. 14. Записки на Леонардо



Фиг. 15. Рицар-робот

Интересен е фактът, че роботизираният рицар е бил използван преди всичко за забавления на партитата, организиран от покровителя на Леонардо, Людовико Сфорца.

Записките за механичния рицар на Леонардо са изучени подробно през 1996г. от учени от Флорентинския институт и Музея за история на науката и е направен опит за неговото конструиране. Експертът по роботика Марк Рошейм, базирайки се на записките на Леонардо, през 2002г. конструира цялостен физически модел на робота и оттогава Рицарят-робот е излаган в безброй експозиции по целия свят (фиг. 15). Някои от концепциите на Леонардо, Рошейм взима и ги прилага в роботите, които използва НАСА. През 2007г. е построена друга версия на рицаря -робот, по-близка до оригинала.

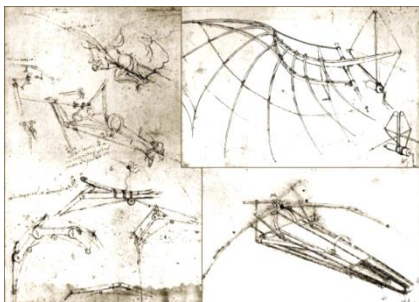
## VIII. Летящи машини

Техническите изобретения на Леонардо, изпреварили времето си, предизвикващи най-голямо възхищение и интерес са **летящите машини**. Източник на вдъхновението на Леонардо за тези изобретения са птиците и техния полет. Той изучава механизма на полета у различни видове птици и прилепи и прави множество техни рисунки и скици (фиг. 16).

Идеята на Леонардо да Винчи е била да създаде летяща машина, чието крило да наподобява крилето на птиците. Има известни няколко варианта на летящи машини. Тук ще разгледаме 3 летящи апарата.

При първия вариант на изобретението, летящата машина е трябвало да се движи (лети) посредством подвижни криле, които са могли да се повдигат и спускат чрез система от педали. При този вариант летецът е в хоризонтално направление (легнал) на машината (фиг. 17).

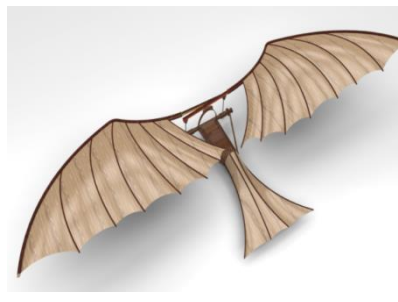
При втория вариант на летящата машина, задвижването е трябвало да се осъществява не само с краката, но и с ръцете на летящия човек.



Фиг. 16.



Фиг. 17.



Фиг. 18.

На хартия, изобретенията на Леонардо изглеждат повече като птица отколкото като самолет. За съжаление на практика опитите с модели с подвижни креле не били успешни.

След тези неуспешни модели, Леонардо изобретил друг модел, който използвал така наречения **планиращ полет** (фиг. 18). Този модел всъщност може да се счита за прототип на съвременния **делтапланер**. През 2002г. британски учени конструират летяща машина, възоснова концепцията на да Винчи. С него британецът Джуди Лидън, шампион по делтапланеризъм, успява да се реев в небето на височина 10 метра в продължение на 17 секунди.

Третият модел на Леонардо да Винчи за летяща машина с **въртящ се винт**, без съмнение е едно от най-добрите изобретения, които той описва в своите тетрадки. Леонардо пръв е изказал идеята за машини с вертикално излитане.

Съгласно концепцията на Леонардо, летящата машина представлява платформа, която е снабдена със спираловидно витло, изработено от тънък ленен плат, което е трябвало да се задвижва и управлява от 4 човека (фиг. 19). Когато спираловидно витло се завърти достатъчно бързо, апаратът е трябвало да се издигне нагоре. Тази летяща машина всъщност представлява една огромна въртяща се въртележка.

Ние само можем да гадаем дали това се е случило на практика. Вероятно не. Тази конструкция на летяща машина на Леонардо има редица недостатъци, поради които тя не би могла да полети, тъй като силата на четирима човека определено не е достатъчна, за да се осигури необходимата тяга, за да ги издигне летящата машина нагоре във въздуха.

В наши дни много инженери-изобретатели считат тази машина за първообраз на съвременния **хеликоптер**, макар че машината с въртящ се винт да прилича повече на съвременните **дронове** (фиг. 20).



Фиг. 19



Фиг. 20

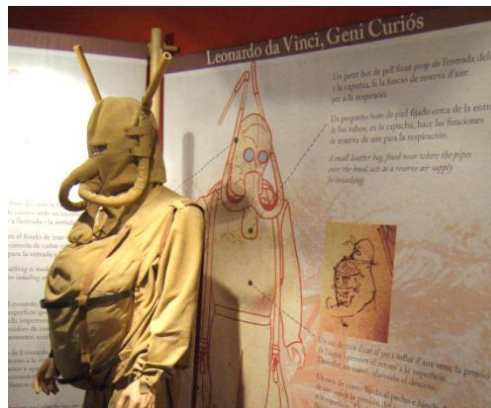
## IX. Водолазен скафандр

**Водолазният скафандр** също се счита, че е изобретение на Леонардо да Винчи. Идеята е от края на **XV век**. Той е бил изработен от свинска кожа, промазана с масло. Отвори от стъкло са използвани за да вижда водолаза, а за да диша - тръбички от трастика. Въздухът се съхранявал в мех поставен в костюма (фиг. 21).

Целта на това изобретение на Леонардо е била водолазният скафандр да се използва за борба срещу настъпваща противникова турска флотилия по това време. Водолазите с този скафандр е трябвало да се движат по дъното, да изчакат приближаването на противниковите кораби, да пробият корпусите им и по този начин да ги потопят. За съжаление водолазният скафандр не е бил на практика използван, тъй като флотата на Венеция успяла да победи турската, без помощта на изобретения водолазен скафандр.

Интересен е фактът, че първите подобни водолази са се появили през 1941г. пак в Италия. В наши дни изследователи проектират прототип на водолазния скафандр по записките и чертежите на да Винчи и доказват, че скафандрът функционира безупречно.

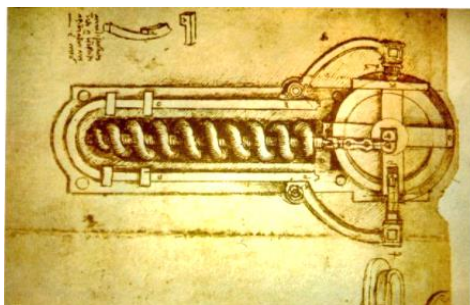
Водолазният костюм на Леонардо всъщност е първообразът на съвременните водолазни апарати.



Фиг. 21

## X. Спусков механизъм на пистолет

Леонардо да Винчи получава приживе известност със своя спусков механизъм за пистолет, което е само едно от многото негови изобретения, изпреварили времето си. Механизмът изобретен в началото на **XVI век** е предизвикал бум в технологиите. В този механизъм липсват фитили и кремъци, използвани към този момент, а се използва въртящо се колело свързано към пружина и наковалня, която предизвиква искра и възпламенява барута (фиг. 22). Концепцията на Леонардо за затвора на пистолет е била толкова перфектна, че е била прилагана до **XIX век**.



Фиг. 22



## XI. Подводница и подводна мина

В записките на Леонардо се откриват и схеми наподобяващи “подводница”, но за съжаление данните са недостатъчни. Анализирайки схемите може да се предположи, че това представлява морски съд, който може да се движи както над водата с помощта на платно, така и под вода – с помощта на весла и човешка сила. На фиг. 23 е представен прототип на подводница, реконструиран по записките на Леонардо.

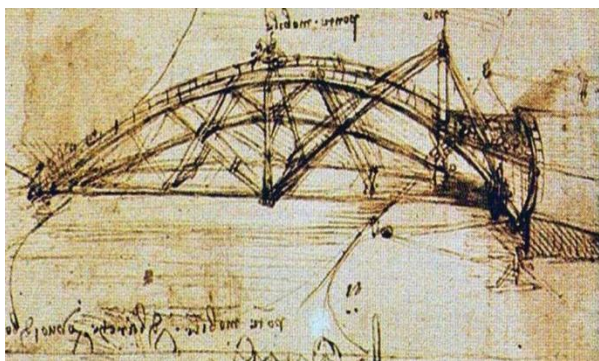


Фиг. 23

Да Винчи проектирал и **подводна мина**, с цел да унищожава кораби на противника. Мините е трябвало да се доставя до корабите от водолази или от подводници, които както вече стана дума са проектирани от Леонардо. Подобни действия са били реализирани за първи път по време на Гражданската война в САЩ през XIX век.

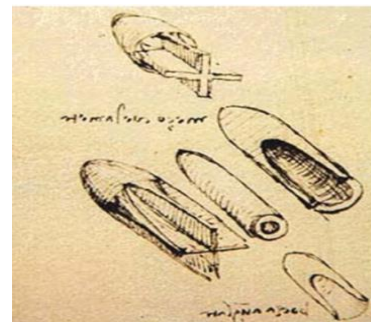
## ХII. Множество други изобретения

Много ценно за времето си изобретение на да Винчи е така нареченият „**въртящ се мост**“ (фиг. 24). Мостът се закрепвал стабилно към единия бряг по дължина, след което целият мост се завъртал като дъга до другия бряг посредством въжета. Този въртящ се мост, изпреварил също времето си, е първообразът на съвременните механизирани (понтонни) мостове.



Фиг. 24. „Въртящ се мост“ - чертижи на Леонардо (ляво) и прототип (дясно)

Още едно изобретение, изпреварило със столетия времето си, са **снарядите**, които се появяват чак през XX век. Първообразът на снарядите са изобретените от Леонардо **аеродинамични гюлета** (фиг. 25), вместо съществуващите по това време сферични. Това изобретение е доказателство и за задълбочените познания на Леонардо в още една научна област - аеродинамика.



Фиг. 25

Всички тези коментирани по-горе изобретение на гениалния Леонардо да Винчи далеч не са всички. В множеството запазени до наши дни записки на Леонардо, за съжаление само 1/5 от тях, се намират чертежи и схеми на още много изобретения. **Такива са например скорострелен гигантски арбалет, парно оръжие – пушка, обсадно оръжие, кораб с двойно дъно, механична стълба, прожектор, както и първата схема за телескоп с две лещи, по-късно известна като зрителна тръба на Кеплер, както и много други.**

### **XIII. Заключение**

Изобретенията на да Винчи наистина са изпреварили времето си. Ако бяха построени по времето на Леонардо да Винчи, най-вероятно биха предизвикали революция в техниката и технологиите. За съжаление почти нито едно от изобретенията на да Винчи не е било конструирано, докато той е бил жив. За радост, записките от неговите тетрадки са достигнали до нас. Това е вдъхновило много поколения инженери да конструират модели на невероятните изобретения на да Винчи.

### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] <https://bg.wikipedia.org>
- [2] <https://it.dir.bg/nauka/india-mars-sonda-mangalian>
- [3] <https://www.google.com>
- [4] <https://mars.nasa.gov>
- [5] <https://blogs.scientificamerican.com>



## **Фундаменталните науки – общо начало и хиляди възможности за развитие**

**Невена Кожухарова, Елена Халова**

Катедра Приложна Физика, ФПМИ, ТУ-София, бул. “Кл. Охридски” №8, София 1000  
e-mail: [nkojuharova@tu-sofia.bg](mailto:nkojuharova@tu-sofia.bg), [ehalova@tu-sofia.bg](mailto:ehalova@tu-sofia.bg)

***Резюме.** Настоящата година е обявена за световна година на фундаменталните науки за устойчиво развитие и е повод в представянето на „Дните на физиката“ да разгледаме основни двигатели за развитие на тези науки, както и възможностите за професионално развитие пред хората, на които предстои този избор .*

**Ключови думи:** Световна година на фундаменталните науки за устойчиво развитие, природни науки и връзки между тях, възможности за професионално развитие

### **1. Увод**

Развитието на науките и развитието на обществото са неразривно свързани. Една от най-важните задачи, на която и да е наука, е да подпомага цялостното развитие на човечеството. Животът в наши дни е немислим без използването на всички досегашни открития на различните науки. Те много улесняват ежедневието ни, довели са до значителни улеснения и са повишили продължителността на живота и неговото качество. Развитието на човечеството не е спряло, а това от своя страна означава и продължаване на развитието на науките. В сегашния етап на развитие специалистите дори от една и съща фундаментална наука имат различни компетентности и са се специализирали в много тясна област. Това е свързано и с огромната информация, натрупана до момента, по дадена тема, както и това, че в 21 век даден човек да има енциклопедични знания във всяка област е невъзможно. От друга страна е страшно много улеснен достъпът до информация и понастоящем по-същественото е да съумее всеки да я използва рационално, а за това се изисква немалка подготовка.

### **2. Физиката като фундаментална наука и избор на кариера**

#### *Основни етапи в развитието на физиката*

Развитието на физиката започва още през древността, така както и на много други фундаментални науки или както най-често казваме тя е една от най-древните науки. Физиката като наука, такава каквато я познаваме днес започва да се развива през Възраждането. Периодът 17-19 век е свързан с развитието на експериментални методики, които обхващат все по-голям кръг от явления в

природата и освен това започват да се усъвършенстват. Това е и основен период на развитие на теоретичните модели на *класическата физика* - особено в областта на механиката. Това развитие съвсем не е равномерно, след периоди на бурно развитие следват периоди на „затишие“ (например 18 век не се характеризира със сериозни открития или принципно нови теории). Това е естествено – има необходимост от време за осъзнаване на получените резултати, но и време за натрупване на нови данни, които да станат основа за следващи открития. Класическата физика е основната част, разглеждана от курсовете по физика в средните училища и заема голямо място и в университетските курсове. Това е така, тъй като тя има много и съществени резултати, влияещи във всекидневния живот от една страна, а от друга е важна за разбирането на идеите, възприети днес не само в тази, а и в много други науки. Основните развити теории в класическата физика са в областта на механиката, термодинамиката и статистическата физика, електромагнетизма и оптиката. Развитие на тези области продължава, разбира се, и през следващия в исторически план етап на съвременната физика.

*Съвременната физика* започва развитието си в края на 19 и началото на 20 век с квантовата теория. Тя трябва да обясни експерименталните факти от излъчването и поглъщането на светлината (при фотоефекта). Тази теория не е желана, нито търсена от физиците и развитието ѝ се определя от факта, че добре развитата през 19-ти век класическа физика – механика, термодинамика, електродинамика – се оказва безсилна да намери обяснение на няколко проблема, които лорд Келвин нарича „облачета“ в теоретичната физика. Решителна крачка във възприемането на квантовата физика прави Айнщайн през 1905 год. с обяснението на фотоефекта, основано на същата хипотеза. Светлината не само се излъчва на кванти, тя се и поглъща на порции със същата енергия  $h\nu$  и енергията на един светлинен квант, наречен фотон, се предава на един електрон от метала. Никога не се излъчват нито поглъщат части от кванта, само цели кванти! Трябва да се отбележи, че последващото развитие на оптиката показва, че могат да се поглъщат едновременно няколко кванта, но не и части от фотона. За Айнщайн фотонът е и необходимост, за да обясни законите при фотоефекта, но и реална частица със своя енергия и импулс. Именно тази реалност, проявена при поглъщане и излъчване на фотона, въвежда във физиката квантите. Те се оказват много по-всеобхватни като прояви на елементарните частици, отколкото са си представлявали Планк и Айнщайн.

През първата половина на 20 век се развива и учението за веществото и най-вече – за кондензираната материя и плазмата. В заобикалящия ни свят на Земята, освен въздухът, който е газ, материята съществува като кондензирана материя (метали, течности, биологични среди, полупроводници, геофизични среди). Поради тяхната важност за хората тези среди са изследвани феминологично (като явления) още от древността и до 19 век. Но моделът на кондензираните среди се развива от началото на 20 век с откриването на

рентгеноструктурния анализ. Законите на квантовата механика обикновено се счита, че са в сила само за микросвета, но и за плътно подредените частици в кондензираните среди, за да се обяснят и разберат и точно опишат явления като например свръхпроводимостта. Моделът на кондензираната материя се използва както за обяснение на структурата на естествени и синтезирани кондензирани среди, така и за проектиране и създаване на материали с необходимите ни качества.

Двадесети век е трудно време в историята със своите две световни войни, фашизъм, неуспешният опит за реален социализъм в много страни по света, но от друга страна имаше и непредсказуемо развитие на техниката и икономиката, повишило качеството на живот на много голям процент от населението на Земята, все положителни черти в човешкото развитие. Няма как да не отбележим стъпването на човек на Луната, както и всички останали постижения на астронавтиката, създаването и невероятното развитие на компютрите и още много, много други. Но една от основните характеристики на този век си остава – „век на физиката“. Тя като фундаментална наука коренно променя битието на хората в началото и в края само на едно столетие. Силното развитие на експерименталните възможности във физиката е причина за тяхното използване в много други природни и технически науки. Има и негативни ефекти от това развитие, но ще отбележим само един от тях – много от държавите ограничиха финансирането на фундаментални изследвания и насочиха прагматично средства в области с непосредствени ефекти в социалната сфера. Физиката като бъдеща кариера, както и другите фундаментални науки, не е вече толкова привлекателна, без изгледи за бърз личен финансов възход, изискваща постоянство и непрекъснати усилия.

### **3. Причини и стимули за развитие на науката, и по-специално физиката**

Причините за развитие на физиката като една от фундаменталните науки още от древността са няколко и биха могли да се групират в следните основни направления, които не са подредени нито по важност, нито хронологично (вероятно последната причина е първа по хронология):

- а) Енергетика
- б) Комуникации
- в) Технологии, вкл. информационни
- г) Метеорология (предсказване на времето)
- д) Транспорт
- е) Средства за воюване.

От самото начало на своето съществуване човечеството е имало необходимост от различни видове енергия – за отопление, осветление, както и за останалите си дейности, свързани с първичната преработка на суровините в материали за изработване на простите уреди на труда, но постепенно и за

своите придвижвания по земя и вода. Разбира се след средата на 18 век с индустриализацията, необходимостта от енергия нараства значително. Може би най-голямо увеличение има след като започва използването на електрическият ток в промишлеността и бита в края на 19 и началото на 20 век. Такава необходимост през различните периоди на историята води до много научни открития в различните фундаментални науки, но може би най-вече във физиката. Една част от откритията са намерили своето приложение почти веднага, а други, за които днес казваме че са изпревалили времето си, са намерили своето приложение чак след десетилетия.

Комуникациите от различен характер също са един от основните движещи фактори за развитие на науката. Във времето, в което живеем, е трудно да си представим не само бавна комуникация, а дори липсата на такава. Преди не чак толкова много време в исторически план – няма век, общуването между отделните личности на големи разстояния е отнемало дни и даже седмици, а днес е мигновено. Това се отнася и за информацията за събития на по-големи разстояния от мястото където живее дадена общност. Развитието на комуникациите е с огромни размери през последния век.

Предсказването на метеорологичното време също е от голяма важност за хората. То е свързано с много елементи от ежедневието им, с възможност да се запази живота им или да се предпази продукцията и най-образно казано храната им, както и с транспорта, не на последно място. Развитието на фундаменталните науки в последните десетилетия доведе до развитието на множество технологии за обмяната и съхранението на големи бази данни от информация, а това от своя страна е стимул и предпоставка за развитие и на метеорологията, и на транспорта.

Както споменахме в началото последната от изброените причини за развитие на науката е една от първите в хронологично отношение, а именно – средствата за воюване. В по-предишни етапи от историческото развитие те са способствали на дадена група или общност да запази и отбранява своите територии, местообитания. С напредване на развитието на технологиите по-добре развитите в страни и общности в тази сфера са имали съществени преимущества и са една от причините за отсъствие на война, което от своя страна способства и икономическото развитие и възход на даденото общество. Не може да не отбележим, че в последните десетилетия една част от откритията във военната сфера са намерили своето приложение и в „цивилния“ живот като има много примери, които могат да дадат повечето хора, не само учените.

Основен движещ фактор през цялата история на развитие на физиката е било и е *любопитството на човека за мястото му на Земята и във Вселената*. То е било съпроводено и с много изпитания и с много радости, а в някои широкоизвестни случаи – са коствали човешки животи. Такива повратности са познати не само във физиката, а и в други природни науки. Създаването на нови революционни идеи и раждането на нови теории е съпроводено с много драми. Но историята на физиката показва, че след създаването на квантовата

механика учените по-лесно възприемат новите факти и все повече и повече се стремят да обяснят на голям кръг от хора идеите и теориите, тъй като на съвременния етап е най-важно да се разбере обществената полза, а тя е свързана и със средствата за научни изследвания. Те зависят не от малката група учени, а от политически решения.

#### **4. Системата на съвременната физика**

Системата на физиката се дели на два основни „раздела“ – експериментална и теоретична (или както понякога се казва – физиката има две лица). Първата част е обърната към изследването на заобикалящия ни свят с неговите закони и връзки. Втората част е за развитието на идеите и теоретичните модели във физиката. Двете части са неразривно свързани – всяка теория е свързана с реалността и не може да съществува без нея. Всяко научно търсене започва с наблюдения и експерименти и търсене на закони, които ги описват, а после се използват за изграждане на по-цялостен модел и създаването на самостоятелна теория. Още от своето начало като съвременна наука физиката се опира на експеримента. Има примери за експериментални модели, които не са намерили свой аналог в света на идеите и по този начин са останали без особено развитие. Развитието на теоретичните модели от друга страна следва свой независим път. Понякога създаден теоретичен модел предсказва нови резултати и дори нови явления. Типичен пример за това е предсказването на електромагнитните вълни в теорията на Максвел, наблюдавани по-късно за пръв път експериментално от Херц. За всеки учен е важно да се търси съответствие между експеримента и теоретичния модел.

Основните клонове на развитие на физиката в настоящето могат да се групират по следния начин: 1. атомна и ядрена физика; 2. астрофизика, космология; 3. физика на веществото, която включва газове, физика на кондензираната материя, плазма; 4. оптика и лазери; 5. Метеорология; 6. Геофизика; 7. Електроника; 8. Биофизика и още много други клонове. Всяко едно от тези направления е важно за развитието на човечеството. За някои от клоновете е валидно, че получените резултати ще имат бърз ефект за повишаване качеството на живот. Това са открития, свързани с възобновяемата енергия, нови материали, още по-дълбоко разбиране и изучаване на биологични обекти, принципно нови начини за съхранение и обработка на различна информация и много други. Една друга част от тях са особено важни за запазване на Земята като „зелена“ планета с подходящи условия за живот и също имат приложен характер. Те тласкат както развитието на биоенергетиката, така и увеличаване продължителността на живота на населението на Земята. Има и една трета част от изследванията, които се отнасят до знания от фундаментален характер без пряко значение за настоящото икономическо развитие и непосредствено отражение върху живота ни, но които ще ни позволят да се „разкрие“ пълната картина на света, в който живеем като

например изследванията в областта на космологията и развитието на Вселената. Всеки един от етапите на развитие на физиката служи като нов хоризонт на човешките възможности и познание.

## 5. Физиката като кариера, професии за физици

Кариерата на физик през втората половина на 20 век беше доста привлекателна. Това бе обусловено от няколко фактора – бурно развитие на науката и възможности за изява в различните направления от една страна, а от друга, която е по-скоро политическа причина и бе обусловена от Студената война и разделения на две части свят – многото отпускани финансови средства от правителствата на различните държави. Такава кариера в страни като България по това време не обещава финансово благосъстояние, но за голямата част от физиците е носила друго удовлетворение.

В настоящето картината изглежда значително по-добре по много причини. В глобализирания свят много по-лесно и бързо има обмяна на информация и идеи. Има и много повече възможности за работа в международни екипи с изтъкнати учени и значително по-добри възможности за финансиране. Не трябва да се забравя, че през 21 век е невъзможно развитието на експерименталната наука без това.

Нека само схематично изброим само малка част от възможностите за това, а именно международни центрове за научни изследвания:

- А) ЦЕРН
  - Б) Европейска Космическа Агенция
  - В) Европейска Южна Обсерватория
  - Г) Европейска Лаборатория по Молекулярна Биология
  - Д) Европейски Център за Термодрен Синтез
  - Е) Европейска Лаборатория за Синхротронно Лъчение
  - Ж) Институт „Лауе – Ланжвен“
- З) Проект за Екстремни Източници на Светлина.

В България също има много добри възможности за професионална реализация, като някои институти на БАН, университети, училища, ЯЕЦ, метеорологични и сеизмологични статции, медицински лаборатории и др. Трябва да отбележим, че има много групи учени в различни направления на физиката, които са „силни“ теоретични изследователски колективи.

Много възможности за реализация има и в области като екологията, които са интердисциплинарни. Това е и една причина да са не толкова предпочитани.

Не на последно място трябва да се отбележи, че могат да се намерят и немалко примери за физици, намерили своята професионална реализация в други области. Такива примери (включително и за българи) има в областта на енергетиката, във финансовата област и банковото дело, в много инженерни направления, което е естествено поради силната връзка с физиката. Своето призвание и професионална реализация много физици намират и в медицината.

## **6. Заключение**

Вместо заключение ще цитираме думите: „Физиката е широка и пространна наука и, за да я напише човек всичката, трябва много да знае и пак много да се труди”. С тези думи започва първият учебник по физика на български език, написан от Найдено Геров през 1849 год. Изводите, които можем да направим са два основни. На първо място успешната реализация на един физик изисква немалка подготовка (една обширна наука не може да се овладее лесно). На второ място се изисква полагането на систематични усилия през цялото време на развитие. Но затова пък удовлетворението си заслужава.

## НЕИЗВЕСТНИЯТ ДЖЕЙМС МАКСУЕЛ

Сашка Александрова

Катедра Приложна Физика, ФПМИ, ТУ-София, бул. "Кл. Охридски" №8, София 1000  
e-mail: [salex@tu-sofia.bg](mailto:salex@tu-sofia.bg)

***Резюме.** Джеймс Кларк Максвел е един от най-влиятелните учени на деветнадесети век. Допитване го поставя на трето място сред най-великите физици на всички времена след Нютон и Айнщайн, но е почти непознат извън професионалните среди. Основната причина е, че много от идеите му са изпреварили времето си. Неговите теоретични работи върху електромагнетизма и светлината до голяма степен определят посоката, която поема физиката през ХХ век. Той конструира едно от първите „цветни колела“ и прави първата в света демонстрация на цветна фотография на принципа на трицветен анализ и синтез. Максвел пише поезия често по научни теми. Занимава се и с популяризация на физиката.*

**Ключови думи:** Джеймс Максвел, електромагнитна теория, цветна фотография, поезия.

### 1. Увод

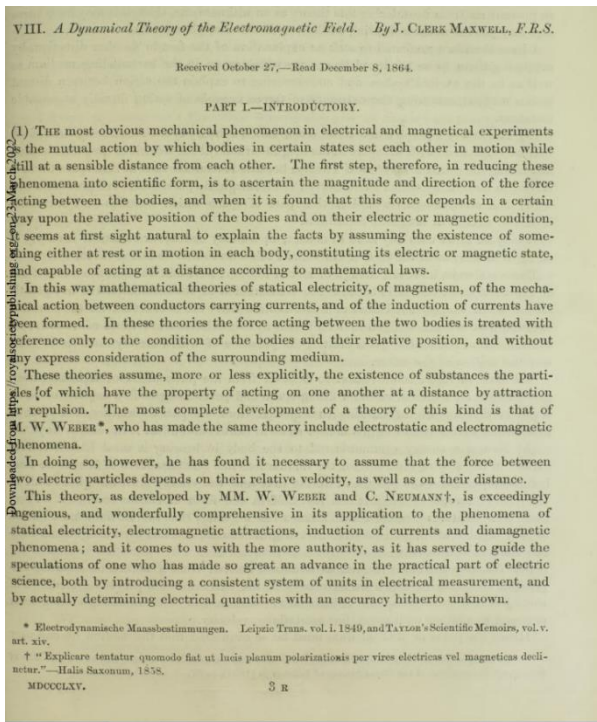
Джеймс Кларк Максвел е шотландски учен и ерудит. През 2021 г. се навършиха 190 г. от рождението му. Живял и творил през втората половина на ХІХ в., той определя облика на класическата физика и влиянието му се простира далеч напред във времето. Невероятната дълбочина на неговите изследвания и обхватът на неговото влияние са наистина забележителни. Възниква въпросът защо остава неизвестен за широката публика. Могат да се очертаят различни причини, но може би основната е, че много от идеите му са силно изпреварили времето си. Това най-добре се илюстрира от неговата електромагнитна теория. В настоящата статия ще се спрем и на някои други негови идеи и резултат, които показват невероятния гений на един учен, оставил следи в много области на физиката и които наистина представляват забележителни постижения.

### 2. Електромагнитна теория

Джеймс Максвел обединява три големи области на физиката: електричество, магнетизъм и оптика. Така осъществява второто голямо обединение, след като Нютон синтезира различните науки за земното и планетарното движение. Израз на това обединение са система от уравнения, които обхващат всички случаи, в които електрични токове и променящи се магнитни полета генерират други електрични и магнитни полета и така се превръщат в крайъгълния камък в електродинамиката.



Основната му работа “Динамична теория на електромагнитното поле“, която Максвел публикува през 1865 г. На фиг.1 е показана заглавната страница на



Фиг. 1. Заглавната страница на труда на Максвел от 1865 г.

този обемист трактат, който се състои от 7 части. В тази статия Максвел синтезира резултатите от предишни свои статии, в които е разработил математично описание на опитите на Фарадей. Пълната система уравнения, формулирана в тази работа, е дадена на фиг. 2. Максвел я представя под формата на 20 взаимосвързани уравнения, които съдържат 20 променливи. Тези уравнения той въвежда в съответствие с познанията от механиката на флуидите.

Няколко години по-късно Оливър Хевисайд (Oliver Heaviside) и Уилям Гибс (William Gibbs) трансформират системата до 4 уравнения в най-често използвания понастоящем векторен запис. В този вид те и досега все още се преподават на учени и инженери.

$e + \frac{df}{dx} + \frac{dg}{dy} + \frac{dh}{dz} = 0$	(1) Закон на Гаус
$\begin{aligned} \mu\alpha &= \frac{dH}{dy} - \frac{dG}{dz} \\ \mu\beta &= \frac{dF}{dz} - \frac{dH}{dx} \\ \mu\gamma &= \frac{dG}{dx} - \frac{dF}{dy} \end{aligned}$	(2) Закон на Гаус за магнитното поле
$\begin{aligned} P &= \mu \left( \gamma \frac{dy}{dt} - \beta \frac{dz}{dt} \right) - \frac{dF}{dt} - \frac{d\Psi}{dx} \\ Q &= \mu \left( \alpha \frac{dz}{dt} - \gamma \frac{dx}{dt} \right) - \frac{dG}{dt} - \frac{d\Psi}{dy} \\ R &= \mu \left( \beta \frac{dx}{dt} - \alpha \frac{dy}{dt} \right) - \frac{dH}{dt} - \frac{d\Psi}{dz} \end{aligned}$	(3) Закон на Фарадей (силата на Лоренц и закона на Поасон)
$\begin{aligned} \frac{d\gamma}{dy} - \frac{d\beta}{dz} &= 4\pi p' & p' &= p + \frac{df}{dt} \\ \frac{d\alpha}{dz} - \frac{d\gamma}{dx} &= 4\pi q' & q' &= q + \frac{dg}{dt} \\ \frac{d\beta}{dx} - \frac{d\alpha}{dy} &= 4\pi r' & r' &= r + \frac{dh}{dt} \end{aligned}$	(4) Закон на Ампер-Максвел
$P = -\xi p \quad Q = -\xi q \quad R = -\xi r$	Закон на Ом
$P = kf \quad Q = kg \quad R = kh$	Материални уравнения
$\frac{de}{dt} + \frac{dp}{dx} + \frac{dq}{dy} + \frac{dr}{dz} = 0$	

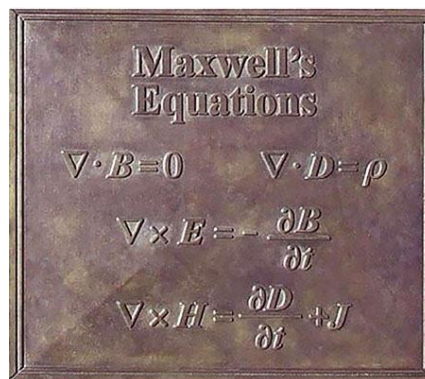
Фиг. 2. Уравненията на Максвел в оригиналния запис.

Съответствието на съвременните и оригиналните променливи е както следва:  $E \leftrightarrow (P, Q, R)$ ;  $D \leftrightarrow (f, g, h)$ ;  $H \leftrightarrow (\alpha, \beta, \gamma)$ ;  $V \leftrightarrow \mu(\alpha, \beta, \gamma)$ ;  $J \leftrightarrow (p, q, r)$ ;  $\rho \leftrightarrow e$ ;  $\Psi$  е електричният потенциал;  $(F, G, H)$  е магнитният потенциал. Оригиналният набор от уравнения включва закона на Ом, силата на Лоренц и уравнението за непрекъснатост за заряда.

Понастоящем няма физик, който да не познава уравненията на Максвел в съвременната им форма. Много физици ги определят като най-красивите уравнения в историята на науката. На фиг. 3б те са показани, както са изобразени на бронзов плакет до паметника на Максвел в Единбург.



(a)



(б)

**Фиг. 3.** Паметник на Джеймс Кларк Максвел в Единбург (а). Уравненията на Максвел в съвременната им форма, изобразени на бронзов плакет, вграден в основата на паметника (б).

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:James\\_Clerk\\_Maxwell\\_statue\\_in\\_George\\_Street,\\_Edinburgh.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:James_Clerk_Maxwell_statue_in_George_Street,_Edinburgh.jpg)

Максуел изпраща статията си на Майкъл Фарадей, която представлява обобщение на неговите експериментални резултати. Ето отговорът на Фарадей: „Уважаеми господине, получих вашата статия и съм ви много благодарен за нея... Тази работа не само ми е приятна, но и ми дава стимул за по-нататъшно размишление. Първоначално се уплаших, когато видях каква мощна сила на математиката е приложена към предмета, а след това се изненадах колко добре предметът го издържа ...“.

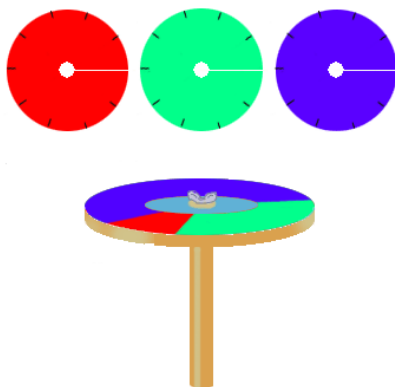
Векторният запис на уравненията не е лесно приет. По това време много учени, включително самият Максвел, са били убедени, че правилният запис за електродинамиката трябва да е с кватерниони (обобщение на комплексните числа за тримерен анализ), а не с вектори. Един век по-късно Айнщайн въвежда специалната теория на относителността и оттогава е обичайно да се записват уравненията на Максвел с четири вектора. Следващите поколения вече израстват с уравненията на Максвел и се чувстват уютно в една вселена, изградена от полета.

През 70-те години на XIX-ти век електромагнитна теория на Максвел среща слаба подкрепа във Великобритания извън малка група в Кеймбридж. Това е такъв нов тип теория, че повечето хора са просто объркани. Дори тези, които могат да следват цялата математика, не вярват на теорията, защото тя не се свежда до механични обяснения. Сред тях е и приятелят на Максвел, Уилям

Томсън (лорд Келвин), който е най-влиятелният физик във Великобритания по това време. Теорията е приета на сериозно от Херман Хелмхолц от Университета в Берлин. Неговият знаменит ученик Хайнрих Херц, професор в Университета в Карлсруе, поема предизвикателството и 8 години след смъртта на Максвел два блестящо доказателство на теорията чрез откриването на електромагнитните вълни.

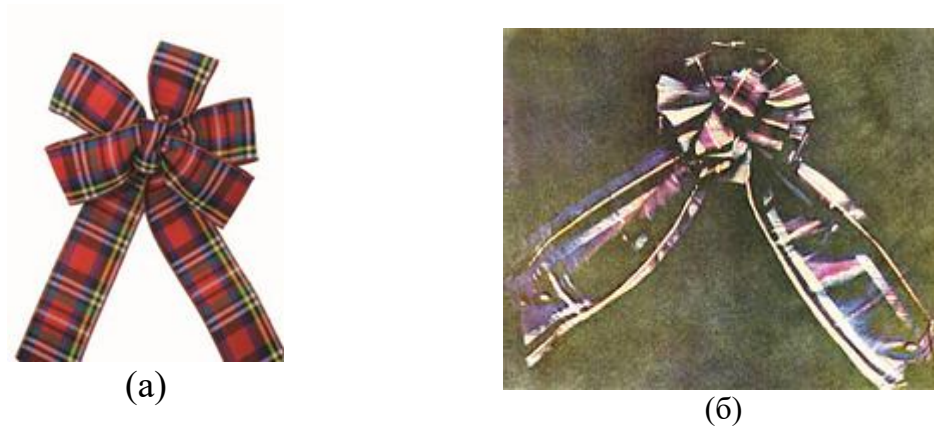
### 3. Максвел - изобретател на цветната фотография

Максуел прави експерименти по теория на цветовете и изобретява цветен диск, който е известен като „диска на Максвел“ – диск, монтиран върху пумпал, върху който са нанесени слоеве с различни бои. При въртенето му се наблюдават различни цветови комбинации: червен и жълт образуват в оранжев, синьото и жълтото се сливат в зелено, а при смесването на всички основни цветове от спектъра повърхността на диска на въртящия се пумпал се превръща в бяла.



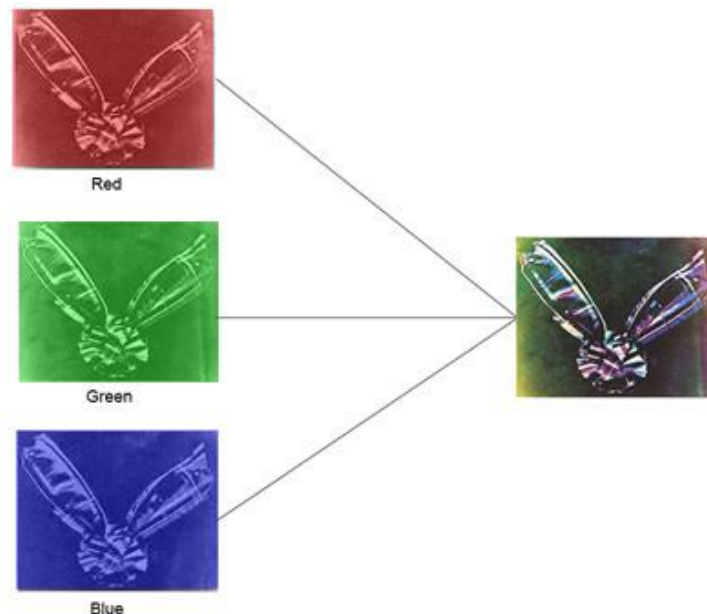
Фиг. 4. Цветният диск на Максвел

Максуел се счита за изобретател на цветната фотография. През 1861 г. той е поканен да изнесе лекция като нов член на Кралската академия. Темата е „Относно теорията на трите цвята“. Максвел иска да демонстрира пред публиката, че всъщност всички цветове могат да бъдат получени по подходящ начин чрез смес от червена, зелена и синя светлина. Това може да стане с помощта на цветния диск, но е неподходящо за показване пред голяма аудитория. По това време черно-бяла фотография може да бъде прожектирана на голям екран. Ако се направи цветна снимка, тя ще може да бъде показана по този начин. Максвел осъществява идеята си с помощта на професионалния фотограф Томас Сътън. Той заснема характерна многоцветна шотландска лента с ярки цветове, като тази на фиг. 5а, поставена върху черно кадифе. Прави три отделни черно-бели снимки, една през син, една през зелен и една през червен филтър.



**Фиг. 5.** Многоцветна лента (а), първата цветна фотография на Максвел (б)

С помощта на три проектора, оборудвани с подобни филтри, трите изображения са прожектирани, насложени върху екран.



**Фиг. 6.** Снимки през цветни филтри

Получава се цветното изображение, показано на фиг. 5б, което е представлявало разпознаваемо възпроизвеждане на оригинала. Многобройната публика е очарована.

Тези експерименти на Максвел демонстрират ясно основните принципи на цветната фотография. Това всъщност представлява изобретяването на адитивната техника за трицветен синтез – възпроизвеждане на цветовете в резултат на оптично смесване на основните цветове (червено, зелено и синьо – R, G, B), която се използва се при създаване на цветни изображения в печата, телевизионните екрани и мониторите.

#### 4. Максвел – преподавателят-експериментатор

Максуел преподава физика дълги години в Тринити Колидж в Кеймбридж, Кралския колеж в Лондон и Университета в Абърдин. Той става първият професор по експериментална физика в Кеймбриджския университет. Под негово ръководство и с финансовата помощ на херцога на Девъншър, е създадена прочутата научноизследователска Кавендишка лаборатория в Кеймбридж. Максвел е автор на проекта, контролира всеки етап при строежа на сградата и се занимава с оборудването на лабораторията с колекция от апарати. При откриването на Лабораторията Максвел произнася реч, в която формулира концепцията си за развитието ѝ. Идеята му е, че всеки завършил студент може да започне изследване след кратък курс на обучение по измерване. Студентите тогава са имали много добро ниво по математика, но малък или никакъв опит в научните измервания. Максвел проектира и разработва различни експерименти за провеждане на обучението.

По това време в европейските университети почти няма лаборатории и се преподава „тебеширена физика“. Според Максвел при провеждане на обучението трябва да се започне в лекционната зала с курс от лекции в някакъв клон от физиката, съпроводени от експерименти за илюстрация, и да завърши в лабораторията с курс на изследователски експерименти. Така Максвел определя, че новата лаборатория трябва да бъде място за оригинални изследвания, както и за преподаване. Едно от първите действия на Максвел като професор е да назначи демонстратор за лабораторията. Това е негов много добър студент от предишната година, който остава на тази позиция до напускането на Максвел.

Изпитът на студентите е имал и практическа част. Отначало е трябвало да дадат теоретично описание, например определяне на фокусното разстояние на леща, периода на трептене на магнит или електричното съпротивление на жица, след което да обяснят частите на апаратурата и да проведат експеримент.

Представата за Максвел като физик-теоретик не съответства на истината. Максвел е талантлив експериментатор и изобретател. Занимава се сериозно с лабораторни изследвания. Съпругата му Катрин Дюър е негов постоянен помощник при провеждането на различни експерименти.

Максуел подкрепя всяка експериментална инициатива. Той казва: *„Никога не се опитвам да разубедея някого да опита експеримент; ако не открие това, което търси, може да намери нещо друго“*.

Кавендишката лаборатория, която той проектира и стартира, става мястото на много открития, включително на електрона и структурата на ДНК. Без особено преувеличение може да се каже, че ако проследим всички пътища на съвременните физически изследвания до началната им точка, ще се окажем именно пред Максвел.



## 5. Максвел – поетът

Още по-малко известен е Максвел като поет. Той не само се интересува от поезия. Сам съчинява поеми по всякакъв повод с хумор и лека ирония – преподаватели са написали учебник, студент е изпълнил труден експеримент, колега е получил портрет от известен художник. Стиховете му винаги имат физичен подтекст. Ето една кратка поема в оригиналния ѝ вид и в доста свободен превод на български език на тема за молекулното движение:

### Molecular Evolution

At quite uncertain times and places,  
The atoms left their heavenly path,  
And by fortuitous embraces,  
Engendered all that being hath.

And though they seem to cling together,  
And form "associations" here,  
Yet, soon or late, they burst their tether,  
And through the depths of space career.

Стиховете му винаги имат физичен подтекст. Дори пародира известната поема на Робърт Бърнс „Comin' Through the Rye”, за да опише движението на идеално твърдо тяло.

### Comin' thro' the rye

Gin a body meet a body  
Comin' thro' the rye  
Gin a body kiss a body  
Need a body cry?

Gin a body meet a body  
Comin thro' the rye,  
Gin a body kiss a body,  
Need a body cry?

Тук са представени двете поеми на Робърт Бърнс и на Джеймс Максвел без превод, само с пояснение на някои диалектни английски думи като gin=if, ilka=every, ane=one, hae=have и a' = all.

## 6. Максвел – интересни факти

През 1868 г. Максвел публикува поредната статия за електромагнетизма.

След като се е запознал с „Елементарен трактат за кватерниони “ на Питър Тейт, негов съученик, колега и приятел, той решава да приложи кватернионния

### Играта на молекулите

Незнайно кога, незнайно къде  
атомите напуснаха своя небесен път.  
Прегръщаха се по волята на случая  
и така възникна всичко.

Макар че вкопчени изглеждаха  
да се държат в здрава връзка,  
откъсваха се атомите рано или късно,  
отлитайки в космическата шир.

### Песента на твърдото тяло

Gin a body meet a body  
Flyin' through the air  
Gin a body hit a body,  
Will it fly? And where?

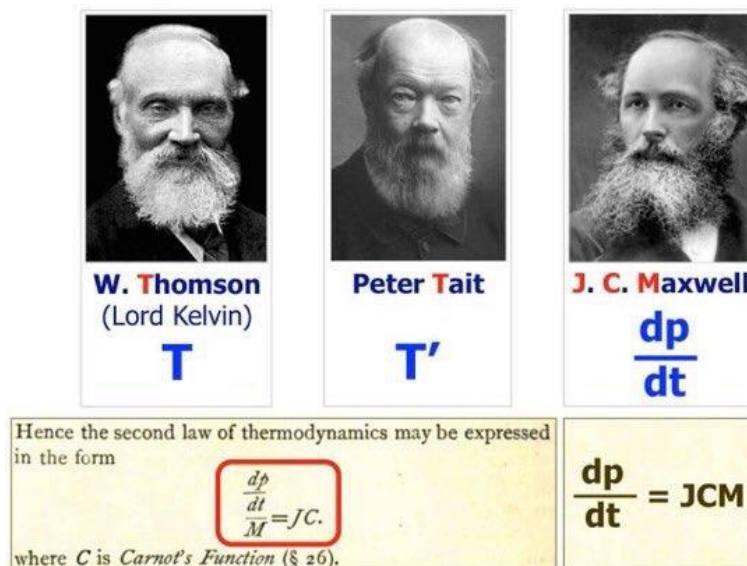
Ilka impact has its measure,  
Ne'er a ane hae I,  
Yet a' the lads they measure me,  
Or, at least, they try.



**Фиг. 7.** Древната арфа, която дава името на Хамилтоновия оператор

запис към многобройните математически съотношения в своята теория, с което значително опростява представянето на резултатите си като прави възможно съкращаването и изясняването на обозначенията. Един от най-полезните инструменти е хамилтоновият оператор набла  $\nabla$ . Това име е предложено от Уилям Робъртсън Смит, приятел на Максвел, заради формата на този символ, наподобяваща древна финикийска арфа, която древните гърци наричат набла. Максвел написва хумористична ода на „Главният играч на Набла (*Chief Musician upon Nabla*)“, посветена на Питър Тейт. Успехът на това стихотворение осигурява установяването на новия термин за научна употреба.

Максуел поддържа активна кореспонденция Уилям Томсън (лорд Келвин) и Питър Тейт чрез пощенски картички, като често ги подписва с производната  $dp/dt$ . По същия начин подписва и остроумните си стихове на научни теми, които публикува в *Nature*. Псевдонима си той дължи на Тейт. През 1867 г. Томпсън и Тейт издават „Трактатът по естествена философия“, замислен като учебник за студентите. Трактатът става широко известен като **T & T'** и Томпсън и Тейт използват тези съкращения в обширната си кореспонденция. Една от формулите в трактата е  $dp/dt=JCM$  (Фиг. 8). Тъй като дясната страна съвпада с инициалите на Максвел – *James Clerk Maxwell*, той започва да използва  $dp/dt$  като подпис.



**Фиг. 8.** Подписите на Уилям Томсън (лорд Келвин) и Питър Тейт и Джеймс Кларк Максвел

Максуел е и популяризатор на физиката. Пише редица статии за *Encyclopædia Britannica* и популярни книги като „Теорията на топлината“ (1871), „Материя и движение“ (1873), „Електричеството в елементарно представяне“ (1881). „Материя и движение“ е пример за книга, предназначена за студентите, в която са изложени основите на динамиката. Написана просто без специализиран език и може да бъде използвана от всеки, който има сравнително добри познания по математика от гимназията, без прекалено опростяване, като от читателя се изисква да мисли. Целта е истинско разбиране, а не просто помагало, за да се издържи изпит.

Максуел вижда далеч напред в бъдещето. Той прави следното забележително изявление.

*„Ако състоянието на нещата е такова, че безкрайно малко изменение в даден момент, ще доведе само до безкрайно малко изменение в някакъв бъдещ момент, състоянието на системата, независимо дали се намира в покой или в движение, се смята, че е стабилно. Когато обаче безкрайно малко изменение в сегашното състояние може да доведе до крайна разлика в състоянието на системата за крайно време казваме, че състоянието на системата е нестабилно. Очевидно е, че съществуването на нестабилни условия прави невъзможно прогнозирането на бъдещи събития, ако нашите познания за сегашното състояние не са точни, а са само приблизителни“.*

Така той се явява предвестник на теорията на хаоса, която ще чака още 100 години, преди да бъде развита.

Работите на Максвел довеждат до революция във физиката, която Айнщайн определя по следния начин: *„От времето на Максвел физическата реалност се разглежда като представена от непрекъснати полета, управлявани от частни диференциални уравнения, без необходимост от никаква механична интерпретация“.* Следващите поколения вече израстват с уравненията на Максвел и се чувстват уютно в една вселена, изградена от полета.

По време на живота си Максвел демонстрира изключителна способност да мисли широко и задълбочено върху научните въпроси и да ги излага добре. Една от целите, които си поставя в основният си труд „Динамична теория на електромагнитното поле“ е да представи прогнози от теорията, които могат да бъдат предпоставка за бъдещи иновативни експерименти, простиращи се отвъд известните тогава.

Въпреки това електромагнитната теория на Максвел е до голяма степен игнорирана в продължение на двадесет години. Основната причина за това е неговата скромност. Резултатите си той представя на лекция за конкурентна теория за електромагнитните явления, а идеите си просто добавя, като казва „Аз предпочитам една друга теория“. Максвел дори не обявява, че това е негова собствена теория. Освен това теорията му е много трудна за разбиране, което се усложнява допълнително от липсата на експериментално потвърждение. Физиките намират математиката за твърде объркваща, а математиците се борят



с физическия език, използван при обясненията. Минават десетилетия, докато постиженията му биват оценени.

Дори днес влиятелен сайт (<https://www.technology.news/>) публикува статия със заглавие „Кой е Джеймс Кларк Максвел? Най-великият физик, за когото вероятно никога не сте чували“.

Физиците от света на физиката са добре запознати с електромагнитната теория на Максвел, но повечето хора, когато включат цветните си телевизори или използват мобилните си телефони, е едва ли могат да осъзнаят, че благодарение на него подобна технология стана възможна.

## 7. Заключение

Многообразната дейност на Джеймс Максвел през целия му живот го разкрива като талантлив, гъвкав, ангажиран учен, чиято работа е забележителна не само с чисто научното си майсторство, но и с широтата на хоризонта и упоритостта. Поставянето на основите на електромагнетизма се оценява днес не само като най-голямото му постижение. Максвел има приноси в много други области на физиката. В настоящата статия представихме някои от тях.

Според Ричард Файнман „От гледна точка на историята на човечеството в дългосрочен план, да кажем след десет хиляди години, не може да има съмнение, че откриването от Максвел на законите на електродинамиката ще бъде оценено като най-значимото събитие на XIX век“.

Джеймс Максвел може най-добре да бъде определен чрез заглавието на една биография за него от 2003 г.: „Човекът, който промени всичко“.

Още за живота и творчеството на Джеймс Максвел можете да прочетете на страницата на списанието „Светът на физиката“ от 2003 г., рубрика „четиво с продължение“, „Martin Goldman, The demon in the aether: the story of James Clerk Maxwell“, както и в брой 1 на Списанието от тази година.

## ЛИТЕРАТУРА

James Clerk Maxwell, „A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field“, Royal Society Transactions **155**, 459, 1865.

[William Thomson](#), [Peter Guthrie Tait](#), „Treatise on Natural Philosophy“, [Oxford University Press](#), 1867.

[https://de.wikipedia.org/wiki/Geschichte\\_der\\_Physik#Klassische\\_Physik](https://de.wikipedia.org/wiki/Geschichte_der_Physik#Klassische_Physik)

<https://www.lindahall.org/james-clerk-maxwell/>

M. Longair, Phil. Trans. R. Soc., **A 373**, 20140473, 2015.

R. Flood, J. Phys.: Conf. Ser., **158**, 012001, 2009.

R. M. Evans, The Journal of Photographic Science, **9**, 243 1961.

William H. Cropper, American Journal of Physics, **55**, 120, 1987.

B. Mahon, „The Man who Changed Everything, The Life of James Clerk Maxwell“, John Wiley & Sons Ltd, 2003.

## ПРОМЕНЛИВ ИЛИ ПОСТОЯНЕН ТОК. БИТКАТА МЕЖДУ „WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION“ И „GENERAL ELECTRIC“

**Румен Г. Кобиларов**

Катедра Приложна Физика, ФПМИ, ТУ-София, бул. “Кл. Охридски” №8, София 1000  
e-mail: [rkobi@tu-sofia.bg](mailto:rkobi@tu-sofia.bg)

***Резюме.** В настоящата работа е представена накратко историята на началото на използването на променливия ток в бита и индустрията. Показани са основните моменти от сблъсъка на идеите на имащия по това време огромен авторитет Т. А. Едисон и пионерите в използването на променливия ток Дж. Уестингхаус и Н. Тесла.*

**Ключови думи:** променлив ток, постоянен ток, Н. Тесла, Дж. Уестингхаус, Т. А. Едисон.

### 1. Началото

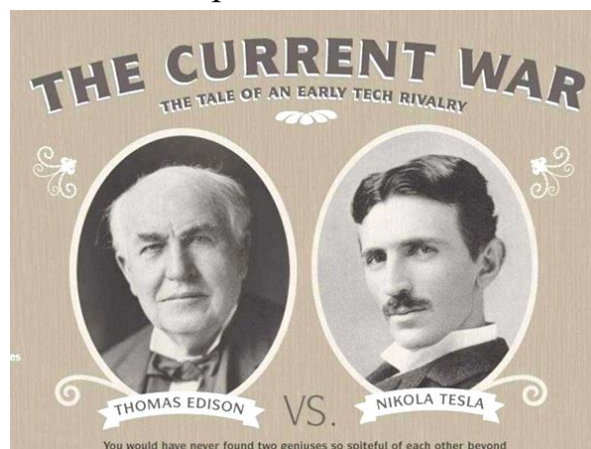
Обикновено, когато се говори за войната на токовете се споменават имената на Н. Тесла и Т. Едисон. Но исторически погледнато идеята за използването на променливия ток в индустрията и бита е възникнала по-рано.

През 1876 г. руският инженер-електротехник Павел Яблочков пръв създава система за хранене на „електрически лампи“ от генератор на променлив ток и трансформатори като за пръв път използва кондензатори във верига с променлив ток.

Пионер в използването на променливия ток в индустрията и бита е съзателят на *Westinghouse Electric Corporation* Джордж Уестингхаус.

*Westinghouse Electric Corporation* е американска компания, основана през 1886 г. от Джордж Уестингхаус. Първоначално е наречена *Westinghouse Electric & Manufacturing Company* и е преименувана на *Westinghouse Electric Corporation* през 1945 г.

Уестингхаус от самото начало оценил потенциала на електричната система, използваща променлив ток, тъй като тя дава възможност за пренос на ток с високо напрежение на големи разстояния. Компанията на Уестингхаус купила европейските патенти за разпределителни системи и в края на 1886 г. успяла да въведе първата в САЩ електропреносна линия с еднофазен променлив ток с дължина 6,5 км. За периода 1886 – 1888 г. компанията Уестингхаус пуснала в действие 130 малки електростанции за еднофазен променлив ток. Те били



снабдени със синхронни генератори и трансформатори за 100/1000 V и 100/2000 V. Мощността им била 6 kW с работна честота била 133 Hz.



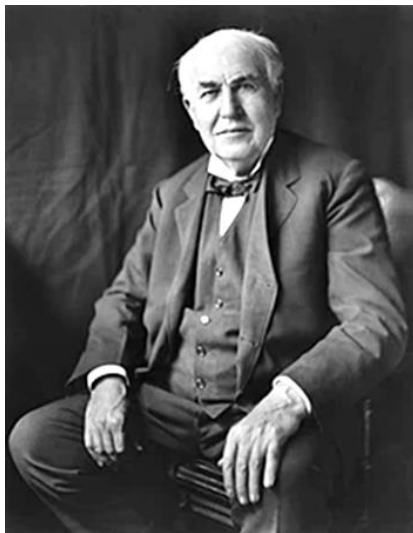
*Джордж Уестингхаус*



Въпреки предимството при преноса на електроенергия, електростанциите на Уестингхаус не можели да се конкурират с тези за постоянен ток по отношение на икономичност и обслужване.

Известно е, че по същото време Т. А. Едисон се стремял да наложи използването в Америка и останалия свят на постоянния ток.

*General Electric* е основана от изобретателя [Томас Едисон](#) през [1878](#) г. Първоначално се е казвала *Edison Electric Light*. След сливането си през [1892](#) г. с *Thomson-Houston Electric*, осъществено от финансовия магнат [Дж. П. Морган](#), получава сегашното си име.



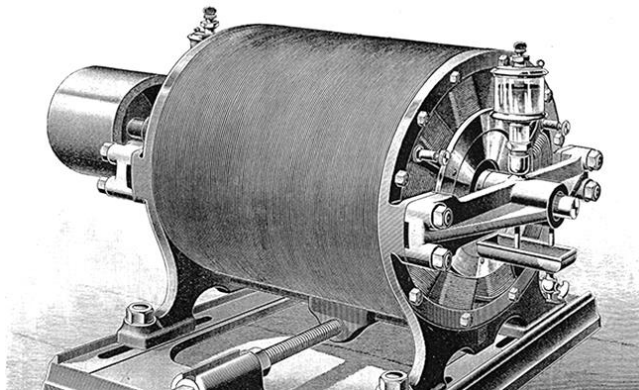
*Томас Едисон*



Така наречената „война на електрическите токове“ започва след като Никола Тесла напуска компанията на Едисон и започва работа в компанията на Уестингхаус.

## 2. Решаващи години

Решителни за битката между двете компании, респективно между Тесла и Едисон, станали 1888 г. и 1893 г. На 15 май 1888 г. Тесла изнесъл доклад „Нова система двигатели и трансформатори за променлив ток“. Изобретенията на Тесла били това, което било необходимо на Уестингхаус, а именно универсален и сравнително прост електродвигател за променлив ток. По това време Тесла вече експериментирал с готови образци на асинхронни двигатели за многофазни токове. Преминавайки на работа в Уестингхаус, Тесла успял да наложи използването на двуфазен променлив ток и работна честота 60 Hz, която станала и стандартна честота на променливия ток в САЩ.



Уестингхаус купил 40 патента на Тесла за около 65 000 долара (5000 налични и 150 акции от основния капитал на компанията) и споразумение за патентни отчисления от 2,5 долара на конска сила за всеки продаден електродвигател.

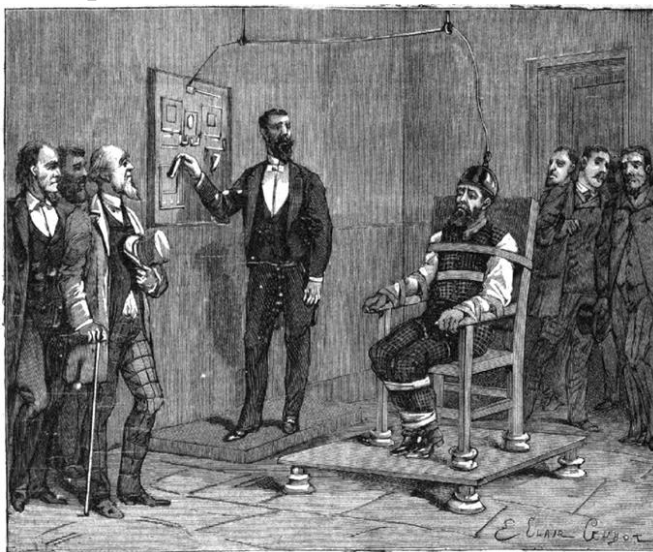
За да умаловажи успехите на компанията на Уестингхаус, Едисон започнал медийна атака срещу променливия ток. През 1888 г. сътрудниците на Едисон - Харолд Браун и Фред Питърсен получили разрешение да работят върху изучаване на действието на променливия ток върху живи същества. Съществена причина за това била събраните статистически данни от Браун за нещастните случаи при работа на техни колеги с постоянен и променлив ток. Съгласно изводите на Браун въпреки, че и при работа с постоянен ток имало смъртни случаи, променливия ток е много по-опасен. Този извод напълно устройвал Едисон като привърженик на постоянния ток.

Интересното в случая е, че Браун решил да разшири статистиката от изследванията си като използва постоянен и променлив ток при изпълнение на смъртни присъди (по това време смъртното наказание в света и в частност в САЩ е било разрешено). Първоначално Браун конструирал електрически стол на базата на използването на постоянен ток. При опитите с кучета, съгласно съобщенията на вестник „Ню Йорк таймс“, като начало през кучето бил пропуснат постоянен ток с напрежение 300 V, но то не умряло. При повишаване на напрежението до 1000 V кучето изпаднало в конвулсии, но все още било живо. Когато се използвал променлив ток при прилагане на напрежение 300 V се стигнало до умъртвяване на опитното куче.



Тези опити дали основание на медиите в САЩ да възхваляват бързия и хуманен начин за изпълнение на смъртни присъди без да се измъчва осъдения.

Била създадена и специална комисия за разработката на електрически стол, в състава на която влязъл и Браун, който прокарвал идеята да се използва променлив ток. В резултат на работата на тази комисия, се взело решение да се използват разработените от Тесла генератори на променлив ток на компанията на Уестингхаус. Като първи кандидат за електрически стол бил избран Уилям Кемлер, осъден на смърт



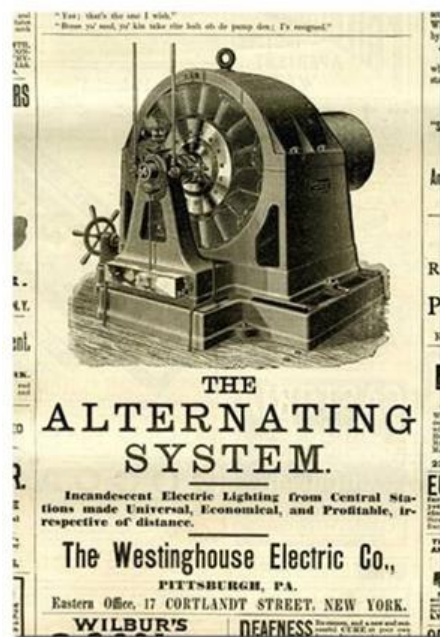
заради убийството на любовницата си. От тази кампания в медиите се възползвал Едисон, който преди датата на изпълнение на смъртното наказание на Кемлер направил демонстрация пред публика на използването на променливия ток при изпълнение на смъртна присъда. Демонстрацията са състояла в поместването в метална мрежа на десетина котки и кучета. При пропускане на променлив ток с напрежение 1000 V животните били умъртвени след големи мъчения. Това естествено възмутило общественото мнение, което било от полза за Едисон защото свързването в пресата на думите „смъртно наказание“ и „променлив ток“ водело до извода, че променливия ток е много опасен за масово използване от обществото.

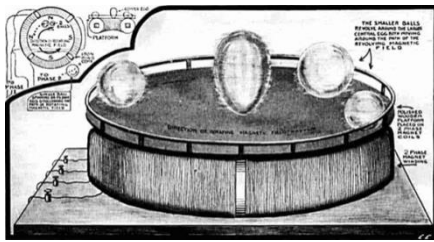
Това дало начално предимство на Едисон в битката между токовете.

Втората решителна битка се състояла през 1893 г. на Световното изложение в Чикаго, посветено на 400 годишнина от откриването на Америка от Хр. Колумб. Това било и първото Световно изложение с електрическо осветление, което било обезпечено от компанията на Уестингхаус.

На изложението била демонстрирана многофазна система за променлив ток, както и някои от изобретенията на Н. Тесла.

Един от експонатите бил въртящото се яйце на Тесла – метално яйце върху малка поставка. Когато Тесла щракал превключвателя, яйцето се изправяло на по-острия си връх и започвало да се върти.





*Оригинална схема на яйцето на Н. Тесла*



*Съвременен модел*

Тесла демонстрирал и изкуствени мълнии, съпроводени с оглушителен гръм.



*Снимка от края на XIX век*



*Съвременен модел*

Гвоздеят на програмата обаче бил високо волтов (100 kV) променлив ток, който Тесла пропускал през себе си, въпреки че според Едисон, такъв ток е смъртоносно опасен.

С тези демонстрации на изложението в Чикаго компанията на Уестингхаус доказала, че използването на променлив ток за нуждите на индустрията и битата е по-ефикасно. След изложението Международната комисия за използване на водите на Ниагарския водопад под председателството на лорд Келвин взела окончателно решение за опасността от променливия ток и през октомври 1893 г. сключила контракт с компанията на Уестингхаус за построяване на първите два генератора на електричен ток на водопада.

С това победата на променливия ток станала неоспорима и в днешно време той масово се използва в индустрията и битата.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Б. Н. Ржонсницкий, Никола Тесла. Жизнь замечательных людей, Молодая гвардия, Москва, 1959.  
 [2] В. П. Самохин, Памяты Томаса А. Эдисона, Наука и образование, 2011.

# КВАНТОВИТЕ КОМПЮТРИ – РЕВОЛЮЦИЯ В ИНФОРМАЦИОННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ?

Мария Занева, Мария Василева

Катедра Приложна Физика, ФПМИ, ТУ-София, бул. “Кл. Охридски” №8, България  
e-mail: [mzaneva@tu-sofia.bg](mailto:mzaneva@tu-sofia.bg) , [mariivasileva@tu-sofia.bg](mailto:mariivasileva@tu-sofia.bg)

*Резюме: Още след създаването на първия работещ компютър, хората се питат следния въпрос: Способен ли е той да пресметне всяка една съществуваща математична задача? Отговорът бързо става ясен – със съществуващата техника не са възможни много сметки в областта на квантовата физика, а други биха отнели непосилно много време. В рамките на този доклад ще разгледаме зараждането на идеята за квантовите компютри, техните способности, трудностите, пред които са изправени и тяхното съвременно реализиране.*

**Ключови думи:** бит, кубит, квантова физика, компютър

## 1. История на компютрите

Първата теоретизирана сметачна машина се появява през 1936г., когато Алън Тюринг описва модел, който решава математически задачи използвайки кодиране с нули и единици. Тогава за първи път учените дефинират що е то алгоритъм и код.

В днешно време класическите компютри по никакъв начин не могат да надхвърлят по способност изчисленията, на които е била способна тогава теоретизираната машина на Тюринг. С напредване на времето реални такива машини са реализирани успешно. Първата такава е „АБЦ“ на Атанасов и Бери. Тя е предшественикът на днешните компютри, които всички ние познаваме много добре.

Става ясно обаче, че за нуждите на квантовата физика класическите машини, колкото и напреднали да са, биха били неефективни. Трудове като книгата на Юрий Манин - „Изчислимо и неизчислимо“ и „Симулиране на Физика с Компютри“ на Ричард Файнман описват физически процеси и системи, за чието изчисление класическите компютри биха били безсилни. Двамата изказват нуждата от технологии, които ще могат да се справят с вероятностния характер на квантовия свят и то за сравнително малко време. Файнман нарича тези нови машини - квантови компютри.

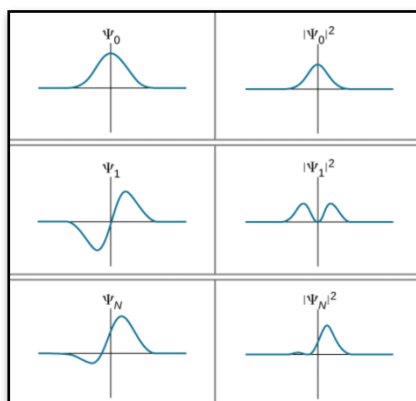
Първият квантовомеханичен модел е описан успешно за първи път през 1980г. от Пол Бениоф. Наричат го квантова машината на Тюринг. Следва развитието на квантовите алгоритми. За първи път се появява алгоритъмът на Питър Шор (Shor's Algorithm) за факторизация, последван от алгоритъм на Гроувър (Grover's Algorithm) за търсене в неструктурирана база от данни. В

днешно време има много други алгоритми, даващи решения на важни задачи от компютърната математика и математиката като цяло.

## 2. Основни понятия от квантовата механика

За реализацията на квантовите компютри се използват някои от основните феномени на квантовата механика – суперпозиция и квантово вплитане, които ще припомним.

Голяма част от заслугите за развитието на тази наука се дължат на австрийския физик Ервин Шрьодингер. Той написва уравнение, описващо амплитудите на вероятността за намиране на дадена частица в различни позиции. Решаването на уравнението ни дава една математическа величина, наречена вълнова функция, която ни разкрива и вероятностната същност на квантовата механика. Вълновата функция в уравнението описва състоянието на една квантова система, но сред основните въпроси остава този за физическия ѝ смисъл. Съгласно копенхагенската интерпретация, вълновата функция съдържа цялата информация за квантовата системата, но единствено квадратът на модула ѝ има реален физически смисъл.



**Фиг. 1.** Отляво е изобразена графиката на вълнова функция, а отдясно - квадратът на модула ѝ, който има смисъл на плътност на вероятността.

Да си припомним модела на атома на Бор, в който електроните се движат по фиксирани орбити. Шрьодингер се опитва да опише модела чрез друг подход, използвайки идеята на дьо Бройл, като достига до вълновото уравнение. В случая за описание на позицията на електрона, вълновата функция не ни дава точното му местоположение. Интерпретираме квадрата на абсолютната ѝ стойност  $|\Psi(x)|^2$  като вероятността за намиране на електрона в дадена точка  $x$ .

В квантовата механика **принципът на суперпозицията** гласи, че ако една частица може да се намира в някое от състоянията  $\varphi_i$ , то тя може да се намира и в суперпозиция от тези състояния:

$$\Psi = \sum c_i \varphi_i$$

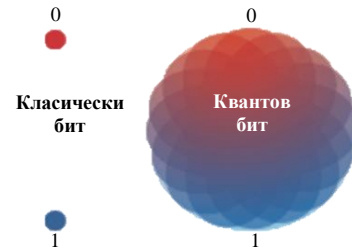
Вероятността частицата да се намира в състоянието  $\varphi_i$  се описва от квадрата на модула на комплексното число  $c_i$ , наречено амплитуда на вероятността. Нека дадем пример с квантова монета, която може да бъде в някое от състоянията 1



или 2, както и в суперпозиция от тях. В случая вероятността да намерим монетата в кое да е от състоянията е равна на стойността на коефициента пред тях:

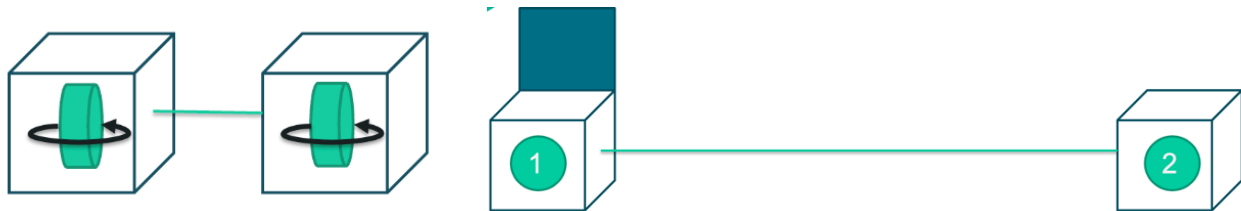
$$|\psi\rangle = \frac{1}{2} |1\rangle + \frac{1}{2} |2\rangle \qquad \psi = \sum_i c_i \varphi_i \xrightarrow{\text{измерване}} \varphi_k$$

При извършване на измерване върху системата разрушаваме това състояние и тя се превръща от квантова в детерминистична. Вълновата функция колапсира и системата преминава от състояние на суперпозиция в само едно от тези възможни състояния. Ако вземем примера с монетата това би означавало, че „наблюдавайки“ системата ще намерим монетата в едно от двете възможни базови състояния (1 или 2) и състоянието на суперпозиция вече няма да съществува. Този феномен се наблюдава и при квантовите битове, които могат да се намират в суперпозиция от двете възможни състояния 0 и 1. Именно това прави обработката на информация експоненциално по-бърза в сравнение с класически компютър.



**Фиг. 2.** В лявата част са представени състоянията на класическия бит - 0 и 1. Отдясно е изобразен квантов бит, който може да бъде и в суперпозиция от тях.

**Квантовото впитане** е един от още по-чудатите феномени, които квантовата механика изучава. То представлява взаимосвързаност на двойка (или група) частици, такава че квантовото им състояние не може да бъде описано независимо, без значение от разстоянието на което се намират. Да вземем за пример отново “квантовата монета”. Поставяме в затворена кутия и сплитаме състоянията на две монети, като след това ги отдалечаваме на безкрайно голямо разстояние една от друга. С отварянето на едната кутия и разрушаването на суперпозицията на първата монета, ние получаваме информация и за състоянието на монетата във втората кутия, въпреки че не сме направили директно измерване върху него и двете се намират на огромно разстояние (фиг.3).



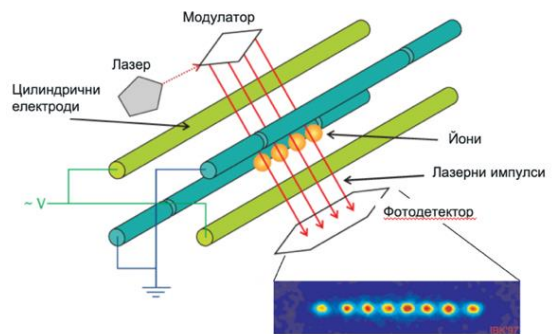
**Фиг. 3.** Квантово впитане между две „квантови монети“, отдалечени на безкрайно голямо разстояние една от друга. Измерването на състоянието на първата монета, чрез „отваряне“ на кутията, ни носи информация за състоянието на втората монета без директно да измерваме нейното квантово състояние.

### 3. Архитектура на квантовите компютри

Има различни варианти за реализация на квантов компютър. Зависят от вида елементарен кубит, който сме избрали, от материалите, от архитектурната подредба на хардуера и др. Тук ще се спрем на най-основните видове и ще разгледаме техния принцип на работа.

#### 3.1. Йонен капан

Квантовият процесор от тип „капан за йони“ представлява улавяне на низ от йони с променливото поле, създадено от електродите (фиг. 4). Тъй като йоните взаимодействат помежду си те колективно изпадат във вpletено състояние. Състоянието на всеки йон може да се измери като се освети с лазерна светлина. Ако честотата и поляризацията ѝ са точно такива, че той да поглъща и преизлъчва фотон, той е бил в състояние  $|1\rangle$ . Тази честота, която е нужна за прехода от състояние 0 до състояние 1 наричаме **резонансна честота** (фиг. 5). Ако йонът е бил в състояние 0, честотата на лазерната светлина не е резонансна и няма да предизвика преход. Заредените йони могат да бъдат поставени и в състояние на суперпозиция отново чрез облъчване.



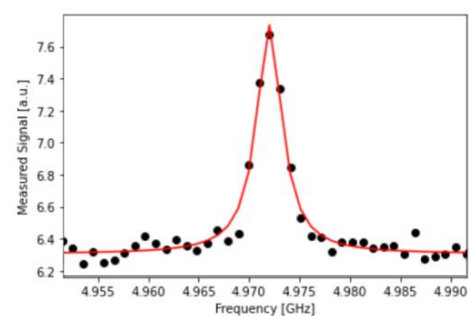
Фиг. 4. Квантов процесор тип "Капан за йони"

#### 3.2. Свръхпроводници

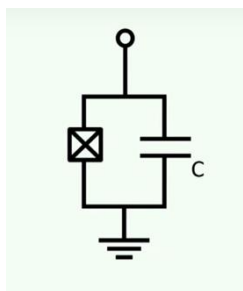
Свръхпроводниковите кубити са може би едни от най-новите и най-интересните кандидати за реализация на квантови компютри. Естествено пред тях стои проблемът със съществуването на свръхпроводници на стайна температура, което оскъпява и затруднява физически тяхната реализация.

Най-разпространеният квантов кубит и може би най-използвания за направата на съвременни квантови компютри е кубита на Трансмон. Той представлява електрическа верига направена от свръхпроводници (фиг.6), която изключително много наподобява познатия ни трептящ кръг от електротехниката (фиг. 7).

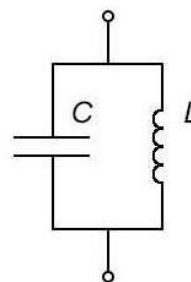
$$f_{01} = 4.97167 \text{ GHz}$$



Фиг. 5. Qubit Frequency Scan. За получаване на стойността на резонансната честота  $f = E_{01}/\hbar$  е използван симулатора на IBM Quantum.  $E_{01}$  е енергията нужна за преход между основното и първото възбудено състояние.

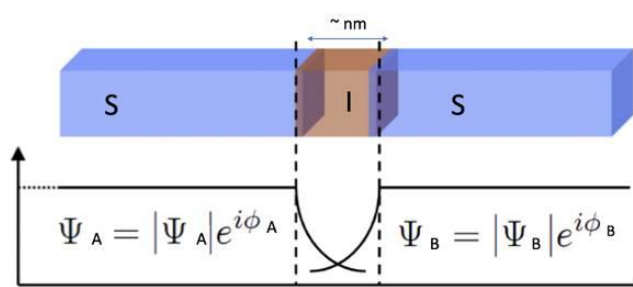


**Фиг. 6.** Електрическа верига, сформираща кубит на Трансмон



**Фиг. 7.** Електрическа верига – Третият кръг

Разликата между класическия и квантовия случай е именно в индуктивния елемент - в квантовият вместо бобина имаме връзка на Джоузефсън (фиг. 8).

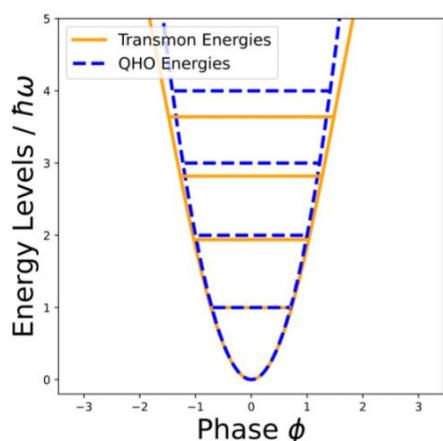


**Фиг. 8.** Схема на съединение (преход) на Джоузефсън (Josephson's Junction). Два свръхпроводящи електрода (S) разделени от тънък слой изолатор (I).  $\Psi_A$  и  $\Psi_B$  са съответно макроскопичните вълнови функции на куперовите двойки в електродите. При тунелирането на куперовите двойки през тънкия слой изолатор, през съединението протича ток. Токът, преминаващ през съединението се дава от израза  $I_S = I_C \sin(\varphi(t))$ , където  $\varphi$  е фазовата разлика  $\varphi = \varphi_A - \varphi_B$ , а  $I_C$  е максималният ток, който може да протече преди да настъпи дисипация.

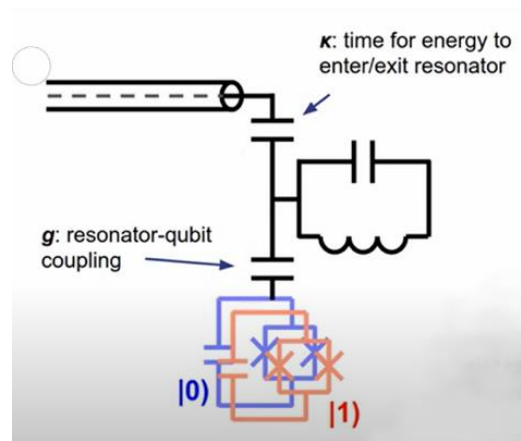
Тя се състои от свръхпроводници, прекъснати от тънък полимерен изолатор. Преходът между нулево и активно състояние на кубита, 0 и 1 на компютъра, се основава на квантовомеханичния феномен тунелиране. Изолаторът се явява потенциална яма, а частиците с достатъчно енергия успяват да я прескочат. В резултат на това в съединението протича ток.

За реализацията на квантов компютър използваме кубита на Трансмон именно заради ахармоничните му енергийни нива (фиг. 9). Това ни позволява да контролираме прехода единствено между основното и първото възбудено състояние, знаейки резонансната честота на кубита.

За да извършим измерване на състоянието на квантовия бит изпращаме микровълнов сигнал по веригата. Той бива отразен, измерен и отчетен. Тук възниква въпросът с какво това свързване, наречено кубит на Трансмон, се различава от класическото, тъй като със самият акт на измерване, ние превръщаме системата от квантова в детерминистична.



**Фиг. 9.** Сравнение между енергийните нива на квантовия осцилатор (в синьо) и кубита на Трансмон (в оранжево).

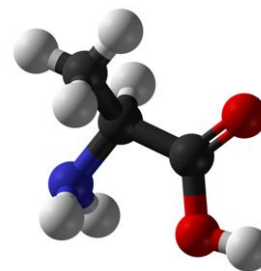


**Фиг. 10.** Последователно свързани Трептящ кръг и кубит на Трансмон. Електрическа верига, позволяваща измерване на квантови състояния.

С цел да не повлияваме на нашия кубит и той да не „знае“, че го наблюдаваме, съставяме последователно свързани класически трептящ кръг и кубит на Трансмон (фиг. 10). При измерване ние снемате отразената резонансна честота на класическия трептящ кръг и не повлияваме директно на квантовата система. Тук резонансните честоти на двата трептящи кръга ще са споделени. Това ни дава възможност за индиректно измерване на квантовото състояние, без да разрушим суперпозицията на квантовата система. Разбира се, този начин на връзка има недостатъци, тъй като квантовият бит има ограничено време на живот. Единствено развитието на технологиите и по-доброто познаване на процесите в системата би ни помогнало да подобрим тази техника.

### 3.3. Ядрено магнитен резонанс

Съществуват течни квантови процесори, използващи феномена ядрено магнитен резонанс (ЯМР). При тях като квантов хардуер се използва течност, съдържаща голям брой молекули от даден тип (от порядъка на  $10^{18}$ ). Те са поставени в силно статично магнитно поле. Кубит представлява спинът на едно ядро в молекулата, а квантовите гейтове се осъществяват посредством резонансни променливи магнитни полета, т.е. използва се техниката на ЯМР. Обмяната на квантова информация между ядрата вътре в молекулата се осъществява чрез спин-спин взаимодействия между съседните атоми (химични връзки). Важно е да се подчертае, че в тези течности състоянието на спина на отделното ядро нито се



**Фиг. 11:** Молекула на аланин използвана в ЯМР реализацията на квантов компютър. Ролята на квантови битове играе спинът на въглеродните атоми (в черно).

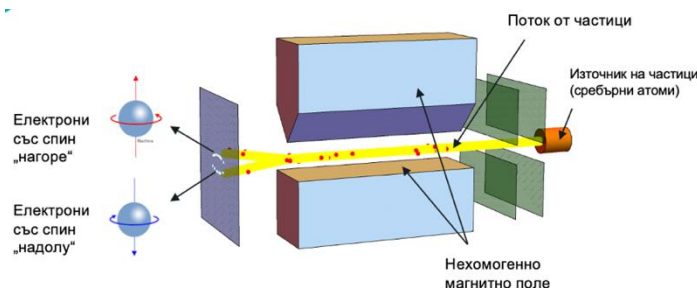
приготвя, нито се измерва. Напротив – ние измерваме средното състояние на съдържащите се в течността  $10^{18}$  броя молекули.

При опитите с ЯМР е постигната реализация на квантови компютри с 3 до 7 кубита. С тях са реализирани успешно няколко квантови алгоритъма, включително алгоритъм на Гроувър (Grover's Algorithm), квантова трансформация на Фурие (Quantum Fourier Transform) и алгоритъм на Шор (Shor's Algorithm). Техен недостатък е, че измерваният сигнал намалява експоненциално с увеличаване на броя на кубитите в една молекула.

#### 4. Квантови състояния. Сфера на Блох

За да разберем по-ясно поведението на квантовите битове първоначално ще дадем друг пример за система с две състояния (нива), а именно спина на електрона. Свойствата и правилата, на които се подчиняват системите с две състояния са аналогични.

Опитът на Щерн-Герлах през **1922г.** доказва пространственото квантуване на магнитните моменти и наличието на една непозната до тогава характеристика на частиците – **спина** (фиг.12). Той може да приема само дискретни величини, които са винаги цяло или полуцяло число, като се квантуват и неговата посока или ориентация.



**Фиг. 12:** Експеримент на Щерн-Герлах. Поток от горещи сребърни атоми минава през нехомогенно магнитно поле. Поради електронеутралността им не очакваме те да бъдат повлияни от магнитната сила. Непозната до тогава характеристика на електрона обаче взаимодейства с магнитното поле и разделя лъча от атоми на две – електроните със спин „нагоре“ и електроните със спин „надолу“ взаимодействат с полето и заемат крайните си положения на екрана.

Собствените състояния на квантовите битове могат да се представят от двата кет вектора:

$$\begin{array}{c} \text{↑} \\ \text{↓} \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{↑} \\ \text{↓} \end{array} \quad |0\rangle = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \begin{array}{c} \text{↑} \\ \text{↓} \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{↑} \\ \text{↓} \end{array} \quad |1\rangle = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

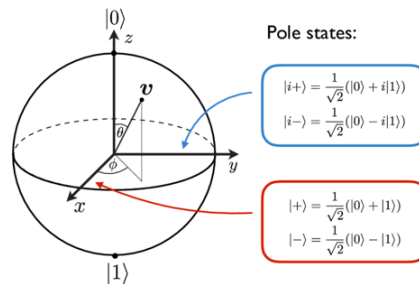
В зависимост от архитектурата използвана за създаването на квантовия компютър, те са аналог на спина на електрона („нагоре“ или „надолу“) и на поляризацията на светлината (вертикална или хоризонтална). Докато



класическите битове са нули и единици, квантовите битове могат да бъдат поставяни и в суперпозиция от тези две базисни състояния, както вече споменахме и в т.2:

$$|\psi\rangle = \cos\frac{\theta}{2} |0\rangle + \sin\frac{\theta}{2} e^{i\varphi} |1\rangle$$

**Блох сферата** (фиг. 13) е геометрична репрезентация на състоянията на квантовите битове. Тя е триизмерна сфера с радиус равен на единица. Всяка точка от нейната повърхност представя една възможна стойност на състоянието на квантовия бит.



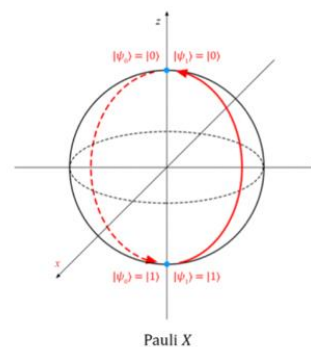
**Фиг. 13.** Блох сфера. В двата полюса виждаме базисните състояния 0 и 1. При прилагане на дадени квантови логически оператори ще извършваме ротации, преминавайки от едно квантово състояние в друго на повърхността ѝ.

### 5. Квантови логически оператори и алгоритми

Ще се запознаем с някои от основните квантови оператори, които участват в реализацията на квантовите алгоритми (фиг. 14).

От основните логически оператори са **матриците на Паули**, които извършват ротация на ъгъл  $\pi$  радиана върху Блох сферата, с която се запознахме по-рано, спрямо X, Y или съответно Z-оста (фиг.15).

$$X = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{bmatrix}, Z = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$



**Фиг. 14.** Pauli-X (X), Pauli-Y (Y), Pauli-Z (Z)

**Фиг. 15:** Действие на X-оператора, или т.нар. NOT оператор, представено върху Блох сферата. При прилагането му върху квантов бит в състояние  $|0\rangle$ , след измерване дава резултат  $|1\rangle$  и аналогично при действие върху състояние  $|1\rangle$  дава резултат  $|0\rangle$ .

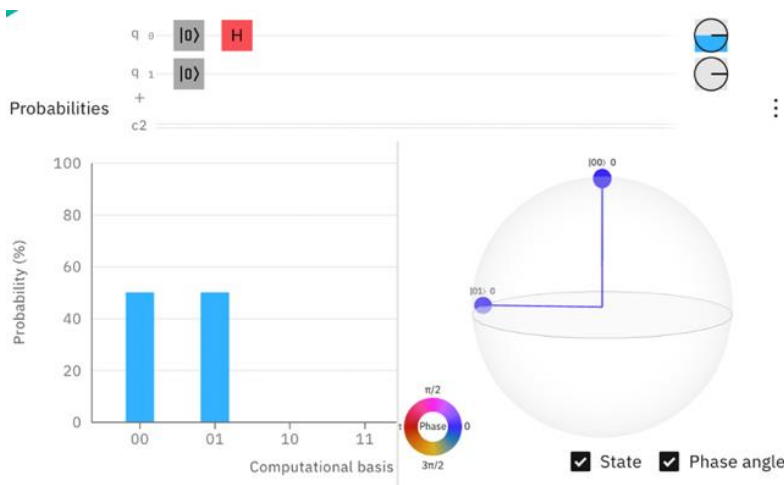
**Контролираният NOT** гейт действа върху два кубита, като първият е наречен **контрол**, а вторият – **цел**. Той променя състоянието на целевия кубит в зависимост от това дали стойността на контролния е равна на единица (фиг.16). CNOT оператора е доста важен, тъй като при прилагането му ние сплитаме двата квантови бита или създаваме т.нар. **състояние на Бел**.

$$CNOT = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Вход	→	Изход
00⟩	→	00⟩
01⟩	→	01⟩
10⟩	→	11⟩
11⟩	→	10⟩

**Фиг. 16.** Оператор CNOT. От таблицата виждаме, че когато контрол кубита е равен на нула, операторът не променя стойността на целевия кубит. Когато контролът е равен на единица, тогава върху целта е приложен „NOT“ оператора или т.нар. „Отрицание“ (X гейт).

**Операторът на Адамар** (фиг.17) също е от основните използвани в квантовите алгоритми. Той поставя в суперпозиция квантовия бит, върху който е приложен.













$$H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$H|0\rangle = \frac{|0\rangle + |1\rangle}{\sqrt{2}}$$

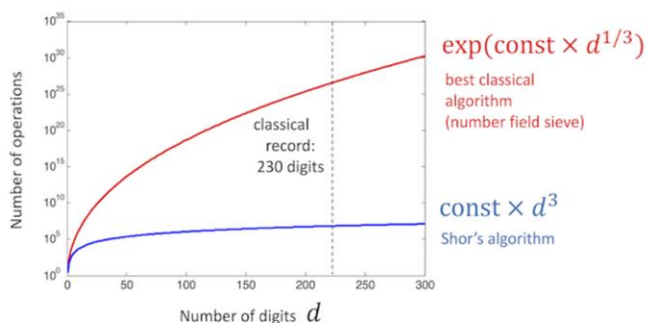
$$H|1\rangle = \frac{|0\rangle - |1\rangle}{\sqrt{2}}$$

**Фиг. 17.** Оператор на Адамар (Hadamard). На графиката са представени резултати от квантовия симулатор на IBM след прилагане на оператора на Адамар върху кубит в начално състояние |0>. Върху Блох сферата виждаме създаденото състояние на суперпозиция.

Operator	Gate(s)	Matrix
Pauli-X (X)	 $\oplus$	$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$
Pauli-Y (Y)		$\begin{bmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{bmatrix}$
Pauli-Z (Z)		$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$
Hadamard (H)		$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$
Phase (S, P)		$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{bmatrix}$
$\pi/8$ (T)		$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{i\pi/4} \end{bmatrix}$
Controlled Not (CNOT, CX)		$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$
Controlled Z (CZ)		$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$
SWAP		$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
Toffoli (CCNOT, CCX, TOFF)		$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

Фиг. 18. Основни квантови оператори

Квантовите алгоритми представляват схема на изчисление, използваща така наречената квантова верига, съставена от кубити, върху, които действат квантови оператори. Операцията завършва с измерване и получаване на реална класическа стойност. Първият алгоритъм е разработен от Питър Шор – **алгоритъм на Шор** и цели факторизирането на цели числа, което е било трудна задача за класическите компютри. Този алгоритъм подобрява скоростта за смятане експоненциално. Той е в основата на методите за кодиране или декодиране на информация, което носи определени заплахи например за финансовия пазар. Именно тази заплаха поражда и развитието на квантовата криптография.



Фиг. 19. Класически и квантов алгоритъм за факторизация. На графиката в синьо е резултата от алгоритъма на Шор, а в червено - класически алгоритъм.

Друг известен алгоритъм е **алгоритъмът на Гроувър**. Той е разработен 1996г. и намира даден елемент в неопределена база данни квадратично по-бързо от класическите алгоритми.

## 6. Приложения и проблеми при реализацията на квантовите компютри

Квантовата информатика би намерила приложения в много сфери. В химията и биологията например симулирането на огромен брой молекули



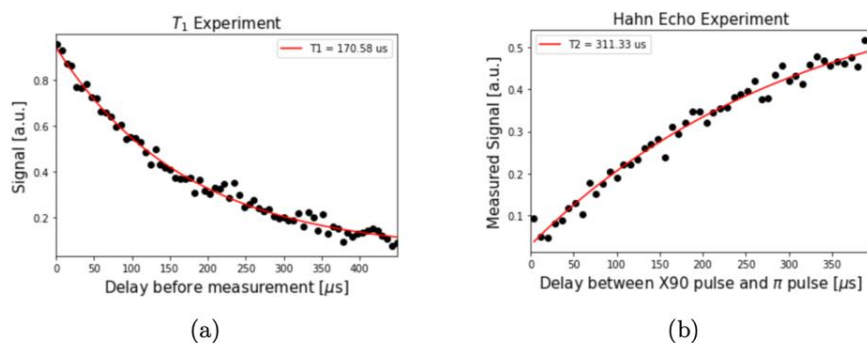
отнема много време и голяма изчислителна мощ. Времето за решаване на уравненията, описващи поведението на тези системи, може значително да бъде съкратено с използването на квантови изчисления. Това би намерило приложения и във фармацевтичния сектор при разработката на нови лекарства.

С помощта на квантовата информатика сензорите също могат да бъдат подобряни. Четенето на по-голям брой параметри за по-кратко време би довело до по-ефективни и оптимизирани процеси на работа.

Във финансовата сфера ще се подобри защитата на данни и транзакции. Квантовата криптография е едно от основните приложения. Интересно нейно предимство е че можем да разберем дали нашата информация е проследявана от трето лице. Нека закодираме сигнал в квантова частица и го изпратим от точка А до точка Б. Ако някой прихване сигнала преди той да достигне точка Б, това би развалило състоянието на суперпозиция и ще знаем, че квантовата частица е била „измерена“ преди да достигне до нас. Този метод е ефективен на малки и средни разстояния. На практика съществува квантова криптирана комуникация между градовете Шанхай и Пекин, които са на разстояние на около 2000км един от друг.

На теория изглежда, че квантовата криптография е успешен поврат в сектора на информационната сигурност. Криптографските методи обаче не могат да бъдат напълно сигурни. Квантовата криптография е само условно защитена, в зависимост от ключов набор от предположения.

Част от проблемите при реализацията на квантовите компютри са свързани с разрушаването на квантовата кохерентност при взаимодействие с околната среда, високата чувствителност на вpletените състояния и трудното контролиране на кубитите. Системите с голям брой кубити, които използват свръхпроводници, са както финансово така и енергийно неизгодни поради изключително ниските температури, на които трябва да се поддържат. Друг проблем е краткото време, в което квантовите битове остават квантови (фиг.20).



**Фиг. 20.** За получените данни е използван квантовият симулатор IBM Quantum. (a) Relaxation Time Experiment. Време за релаксация  $T_1 = 170.58 \mu s$  изчислено след като измереният сигнал е напаснат към експоненциалната функция в червено на графиката. (b) Hahn Echo Experiment. Време за кохерентност (дефазиране)  $T_2 = 311.33 \mu s$  изчислено след като измереният сигнал е напаснат към експоненциалната функция в червено.

**ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Chris Bernhardt. Quantum computing for everyone. Mit Press, 2019.
- [2] Adem Ergu'l. Nonlinear dynamics of josephson junction chains and superconducting resonators. PhD thesis, KTH Royal Institute of Technology, 2013.
- [3] David J Griffiths. Introduction to quantum mechanics. Pearson International Edition (Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, 2005), 1962.
- [4] Michel Le Bellac et al. A short introduction to quantum information and quantum computation. Cambridge University Press, 2006.
- [5] François Nguyen. Cooper pair box circuits: two-qubit gate, single-shot readout, and current to frequency conversion. PhD thesis, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI, 2008.
- [6] Robert S Sutor. Dancing with Qubits: How quantum computing works and how it can change the world. Packt Publishing Ltd, 2019.
- [7] Benioff, Paul. The Computer as a physical system. Illinois, 1980.
- [8] Манин Ю. И. Вычислимое и невычислимое. М. Советское радио, 1980,128 с.
- [9] Feynman, Richard. Simulating Physics with Computers. California, 1981.
- [10] Jonathan A. Jones. Quantum Computing and Nuclear Magnetic Resonance. Oxford, UK.
- [11] Peter W. Shor. INTRODUCTION TO QUANTUM ALGORITHMS. AT&T Labs Research, Florham Park, 2001.

# ВОЙНА И ФИЗИКА

Камен Граматиков

Факултет по транспорта, ТУ-София, бул. „Кл. Охридски“ №8, София 1000,  
email: [kgramatikov@tu-sofia.bg](mailto:kgramatikov@tu-sofia.bg)

***Резюме:** Войната е съпътствала човешката раса още от най-ранните години на нашето съществуване. Историята е показала, че именно победителите в един конфликт са тези, които решават какъв ще бъде бъдещият курс на развитие на населението. Поради тази причина, хората, често по интуитивен път, в стремежа си за победа, са откривали и прилагали разнообразни методи за изстрелване на малки и големи снаряди. Още от Каменната епоха, през Античността и Средновековието, до наши дни – именно изобретателността и желанието за гибелта на противника твърде често са били движещия механизъм за революционни стъпки в сферата на военното дело. В рамките на доклада ще разгледаме оръжия от различни векове, техния механизъм на изстрелване както и някои техни характеристики.*

**Ключови думи:** оръдие, ускорение, изстрелване, траектория, аеродинамика

Преди да започнем, важно е да отбележим, че темата за развитието на методите за изстрелване е изключително обширна и не може да бъде качествено обхваната в рамките на един доклад, затова ще разгледаме само някои от многобройните примери от нашето минало и настояще.

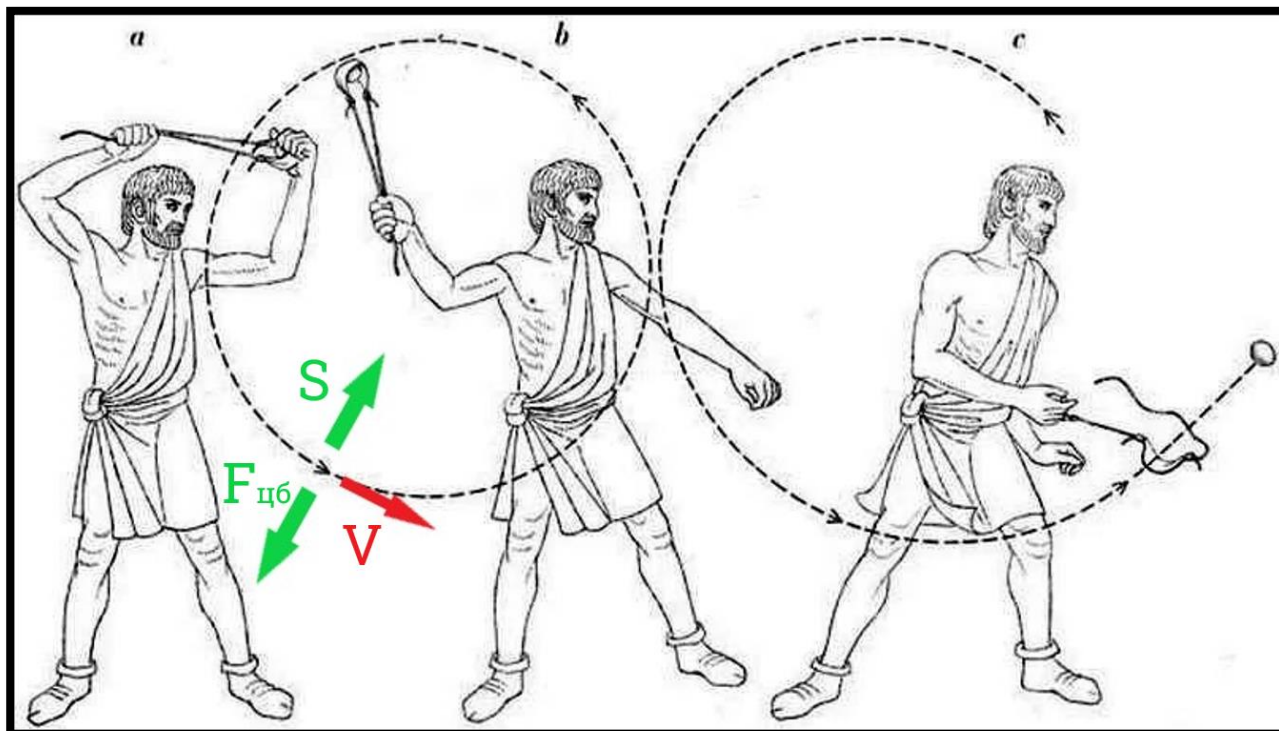
## 1. Първи стъпки

Още в ранните години на човешката раса, хората са осъзнали ключовото значение на това, да поразис мишената си без да се доближаваш на ръкопашно разстояние спрямо нея, гарантирайки си по този начин както собствената безопасност, така и елемента на изненадата. Една от теориите за изчезването на неандерталците гласи именно, че въпреки по-големите си размери и физическа сила, те не са могли да се приспособят към ловуването от дистанция, което е довело до тяхната гладна смърт.

## 2. Прашкари

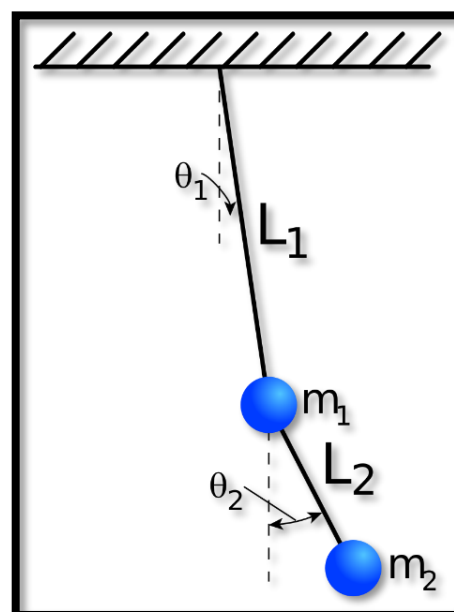
С развитието на човечеството, началото на уседнал начин на живот и стремглавото увеличаване на населението, неизбежно започват конфликти между отделните групи, което води до нуждата от нови, по-ефективни методи за воюване. Първият, който ще разгледаме е често подценяван, но въпреки това изключително интересен от физична гледна точка метод – ускоряването чрез прашка. Противно на общата представа, в нея няма еластични елементи – това е сравнително обикновена конструкция, състояща се от две връви с кожена

поставка за снаряда между тях. Стрелецът (фиг.1) поставя тежест (най-често объл камък) и завърта тялото с ръка. Силата на опън във връвите е равна по големина и противоположна на центробежната сила, а векторът на скоростта сочи по посока на движението. Когато снаряждът достигне желаната скорост прашкарят пуска една от двете връви, което нарушава циркулярното движение и изстрелва тежестта в желаното направление.



Фиг. 1

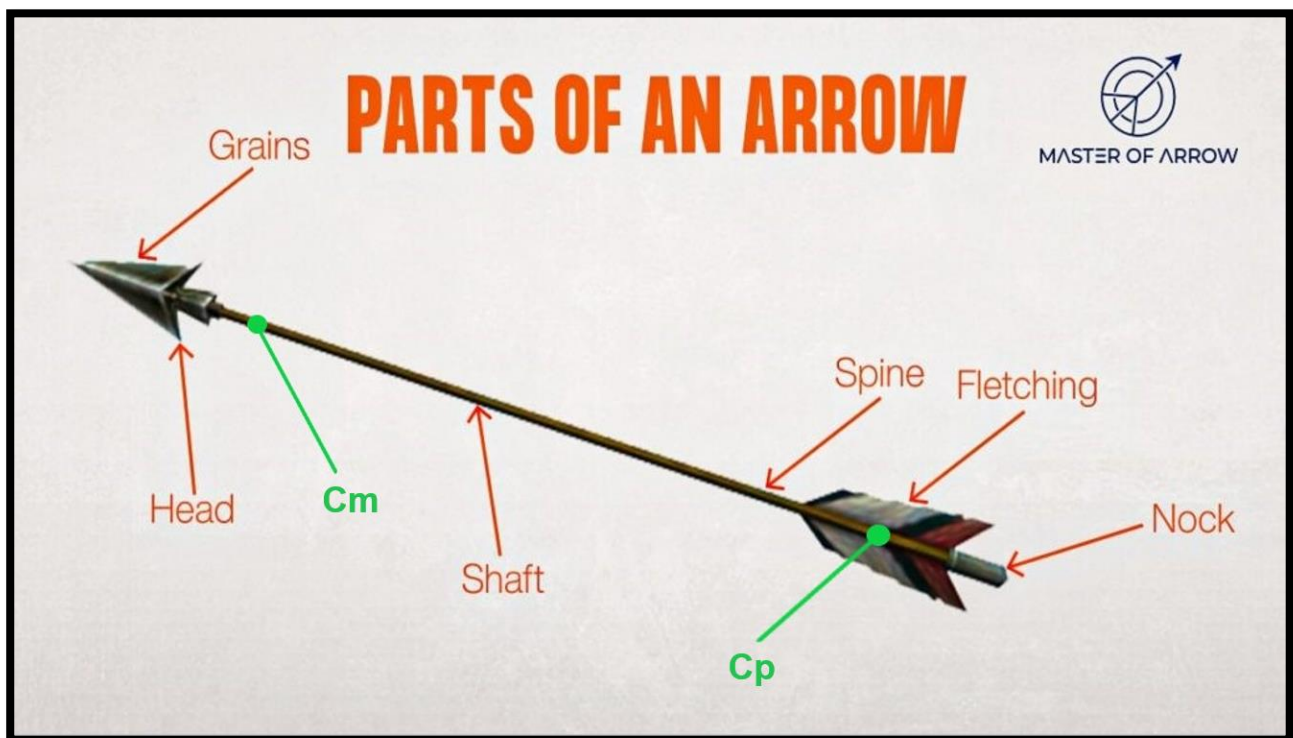
Това обаче, което е отличавало опитните стрелци от останалите, е именно умението им да използват двойното въртене (фиг. 2). В този случай това би означавало снаряждът да се върти около две оси – както около рамото на прашкаря, така и около китката му. В действителност, от ключово значение е не броят на осите на въртене, а линейната скорост на снаряда. Използвайки т.н. double pendulum effect стрелците са постигали резултати, които преди това са били считани за невъзможни – могли са да ускоряват снаряди със скорост над 45m/s. Причината този метод на изстрелване да не бъде прилаган масово, е дългото време, необходимо за подготовка на прашкарите.



Фиг. 2

### 3. Лък и стрели

Доказал се като един от най-ефективните методи за изстрелване през историята, лъкът е значително по-разпространен и лесен за употреба като повечето от нас са запознати с устройството му. Важно е да отбележим, че в действителност еластичната сила, която ускорява стрелата не идва от тетивата, а от дървената рамка, която я държи. Именно по тази причина, тя трябва задължително да бъде изработена от еластичен материал. Важно откритие, което хората правят след като започват да изработват стрели, е че при полета на едно тяло, е изключително важно неговият център на налягане  $C_p$  (точката в която въздушното съпротивление опитва да премести тялото) да се намира зад центъра на тежестта  $C_m$  – така при евентуално завъртане около ос различна от тази на полета, снарядът сам ще се стабилизира без да се отклонява от желаната траектория твърде много. (фиг. 3)



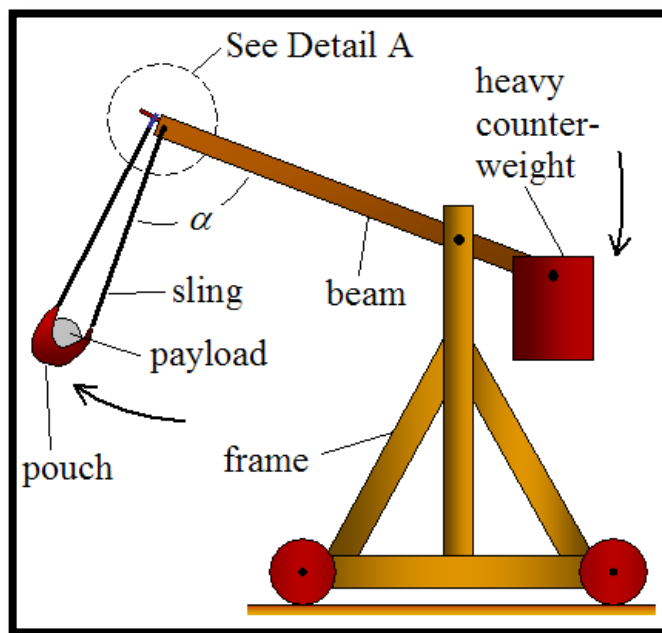
Фиг. 3

Същият принцип се използва при вертикалните и хоризонталните стабилизатори, намиращи се на опашката на много цивилни самолети – те са поставени точно там, за да имат максимален ефект върху разположението на центъра на налягане на летателния апарат.

#### 4. Обсадни машини

За изстрелване на по-големи и по-тежки снаряди, са били прилагани различни методи. Един от най-известните е балистата, която практически представлява уголемен модел на лък – те са били масово използвани поради сравнително малките си размери и възможността да изстрелват както големи метални стрели, така и сферични гюлета. Недостатъкът на този метод е именно наличието на еластичен компонент в системата – в процеса на експлоатация той се амортизира, което води до промяна на характеристиките на цялото оръдие и по-трудното изчисление на траекторията на неговите снаряди.

Поради тази причина, ще разгледаме устройството на друга механична система, а именно – требушета (фиг.4). Освен основната носеща рамка има още три елемента – снаряд, греда и противотежест (с приблизително 100 пъти по-голяма маса от тази на боеприпаса). След освобождаване на ограничаващата връзка от лявата страна, гравитацията кара противотежестта да се насочи към долната част на конструкцията, което в комбинация с разликата в дължината на сегментите на гредата внезапно ускорява снаряда, който сме поставили. Макар по-голям на размери, механизмът на изстрелване на требушета позволява по-добър контрол върху характеристиките на полета, което според мнозина го прави по-доброто оръдие.



Фиг. 4

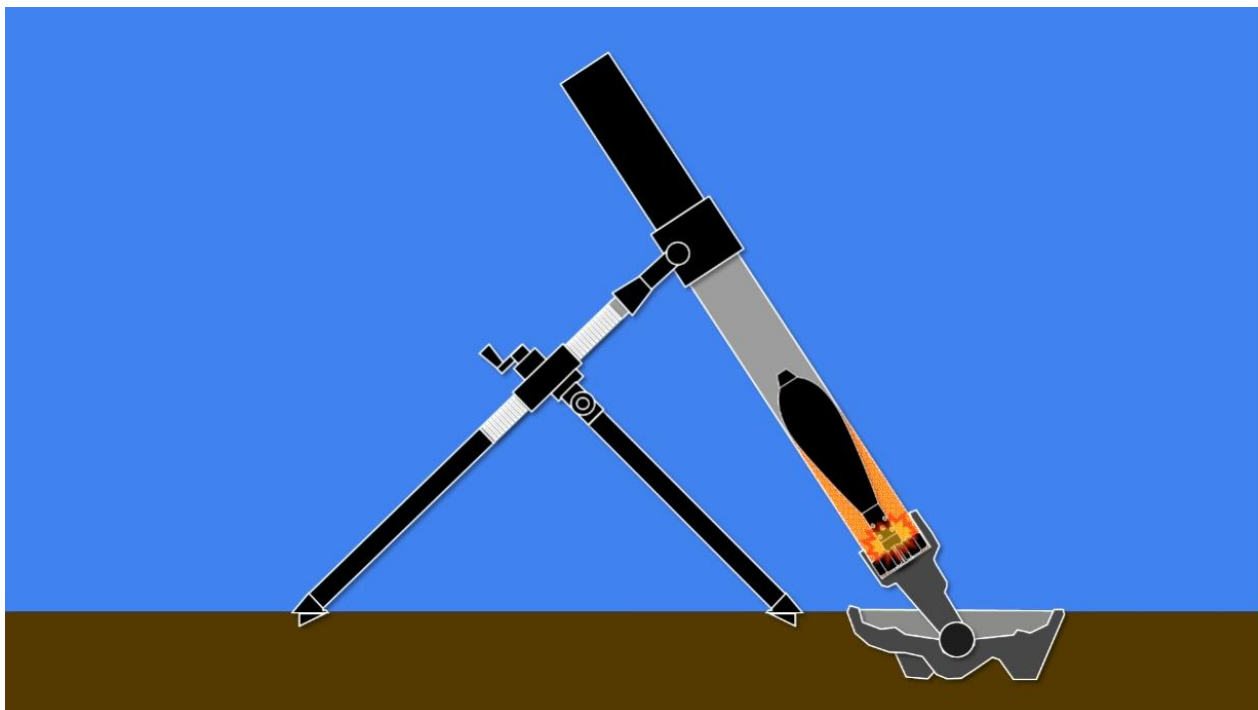
#### 5. Барут

Известен в Азия от векове, барутът се разпространява в Европа сравнително късно. Когато хората осъзнават мащабите на потенциала му, те го вкарват в масова експлоатация. Механизмът на работа (фиг. 5) е следният: взривно вещество се поставя на дъното на оръдието (то е с формата на кух цилиндър със затворено дъно) като снарядът е поставен в отворения край. С контролирана експлозия внезапно бива увеличено налягането в основата на цилиндъра, който задължително е проектиран, за да може да издържа на такова натоварване. Единственият подвижен елемент в стабилно закрепената система е снарядът, който бива внезапно ускорен и съответно изстрелян (фиг.5). Променяйки характеристиките на снаряда (размер, форма и тегло), ъгъла на изстрелване и



количеството и вида на експлозива постигаме различни траектории и обсег на артилерията.

Още с въвеждането си този метод преобръща представите на тогавашния човек за войната – извисяващите се крепостни стени, които векове наред са предпазвали градовете от всичко, което се намира отвъд тях, сега се срутват безпомощно срещу топовните изстрели. Барутът завинаги променя света и дълго време определя кой ще бъде победителят в един конфликт.







Фиг.5

Макар конструкционните материали и дизайнът да са били многократно осъвършенствани през вековете, основната концепция зад артилерийните оръдия остава абсолютно същата – от първите прототипи, датиращи от втората част на Средновековието, през оръдията от Наполеоновите войни до съвременната артилерия, способна да поразява целта си от над 20 километра.

## 6. Аеродинамика и ротация на снарядите

Първоначалните снаряди, изстрелвани с барут са имали сферична форма – тя е била предпочитана заради удобствата както в процеса на производство така и при транспорт и складиране. Леонардо да Винчи е първият, който предлага снарядите да бъдат „издължени“, което значително би подобрило техните аеродинамични характеристики при полет (фиг.6). Векове по-късно, твърденията му биват потвърдени, което е причината съвременните куршуми и артилерийни снаряди да не са със сферична форма.

Друг аспект, който трябва да разгледаме е положението на центъра на тежестта и този на налягането. Неизбежно, при този дизайн на снарядите, вторият ще бъде пред първия. При къси разстояния това не е пагубно за полета на боеприпаса, но при изстрели по параболична траектория, особено когато мишената е на километри от оръдието се наблюдават значителни отклонения. Вместо да монтират допълнителни стабилизатори, производителите на оръжия са открили, че добавяйки нарязи по вътрешната страна на цевта на оръдието, лесно може да бъдат придаден въртелив момент на снаряда, като оста на въртене ще съвпадне с тази на полета. По този начин, използвайки жироскопичния ефект се гарантира стабилността на траекторията, въпреки гореописаното разположение на двата ключови центъра. Целенасоченото произвеждане на оръдия с нарязи продължава да се използва и сега, доказвайки значението на откритието.

Shape	Drag Coefficient
Sphere → 	0.47
Half-sphere → 	0.42
Cube → 	1.05
Streamlined Body → 	0.04

Фиг.6

## 7. Съвременни артилерийни оръжия

Използвайки наученото през вековете, през последните десетилетия военните инженери са създали съвременни оръжия с характеристики значително по-добри от всичко, което историята е виждала. Един от многото примери за това е английският L118 light gun, способен да изстрелва снаряди със свръхзвукова скорост на дистанции от над 15 км с изключително висока точност.

## 8. Бъдещето

Никой не може да каже със сигурност какво ще бъде бъдещето на артилерията. Страните от целия свят се надпреварват в създаването на по-ефективни оръжия. Провеждат се експерименти за изстрелване на снаряди чрез силите на електромагнетизма. Към този момент основният проблем е бързото износване на металните елементи, което е и основната причина този метод да не е въведен в масова експлоатация.

## 9. Изводи

Първият и най-мрачен извод, който лесно можем да направим е, че когато стане въпрос за причиняване на щети от вариращ магнитуд, човекът отдавна е доказал колко креативен може да бъде. В същото време последните събития ни потвърждават, че войната не е далечен спомен от миналото – тя продължава да се случва на различни места на планетата и безмилостно разрушава животите на тези, които са хваната във вихрушката ѝ.

Почти всички империи, които историята познава, са се издигнали чрез война и завоевание. Някои от най-известните примери за това са Римската, Монголската, Османската и Британската империи. Тези държави са осъзнали централната роля на военните инженери и успешно са използвали познанията им, за да изградят революционни за времето си оръжия, с които да победят враговете си на бойното поле, променяйки, за добро и за зло, хода на историята завинаги.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] <https://historyofyesterday.com/balearic-slingers-993b52917f44>
- [2] <https://www.real-world-physics-problems.com/trebuchet-physics.html>
- [3] [https://en.wikipedia.org/wiki/Center\\_of\\_pressure\\_\(fluid\\_mechanics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Center_of_pressure_(fluid_mechanics))
- [4] [https://www.hunter-ed.com/pennsylvania/studyGuide/Parts-of-an-Arrow/20103901\\_88567/](https://www.hunter-ed.com/pennsylvania/studyGuide/Parts-of-an-Arrow/20103901_88567/)
- [5] [https://military-history.fandom.com/wiki/Napoleonic\\_tactics](https://military-history.fandom.com/wiki/Napoleonic_tactics)
- [6] <https://en.wikipedia.org/wiki/Crossbow>
- [7] <https://www.everydaymarksman.co/marksmanship/terminal-ballistics/>
- [8] <https://www.badassoptic.com/28-external-ballistic-effects/>
- [9] [https://en.wikipedia.org/wiki/Pith\\_helmet](https://en.wikipedia.org/wiki/Pith_helmet)
- [10] <https://jmvh.org/article/combat-helmets-and-blast-traumatic-brain-injury/>
- [11] <https://www.history.com/topics/american-civil-war/gatling-gun>
- [12] [https://www.goodreads.com/book/show/355697.All\\_Quiet\\_on\\_the\\_Western\\_Front](https://www.goodreads.com/book/show/355697.All_Quiet_on_the_Western_Front)
- [13] <https://www.gd-ots.com/munitions/artillery/>
- [14] [https://www.researchgate.net/publication/264552965\\_Aerodynamic\\_Characteristics\\_of\\_Unguided\\_Artillery\\_Projectile](https://www.researchgate.net/publication/264552965_Aerodynamic_Characteristics_of_Unguided_Artillery_Projectile)
- [15] <https://history.army.mil/html/faq/shrapnel.html>

## АНАЛИЗ НА УЧЕБНОТО СЪДЪРЖАНИЕ НА КУРСА “КОМПЮТЪРНО МОДЕЛИРАНЕ НА ФИЗИЧНИ СИСТЕМИ”

**Христо Търнев**

Катедра Приложна Физика, ФПМИ, ТУ-София, бул. “Кл. Охридски” №8, София 1000  
e-mail: [tarnev@tu-sofia.bg](mailto:tarnev@tu-sofia.bg)

*Резюме.* В доклада са представени целите, методите и съдържанието на курса “Компютърно моделиране на физични системи”, предназначен за студенти от специалност ПФКМ на ТУ-София. Дадени са и примери за решаваните задачи в различни теми от курса.

**Ключови думи:** обучение по физика, компютърни симулации.

### 1. Увод

Компютърните симулации са изключително важна част от съвременната физика. Това намира своето отражение и при обучението на студентите-физици и инженери. Издадени са и редица учебници по моделиране и симулации, например [1-4].

“Компютърно моделиране на физични системи” е нов курс за студентите от специалност ПФКМ на ТУ-София. Той се явява една от основните дисциплини за новата насоченост на специалността към компютърно моделиране. За първа година курсът се провежда през учебната 2021-22 г.

### 2. Цели, използвани методи и съдържание на курса

Основните цели на курса по отношение на обучението на студентите могат да бъдат формулирани по следния начин:

1. Нов поглед към изучавани раздели на физиката от гледна точка на компютърното моделиране;
2. Нови знания за неизучавани раздели на физиката;
3. Разширяване на „общата култура“ по някои теми от физиката.

Като пример за реализацията на тези цели ще разгледаме механичните трептения. Те, разбира се, са изучавани в курса по обща физика. По първата цел, компютърните симулации позволяват на студентите да изследват самостоятелно ролята на различните параметри върху периода, затихването и резонанса. По втората цел, в уравнението за движение се добавят и нелинейни членове. Нелинейните трептения не се изучават в курса по обща физика, но те имат своето важно място в съвременната физика. От нелинейните трептения по естествен начин се стига до хаос. В настоящия курс няма нужното време за

подробно разглеждане на теория на хаоса, така че студентите получават знания на ниво „общата физическа култура“.

Математическият апарат, използван в курса е следния:

1. Задачи, решавани с обикновени диференциални уравнения (ОДУ). Използват се модификации на метода на Ойлер и на Рунге-Кута;

2. Задачи, решавани с частни диференциални уравнения (ЧДУ). Използва се методът на крайните елементи;

3. Задачи, решавани с Монте Карло методи.

По такъв начин се обхващат основните методи, използвани в съвременните компютърни симулации на физични системи. Където е възможно, студентите разработват собствени програми. Използват се и комерсиални продукти.

В курса са разглеждани задачи от следните раздели на физиката:

1. Механика
  - 1.1. Движение на тяло в среда със съпротивление
  - 1.2. Релативистично движение
  - 1.3. Задача на Кеплер
  - 1.4. Трептения
  - 1.5. Теория на хаоса
  - 1.6. Механика на флуидите
  - 1.7. Структурна механика, деформируемо тяло
2. Термодинамика и статистическа физика
  - 2.1. Явления на пренос
  - 2.2. Разпределения на Болцман и Максвел
3. Електричество и магнетизъм
  - 3.1. Магнитно поле на кръгов и прав проводник
  - 3.2. Магнитно поле на соленоид
  - 3.3. Мултифизична задача: индуктивно нагриване
4. Атомна и ядрена физика
  - 4.1. Радиоактивен разпад
  - 4.2. Опит на Ръдърфорд
  - 4.3. Частица в безкрайна яма

В програмата отсъстват задачи от разделите Електромагнетизъм и Оптика, за които са предвидени отделни курсове в учебния план на специалността.

При разглеждането на дадена задача се прилага следната схема:

1. Извеждане на уравненията
2. Аналитично решаване (в по-прости случаи)
3. Числено решаване в същия случай и сравняване на резултатите (валидиране на модела)
4. Усложняване на задачата с добавяне на нелинейни ефекти или по-сложна геометрия, при което е възможно само числено решение
5. Ако е възможно, решаване на задачата и с друг метод

В зависимост от конкретната задача, някои от горните стъпки може и да не могат да се приложат.

### 3. Основни задачи в курса

В тази секция е направено по-подробно разглеждане на задачите в курса и са показани примерни резултати. Следвана е номерацията на задачите от предната секция.

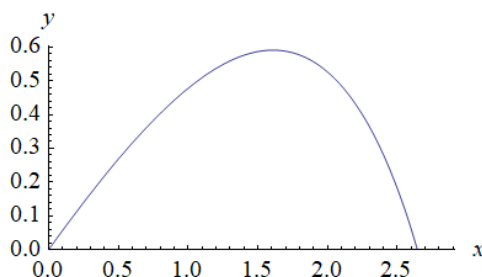
#### 1. Механика

##### 1.1. Движение на тяло в среда със съпротивление

Тук се решава уравнението за движение:

$$m \vec{g} + \vec{F}_c = m \vec{a} \quad (1)$$

В горното уравнение  $m$  е масата на тялото,  $g$  е земното ускорение,  $\vec{F}_c$  е силата на съпротивление и  $a$  е ускорението на тялото. При едномерно движение и сила на съпротивление, пропорционална на скоростта, съществува аналитично решение, а получаването и тълкуването на численото решение е лесно. Поради това този случай се използва като уводен в курса и служи за преговор на основните числени методи за решаване на ОДУ. При двумерно движение и произволна форма на силата на съпротивление решението е само числено.

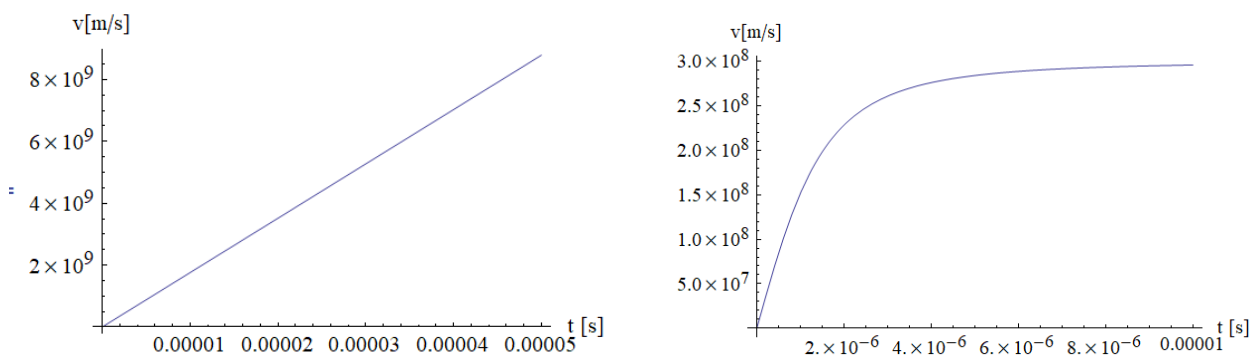


**Фиг. 1.** Траектория на тяло, хвърлено под ъгъл спрямо хоризонта, при сила на съпротивление, пропорционална на скоростта на квадрат.



### 1.2. Релативистично движение

За да се покаже, че всеки модел има ограничена област на приложение, в курса се разглежда движението на електрон в електрично поле. Електронът лесно се ускорява до много големи скорости, като при решаването на класическото уравнение на движение могат да се получат скорости по-големи от скоростта на светлината. Намира се и правилното решение в рамките на теорията на относителността и се коментират разликите.



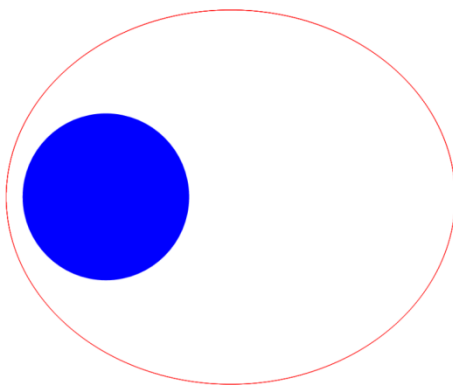
**Фиг. 2.** Скорост на електрон, ускоряван в електрично поле. Резултати получени в рамките на класическата физика (ляво) и теорията на относителността (дясно).

### 1.3. Задача на Кеплер

Тук числено се решава уравнението за движение на тяло в гравитационното поле на Земята:

$$m \vec{a} = -\frac{GMm}{r^3} \vec{r} \quad (2)$$

$G$  е гравитационната константа,  $M$  е масата на Земята, а  $r$  е разстоянието между тялото и центъра на Земята. Изследват се различните видове траектории в зависимост от началната скорост на тялото. Формулират се законите на Кеплер, които не се изучават в курса по обща физика (без да се прави аналитично извеждане).

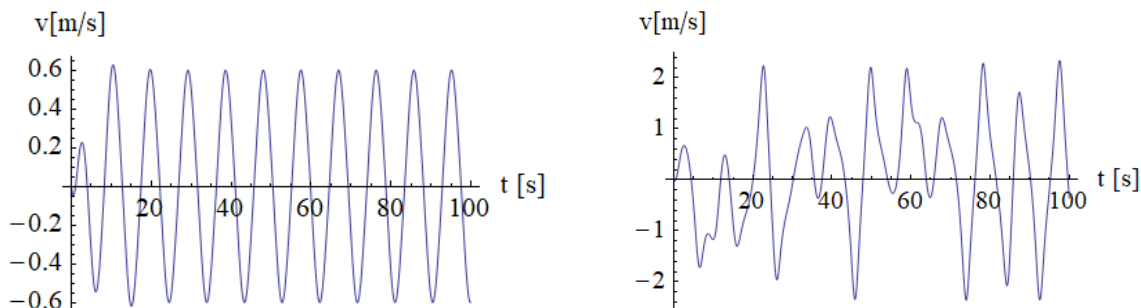


**Фиг. 3.** Движение на тяло около Земята

### 1.4. Трещения

Аналитично и числено се решават случаите на свободни, затихващи и принудени трещения. Новото тук е разглеждането на нелинейни трещения и по-специално, на принудени нелинейни трещения на математично махало:

$$x'' + q.x' + \omega_0^2 \sin(x) = F_D \sin(\omega.t) \quad (3)$$



**Фиг. 4.** Решение на уравнение (3) при  $F_D = 0.5$  (ляво) и  $F_D = 1.2$  (дясно).

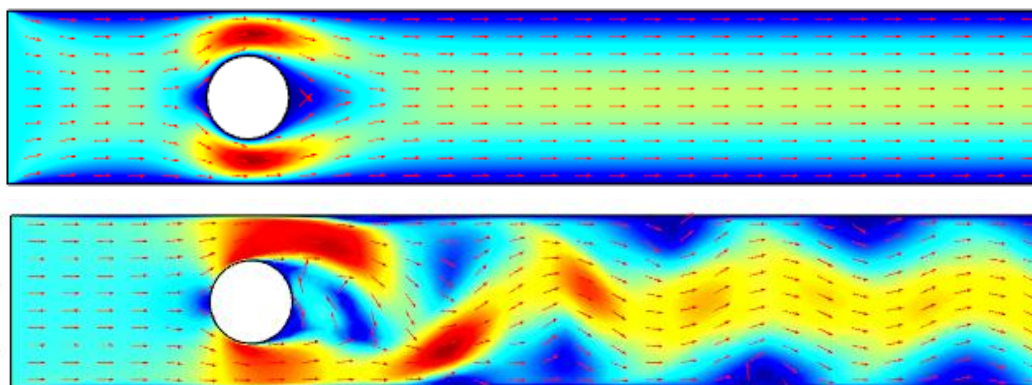
Показва се, как при увеличаване на външната сила се преминава от обичайните принудени трещения към хаос (фиг. 4).

### 1.5. Теория на хаоса

Както бе казано по-горе, прави се кратко разглеждане на някои най-популярни въпроси от теорията на хаоса, а именно системата на Лоренц, логистичното уравнение и системата хищник-жертва.

### 1.6. Механика на флуидите

Прави се, макар и опростен извод на уравнението на Навие-Стокс. Въвеждат се някои основни понятия като ламинарен и турбулентен поток и число на Рейнолдс. Решаването на уравнението на Навие-Стокс се прави числено със специализиран софтуер. Като пример се разглежда протичането на флуид в тръба.



**Фиг. 5.** Протичане на флуид в тръба. Ламинарен поток (горе) и турбулентен поток (долу). Легенда: червеният цвят съответства на голяма скорост, синият – на малка.

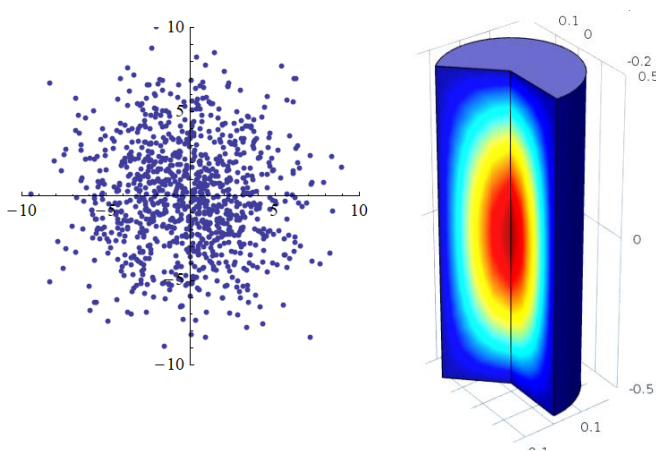
### 1.7. Структурна механика, деформируемо тяло

Тази тема е застъпена слабо, тъй като е изучавана по инженерни дисциплини. Прави се демонстрация на възможностите на продуктите за изследване на деформациите и напреженията в твърди тела.

## 2. Термодинамика и статистическа физика

### 2.1. Явления на пренос

Темата се използва за преговор на аналитичното решаване на ЧДУ. Решават се уравнението за непрекъснатост и за топлопроводност. Аналитичните резултати се сравняват с числени резултати от решаване на същите уравнения със софтуерен продукт. За по-добро разбиране на физиката на явленията се прави и Монте Карло модел.



**Фиг. 6.** *Резултати от моделиране на дифузия чрез Монте Карло метод (ляво) и чрез решаване на ЧДУ (дясно).*

### 2.2. Разпределения на Болцман и Максвел

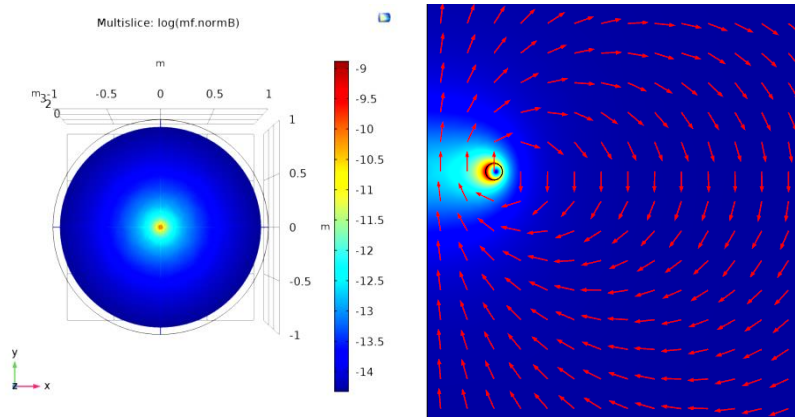
Разпределенията се получават от Монте Карло модел, като при разпределението на Болцман на движението на частиците влияе силата на тежестта, а при разпределението на Максвел се отчита обмена на енергия при удари.

## 3. Електричество и магнетизъм

### 3.1. Магнитно поле на кръгов и прав проводник

### 3.2. Магнитно поле на соленоид

Тук се сравняват добре известните аналитични резултати и числени резултати получени със софтуерен продукт.



**Фиг. 7.** *Магнитна индукция на безкраен прав проводник (ляво) и кръгов проводник (дясно, аксиална симетрия, сечение).*

### 3.3. Мултифизична задача: индуктивно нагряване

Тази задача се разглежда като малка курсова работа. Изисква разработването на модел, включващ индуктор и нагряван детайл. Задачата е мултифизична, защото включва електрични, магнитни и топлинни явления.

## 4. Атомна и ядрена физика

### 4.1. Радиоактивен разпад

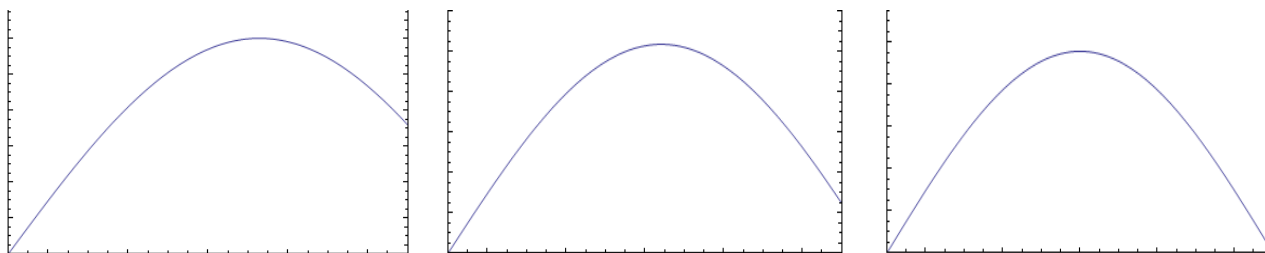
Тази донякъде проста задача се използва за сравняване на различните методи, използвани в курса. Първо се получава аналитично решение, след което числено се решава съответното ОДУ. При същата константа на разпад се изчислява вероятността едно ядро да се разпадне в даден интервал от време. Този резултат се използва в Монте Карло модел. Сравнението позволява да се покажат особеностите, предимствата и недостатъците на всеки от подходите.

### 4.2. Опит на Ръдърфорд

От гледната точка на численото моделиране задачата за разсейване на алфа частици е същата като Кеплеровата задача, като силата не е на привличане, а е на отблъскване.

### 4.3. Частица в безкрайна яма

Стационарното уравнение на Шрьодингер се решава като гранична задача. Започва се с нулева стойност на вълновата функция в левия край на ямата и произволна стойност на производната ѝ. Енергията на частицата се варира докато вълновата функция стане равна на нула и в десния край на ямата. Произволността на производната се премахва след нормиране на вълновата функция.



**Фиг. 8.** Вълнова функция на частица в безкрайна яма при три различни стойности на енергията. Правилното решение е на най-дясната фигура.

#### 4. Заключение

Имайки предвид, че курсът се води за първа учебна година, очевидно е необходимо натрупване на опит за резултатите от обучението на студентите и последващо коригиране на съдържанието му. Възможен недостатък е разглеждането на теми от твърде много различни раздели на физиката. От друга страна, това се прави в много учебници по компютърно моделиране.

Съществен проблем са високите цени на лицензирания софтуер и недостатъчно доброто качество на безплатните аналози. Друг проблем е нееднаквата подготовка на студенти от различни специалности, слушащи курса.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] Nicholas J. Giordano, Computational physics, Prentice-Hall International (UK) Limited, London, 1997.

[2] Harvey Gould, Jan Tobochnik, and Wolfgang Christian, An Introduction to Computer Simulation Methods Applications to Physical System <https://www.compadre.org/osp/items/detail.cfm?ID=7375>.

[3] Steven C. Chapra, Applied Numerical Methods with MATLAB® for Engineers and Scientists, McGraw-Hill, New York, 2008.

[4] Roger W. Pryor, Multiphysics modeling using COMSOL: a first principles approach, Jones and Bartlett Publishers, Sudbury, MA, 2011.



# ЗАГАДКИ В СЛЪНЧЕВАТА СИСТЕМА – МИРИС, ВКУС, ЗВУК И КРАСОТА НА ПЛАНЕТИТЕ

**Бойко Рангелов**

Геологопроучвателен Факултет, Минно-Геоложки Университет-София, България

e-mail: [branguelov@gmail.com](mailto:branguelov@gmail.com)

***Резюме:** Интензивното развитие на космическите изследвания през последните години доведе до натрупване на нови и по-точни данни за физическите, химическите и биологически условия на обектите в слънчевата система. Използването на нови технологии и комуникационни възможности спомогнаха за трансформирането на обективните научни данни във възприемчиви за човешките сетива свойства – мирис, вкус, звук, дори до абстрактни възприятия като красота, дружелюбност и др. използвани в средствата за масова информация. Представената статия има научно-популярен характер с цел да представи пред по-широка публика някои от необичайните (от наша – човешка, гледна точка) свойства на основни обекти от Слънчевата система и дори по-далеч.*

**Ключови думи:** Планети, Слънчева система, мирис, вкус, звук и красота

## 1. Въведение

Космическите изследвания на планетите в Слънчевата система се развиват с бурни и ускоряващи се темпове. Мисии с космически апарати, облитащи по-близки и по-далечни обекти, вече са ежедневие и носят все повече и все по-надеждна информация за различни свойства на планетите. Едни от най-загадъчните са вкусът, мирисът и евентуалните звуци, които могат да бъдат усетени при евентуални посещения на различните обекти – планети, спътници, комети, астероиди. Красотата е субективно усещане, но най-често се свързва с цветовата гама и динамиката на обвивките на космическите тела.

Доколкото липсват органолептични данни за тези свойства, засега може да съдим за тях само по косвен път.

Има ли съвременната наука възможности за подобни изследвания и доколко те носят достоверна информация?

В основата на тази методика за изучаване и събиране на информация стоят добре разработени и отработени методи на физиката, химията, астрофизиката, дистанционните измервания и други клонове на науката.

Достоверността на получените данни се обезпечава чрез многократни мисии на космическите апарати насочени към изучаването на телата от Слънчевата система и осъществявани от различните космически страни. Интересът на различните държави към космическите изследвания и технологии, непрекъснато нараства и броят на мисиите вече е над сто, което изисква огромен научен, технически и финансов потенциал.

## 2. Как се събира информацията?

В основата на тези важни изследвания е химическия състав (елементи и съединения) на твърдите, течни и газообразни обвивки на изучаваните космически обекти. Методите на планетарната химия се опират както на дистанционни методи от Земята, така и на възможностите на различните аналитични подходи за анализ, използвани от космическите апарати (дистанционни или преки) и преките опробвания, извършвани от екипаж (засега само на Луната).

Тук влизат такива утвърдени и надеждни методи като спектрален анализ (в проходяща или отразена светлина, в инфрачервения и/или ултравиолетовия спектрален прозорец), дистанционно светлинно и лазерно сондиране, газ-хроматография, преки методи на опробване с различни индикаторни реакции между химикали, чувствителни на действието на едно или друго вещество и други методи за определяне на химическия състав.

Чувствителността на подобни методи е чудовищна – могат да се определят концентрации до 1 ppm на милионна или дори милиардна част от веществото (повечето хора знаят при преминаване на граничните пунктове между държавите, че понякога обърсват с чувствителна тъкан дрехи и други повърхности от тялото ни и след секунди, анализаторът казва, дали не сте се допирали до наркотици – случайно или нарочно). Точно тази висока чувствителност, често се използва за установяване на наличието или отсъствието на дадено вещество (например в атмосферата на планетите, спътниците или други космически обекти – комети, астероиди и др.).

Основен способ за събиране на информация за химическия състав (атоми, молекули и химически съединения) и физическите параметри (релеф, гравитационно и магнитно поле, радиация и др.) са мисиите, изпълнявани от различни космически апарати, достигащи по-близо или по-далеч от изследваните космически обекти.

## 3. Трансформациите

След като има надеждно определен химически състав, следва т.н. процес на трансформация, т.е. превръщане на данните за концентрациите на различни вещества в органолептично усещане. Това важи най-вече за установяване на мириxa на космическия обект. Клетките на човешкия нос са специализирани да усещат различните миризми на различните химически елементи и съединения. Въпросът със вкуса е по-сложен, но механизмът на трансформиране работи аналогично.

Най-трудно се трансформират звуците, издавани от различните космически обекти в честоти, доловими за човешкото ухо. Но синтезаторите на звуци

лесно се справят с тази задача. След спектрален анализ сместването на честотната лента към тази, възприемана от човешкото ухо, е доста по-лесно. Трябва да се отбележи, че липсата на въздух (или атмосфера) около някои космически обекти не е пречка за „озвучаване“. Сеизмичните вълни, заедно с другите еластични вълни, като вълнови процеси също могат да бъдат подложени на спектрален анализ и сместени в областта на чуваемост на човешкото ухо. Така, всички записи на вълнови процеси се трансформират в звуци, възприемани от слуховия апарат на хората, като създават усещането за „звучене на космическите обекти“.

„Красотата“ се диктува от цветовата гама, взаимното разполагане на цветовете върху изображенията на обектите, както и динамиката в изменението им.

#### 4. Мирис, вкус, звуци и „красота“ на обекти в Слънчевата система



Фиг. 1. Разнообразие на планетите в Слънчевата система

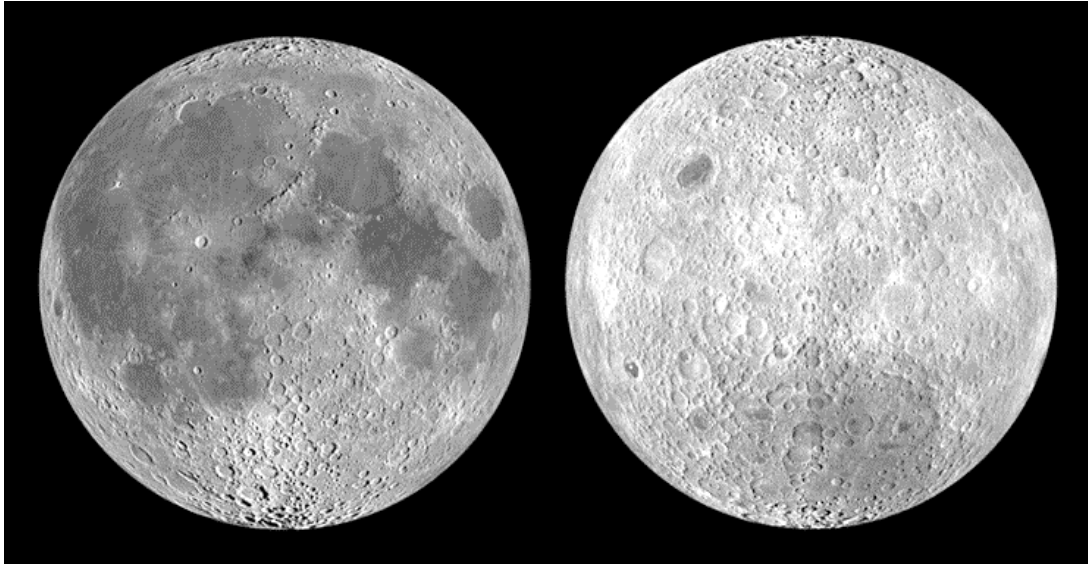
##### 4.1. Луната

Единственото засега космическо тяло, посетено от космически екипажи.

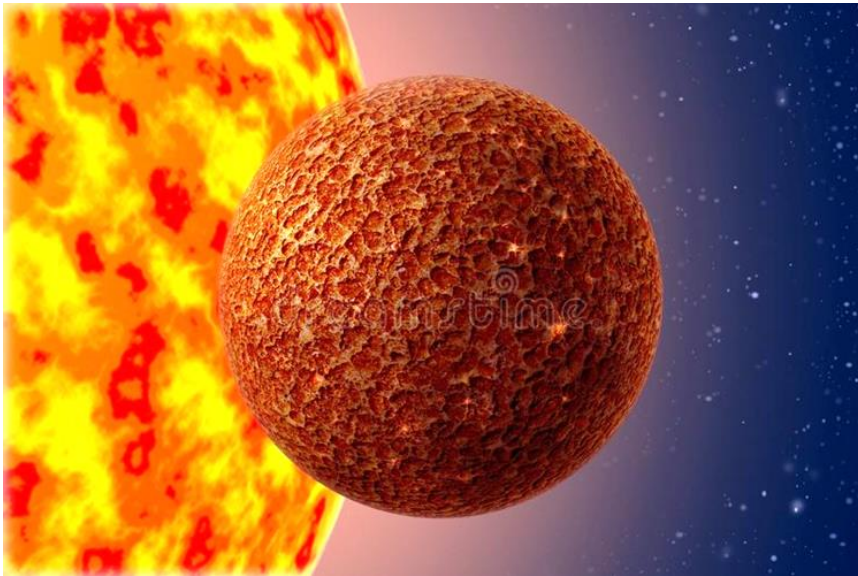
**Основни химически субстанции:** Водород, Хелий, Кислород, Сяра, Желязо, Силикати. **Мирис:** На барут (органолептично установен от екипажите, при допир на пробите с кислород – изчезва с времето). **Вкус:** на кибритени клечки с кисел оттенък. **Звук:** кънтящ от събраните твърди скални образци, сеизмографите регистрират сеизмични вълни („звученето“ им е много по-продължително от това на Земята), пукот при удари на метеорити. **Красота:** цвят – сивокафяв, релеф изпълнен с кратери, изглед – на вулканска пустиня.

##### 4.2. Меркурий

**Химически субстанции:** Водород, Хелий, Сяра, Силикати. **Мирис:** вероятно както на Луната. **Вкус:** киселее. **Звук:** нискочестотен екот (бумтеж при удар). **Красота:** цвят – кафявосивкав, релеф изпълнен с кратери, изглед – на блестяща вулканска пустиня.



**Фиг. 2.** Луната – видима и невидима страна

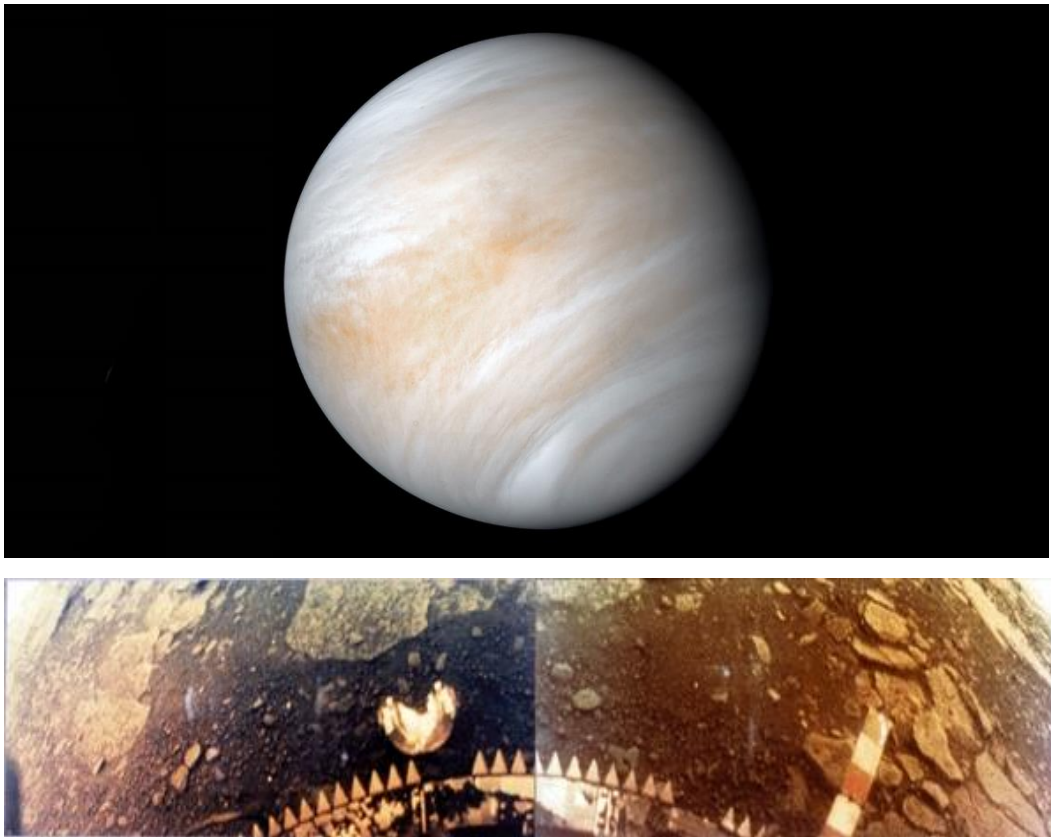


**Фиг. 3.** Меркурий – обгорена от Слънцето планета

### **4.3. Венера**

**Химически субстанции:** Сярна киселина, Въглероден оксид и диоксид, Сероводород, Фосфин, Силикати. **Мирис:** Задушлив, развалени яйца, гнила риба, силно отровна атмосфера. **Вкус:** интензивно кисел. **Звук:** на духащи ветрове, сеизмични вълни. **Красота:** цвят – сребрист с кафяви оттенъци, релеф – силно нарязан с речни долини и плата,; изглед – близък до земния, преобладаващо пустинен, с планини и равнини, вулкански кратери и метеоритни импакти.





Фиг. 4. Венера – общи вид и панорама (долу)

#### 4.4. Марс

**Химически субстанции:** Сяра, Сероводород, Желязо и железни окиси, Силикати. **Мирис:** Кибрит, Развалени яйца, Ръжда. **Вкус:** на ръжда. **Звук:** на духащи ветрове, сеизмични вълни, понякога търкалящи се камъни. **Красота:** цвят – преобладаващо сивкаворъждив; релеф – кратери, речни долини и плата, силно нарязан; изглед – най-близък до земния, преобладаващо пустинен, с планини и равнини, вулкански кратери и метеоритни импакти.



Фиг. 5. Марс – панорама и общ вид

#### 4.5. Юпитер

**Химически субстанции:** Водород, Хелий, Сероводород, Амоняк, Фосфин, Циановодород. **Мирис:** Тежка воня на развалени яйца, чревни газове, урина, гнила риба, горчиви бадеми. **Вкус:** кисело-горчив. **Звук:** Рев, нискочестотно бучене, плашещи звуци. **Красота:** цвят – сребристо-бели и жълтокафяви ивици от бури и урагани, атрактивна.



Фиг. 6. Юпитер (ляво) и Сатурн (дясно)

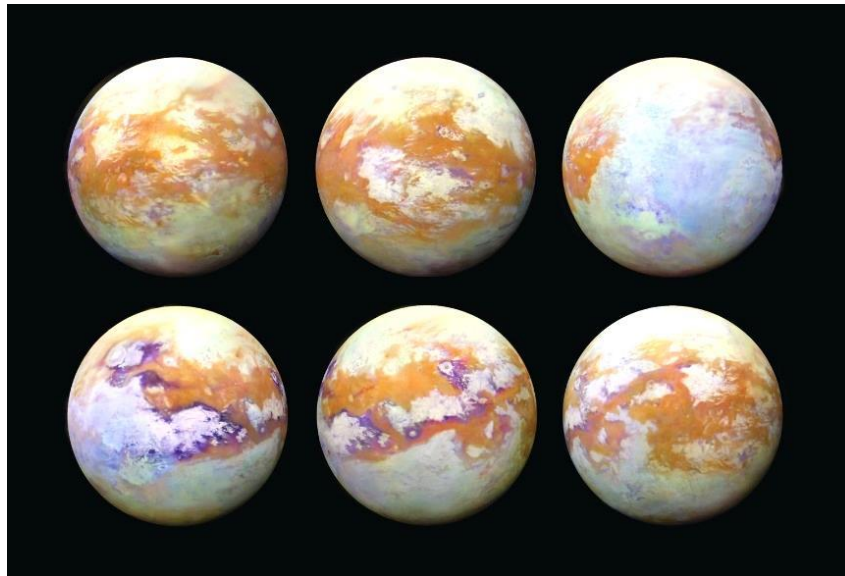
#### 4.6. Сатурн

**Химически субстанции:** Водород, Хелий, Сероводород, Амоняк, Фосфин, Циановодород, Амниев хидросулфид. **Мирис:** Много тежка воня на развалени яйца, чревни газове, урина, гнила риба, горчиви бадеми, боя за коса. **Вкус:** кисело-горчив. **Звук:** Рев, нискочестотно бучене, тежки хрипове. **Красота:** цвят – синкавокафяв, пръстени и много спътници (вероятно най-красивия изглед).

#### 4.7. Титан

**Химически субстанции:** азот (98%) Метилацетилен, Цианоацетилен, атмосфера и течни субстанции. **Мирис:** Бензиностанция. **Вкус:** изключително неприятен. **Звук:** свистене от гейзери. **Красота:** цвят – синкав, кафяв, виолетов, красив изглед, (вероятно най-подобен по цетове на Земята).

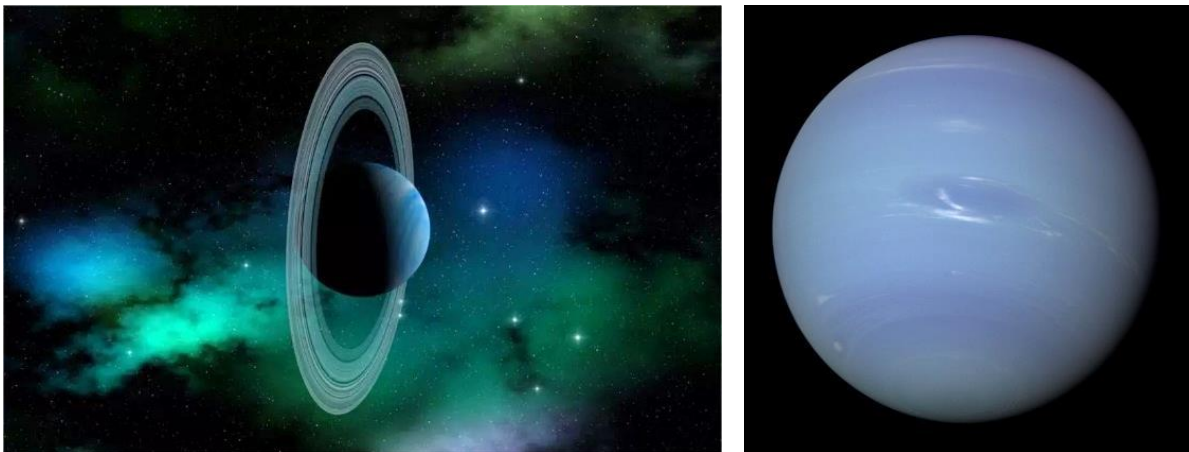




**Фиг. 7.** Титан – спътник на Сатурн, с най-подобен на Земята изглед

#### 4.8. Уран

**Химически субстанции:** Водород, Хелий, Сероводород, Амняк (по-малко) Фосфин, Циановодород, Амниев хидросулфид. **Мири:** Тежка воня на развалени яйца, чревни газове, урина, гнилоч, горчици бадеми, боя за коса. **Вкус:** кисел-изключително неприятен. **Звук:** няма данни (подобни на Сатурн). **Красота:** цвят – синкав, изглед –атрактивен, с пръстени вертикални на оста.



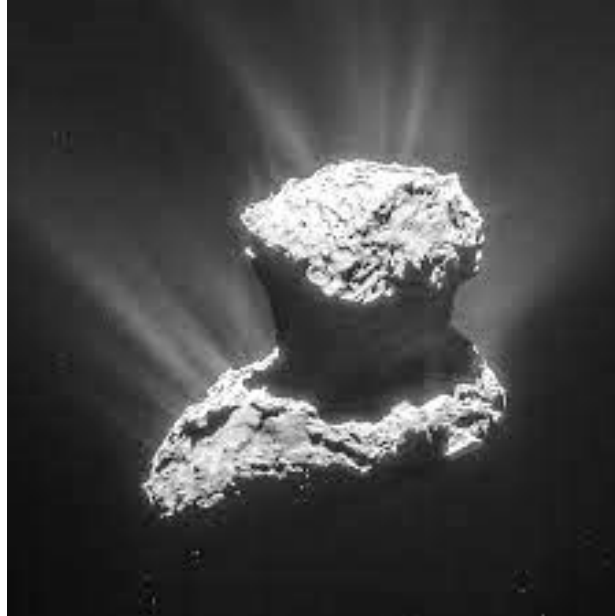
**Фиг. 8.** Уран (ляво) и Нептун (дясно)

#### 4.9. Нептун

**Химически субстанции:** Водород, Хелий, Сероводород, Амняк (по-малко) Фосфин, Циановодород, Амниев хидросулфид. **Мири:** Тежка воня на развалени яйца, чревни газове, урина, гнилоч, горчици бадеми, марципан, боя за коса. **Вкус:** кисел-изключително неприятен. **Звук:** няма данни (подобни на Сатурн). **Красота:** цвят – синкав, студен.

#### 4.10. *Комета 67P/Чурюмов-Герасименко*

**Химически субстанции:** CO, CO<sub>2</sub>, Следи от: Сероводород, Серен диоксид, Амоняк (по-малко), Циановодород. **Мири:** Кибрит с оттенъци на развалени яйца, урина, горчиви бадеми. **Вкус:** кисело-горчив. **Звук:** Свистене, падащи късове. **Красота:** цвят – ледено-белезникав.



Фиг. 9. Кометата 67P/Чурюмов-Герасименко

#### 4.11. *Мъглявината Стрелец В2*

**Химически субстанции:** Етилов алкохол, Формалдехид, Мравчена и Оцетна киселина. **Мири:** На алкохол с уклон ром и малини, болница, прокиснало. **Вкус:** кисело-солен (водка със салатка от туршийка). **Звук:** Няма данни. **Красота:** цвят - пъстър, изключително красива.



Фиг. 10. Мъглявината Стрелец В2

## 5. Има ли още загадки?

Има и още как. Разбира се, изучаването на свойствата и характеристиките на телата от слънчевата система не могат да се ограничат с досегашните познания, има редица въпроси – следствие на досегашните знания, които тепърва ще се решават. Например – формирането поотделно на твърди и газови планети. Логиката, че по-плътните химически субстанции са градивни за по-близките до Слънцето планети, а газовите – за по-отдалечените, някак не съвпада с наличието на Плутон и неговия най-голям спътник – Харон, и двете твърдотелни образувания, най-отдалечени от Слънцето. Или пък най-голямото изключение – Земята, с нейния разнообразен химичен състав, геодинамика, хидросфера и газообразна атмосфера. Едва ли е създадена от природата само за да осигури добри условия за развитието на човечеството. От казаното до тук излиза, че всички тела от Слънчевата система, с изключение на Земята са твърде неблагоприятни за хората и живите организми от земен тип. Така че, ДА ПАЗИМ НАШАТА ПЛАНЕТА.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] [https://www.actualno.com/cosmos/na-kakvo-mirishat-planetite-v-slynchevata-sistema-news\\_1701279.html](https://www.actualno.com/cosmos/na-kakvo-mirishat-planetite-v-slynchevata-sistema-news_1701279.html)

[2] [https://www.actualno.com/cosmos/hripyt-na-saturn-i-revyt-na-upiter-muzikata-na-kosmosa-news\\_1710223.html](https://www.actualno.com/cosmos/hripyt-na-saturn-i-revyt-na-upiter-muzikata-na-kosmosa-news_1710223.html)

[3] <https://www.google.com/search?channel=nus5&client=firefox-b-1-d&q=Pics+of+the+planets>

# THE SEISMIC HAZARD AND RISK COMPONENTS – NECESSARY KNOWLEDGE FOR THE REAL ESTATE BUSINESS (SOFIA CASE)

**Rumiana Glavcheva<sup>1</sup>, Boyko Ranguelov<sup>2</sup>, Margarita Matova<sup>3</sup>, Atanas Kisyov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> BASA, Sofia, Bulgaria;

<sup>2</sup> MGU, Sofia, Bulgaria,

<sup>3</sup> GI-BAS, Sofia, Bulgaria

***Resume:** The presented research is a part of wider investigation related to the application of basic sciences to the sustainable development. It deals with the presentation of knowledge to the real estate (fast growing business) about the natural hazards and their influence to the society safety and human comfort of life. The example of application the knowledge about seismic hazard and related phenomena simplified to be more available to the non-specialists (such as real estate agents and companies) targeted to Sofia (as largest urban center and capital of Bulgaria) can attract and improve the learning abilities for the society's sake.*

**Key words:** seismic hazard, real estate, knowledge

## 1. Introduction

There are two main directions to the real estate assessment of the seismic hazard influencing the safety and comfort for new or used property:

- The first one is related to the obligatory codes and regulations necessary for each real estate object and defined by the national laws and applications for each real estate object. (Examples: resilience to the seismic influence, vertical and horizontal loading of the building construction, soil conditions and their effect to the seismic one, etc....). It is proved by the national codes and regulations which are obligatory for all real estate objects – private buildings, social and entertainment objects, land, etc. This is considered by the geology reports, national codes and regulations, building rules, materials standards, etc. In the everyday practice, each building needs a geology report made before the construction started, taking into account seismic codes and rules, stability of construction to vertical and horizontal loads (incl. against the wind), fire protection etc., generally in a very common sense. Usually consider average conditions of the region and do not consider the specific conditions for each separate site (excluding NPP's and other important infrastructure with higher requirements).
- The second one is locally targeted and related to more specific dangers (for example - locations on active faults, possible liquefaction soils, possible high level of the ground water, etc., which could be dangerous for the buildings, land or humans [1]).

The presented paper is targeted to the second topic because in many aspects the deficiency of knowledge of the real estate agencies do not allow them to be enough competent and informative for both sides – the sellers and the buyers. Very few real estate agents are familiar with such topics and sometimes have a competence based only on their personal experience and interest to know more about such problems. It is an important issue especially for the territories with high seismic hazard potential and higher risk [2] and complicated geological structure in shallow horizontal directions (close to the earth surface), where the conditions are fast changing in their lateral properties. Very important topics in this direction are the lateral heterogeneities in the ground and in small distances. There are hundreds of examples where only part of a building (built up according the standards) collapses and another part is in a stable condition due to different reasons (earthquakes, landslides, suffusion, land collapse, etc. [2].

Aiming to provide more accurate information about the seismic hazard and risk in Sofia region to the real estate agencies and agents, this paper summarizes at a common understandable level the available information.

## **2. Seismic Hazard**

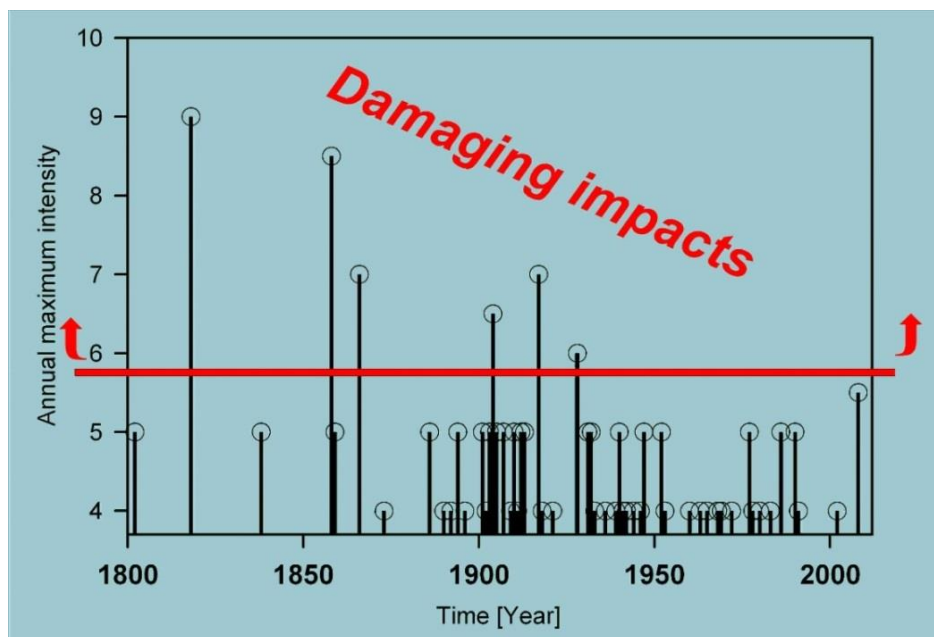
The seismic hazard of Sofia and surroundings was studied in details and published in 2020 [3]. It included a lot of specialized knowledge about seismicity, geological and geotechnical conditions, geodynamics, etc. Here only a short extract is presented to make familiar the reader about some important peculiarities related to the real estate business.

### **2.1. Geodynamics and Seismicity of the Sofia region**

The general geodynamics of Sofia and surroundings is dominated by block structure established during the Neogene (20-30 My) when Sofia area was shallow sweet water lake and Vitosha – active volcano. Afterwards the lake was drained, slow down subsidence started, Vitosha volcano calmed, Sofia Graben formed and sediments accumulated.

Fig.1 shows the timeline of earthquake consequences in Sofia starting at the beginning of 19 century. The damaging effects during the last centuries' time history are distributed non-regularly, with a quiescence interval during the latest almost 90 years. In the 1880s on the chart (fig.1) there was a sign of activation that lasted until the 1950s. The appearance at the beginning is a result of coeval establishment of regular observation survey in Bulgaria. In the next six decades, Sofia was not worried by hard felt shocks. Only in May 2012 an earthquake with a magnitude of 5.8 (near Pernik) caused minor damage here and there in the capital (intensity up to 6).

As seen in fig.1 the distribution of seismic activity is irregular. The observed intensities have a cluster characteristics. This has been confirmed by a number of studies [4-6].



**Fig. 1.** Time distribution of maximum annual intensity in Sofia

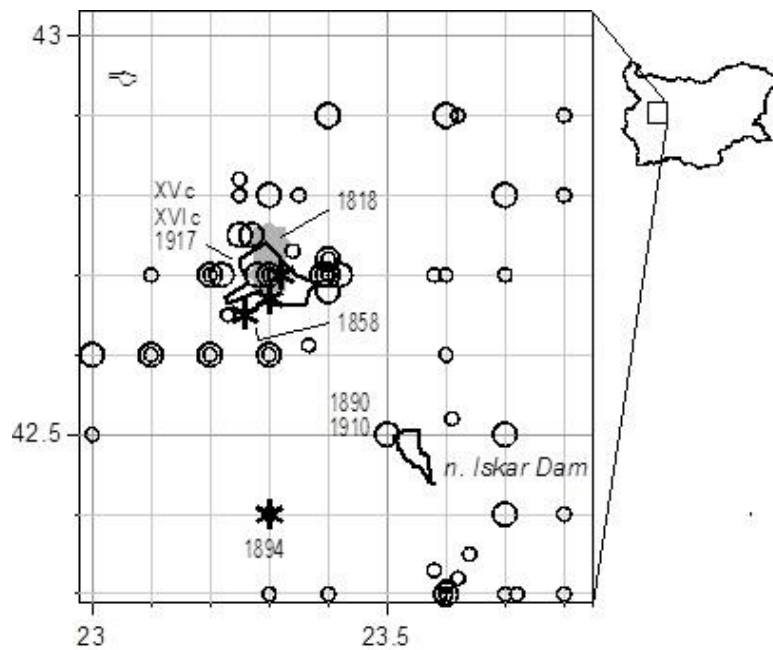
The dangerous seismicity of Sofia region is dominated by local sources. As known by historical descriptions and early seismograph network, the earthquakes in the area are presented in fig. 2. It must be mentioned that the accuracy of epicenters determination was low (error up to +/- 20-30 km).

After establishment of the modern seismic network (1980) the accuracy of epicenter determination has drastically increased and the nowadays errors are less than 1-2 km. The dense seismic network provides secure depth determination of the hypocenters, and thus allows following the faults activity and their dynamics – fig. 2 and fig. 3 [7]. Not each fault shows activity – the faults that limit the Sofia Graben in the North and in the South are most active. On 15 November 2008 occurred the strongest earthquake (local magnitude 3.9) of the period 1990-2008. It was generated in the frames of the Vitosha fault structure, on the South of Sofia [8].

According the recent knowledge the depth of the Earth's crust in the region under consideration is down to about 40-43 km [3]. The seismic activity in Sofia region develops at depths 0-30 km. The depth distribution (fig. 4) shows that the major number of earthquakes occurs in a depth interval between 0 and 10-15 km. This same space produces relatively stronger earthquakes, those whose effects are of intensity of the fifth (felt by many people and the beginning of buildings sensitivity) and higher degree.

These circumstances reflect to the destructive geodynamic processes of the Earth's crust in the region. In its turn, the shallow depth of seismic sources promotes the destructive potential of the quakes on the earth's surface - it is well known that the shallower earthquakes are more destructive. Such an approach permits the detection of much more active faults as well as blind faults, block boundaries, etc. [10].





**Fig. 2.** Earthquakes originated in Sofia and surroundings since XV century till 1980

## 2.2. Seismic effects and hazard assessment

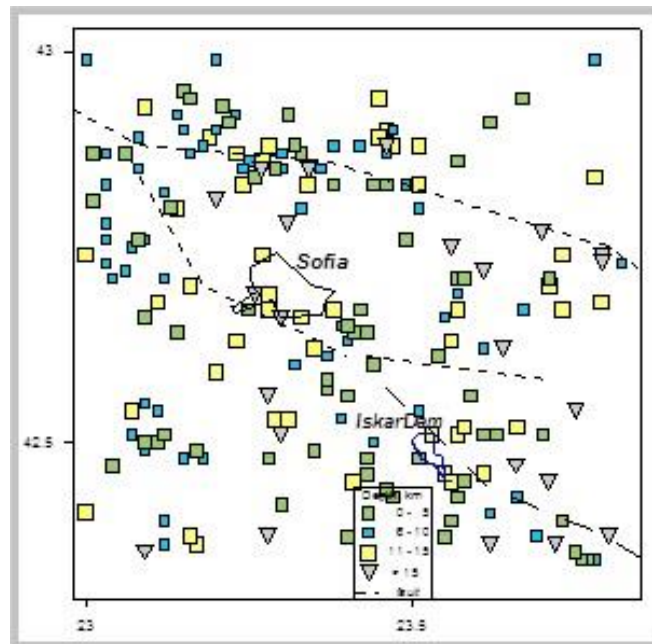
To determine the seismic hazard two main calculable approaches are used in the assessment practice:

1. Deterministic approach. This approach considers each seismic source with its characteristics – size (linear or volumetric), fault movement, certain magnitude (usually the  $M_{max}$  value is considered), amplification or attenuation function, ground conditions, distance between the seismic source and the site under assessment, etc.

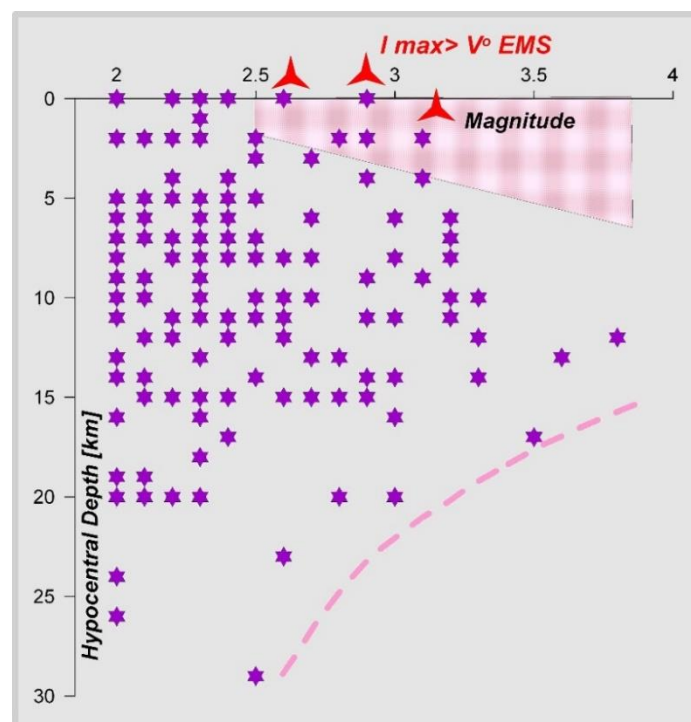
2. Probabilistic approach. Under calculation other parameters are in use – repeatability function, statistics of appeared intensities in the region, time intervals between earthquakes with certain magnitude (in receiving such an assessment the recurrence relationships of earthquakes are of help), etc.

3. During the last decades so called hybrid method for seismic hazard assessment is in use exploring both approaches – deterministic and probabilistic. From practical point of view is important to mention that the deterministic approach usually gives higher values of seismic hazard (large magnitude events) and vice versa.

Strong influence on the seismic risk is the seismic location parameter (distance between the source and the assessing site). Conditionally in this study, the seismic sources are divided to local (less than 30 km epicentral distance), and regional and external – between 30 and 150 km (the seismic risk they pose is considered low).

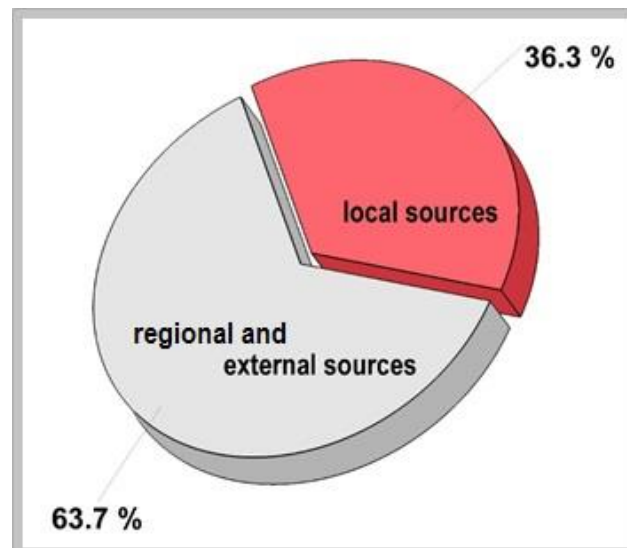


**Fig. 3.** Epicenters and focal depth distribution together with main faults in Sofia region for 1990-2008 (minimum magnitude -  $M_{min} = 2.0$ )



**Fig. 4.** Hypocentral depth according the earthquake's magnitude distribution in Sofia region (1990-2008) [9]

The only exception for the Bulgarian territory is the seismic source Vrancea (Romania), which can influence the larger portion of the Bulgarian territory. The main peculiarity of this source is depth (between 90 and 150 km). Because the depth is larger, the seismic effects can affect larger areas.

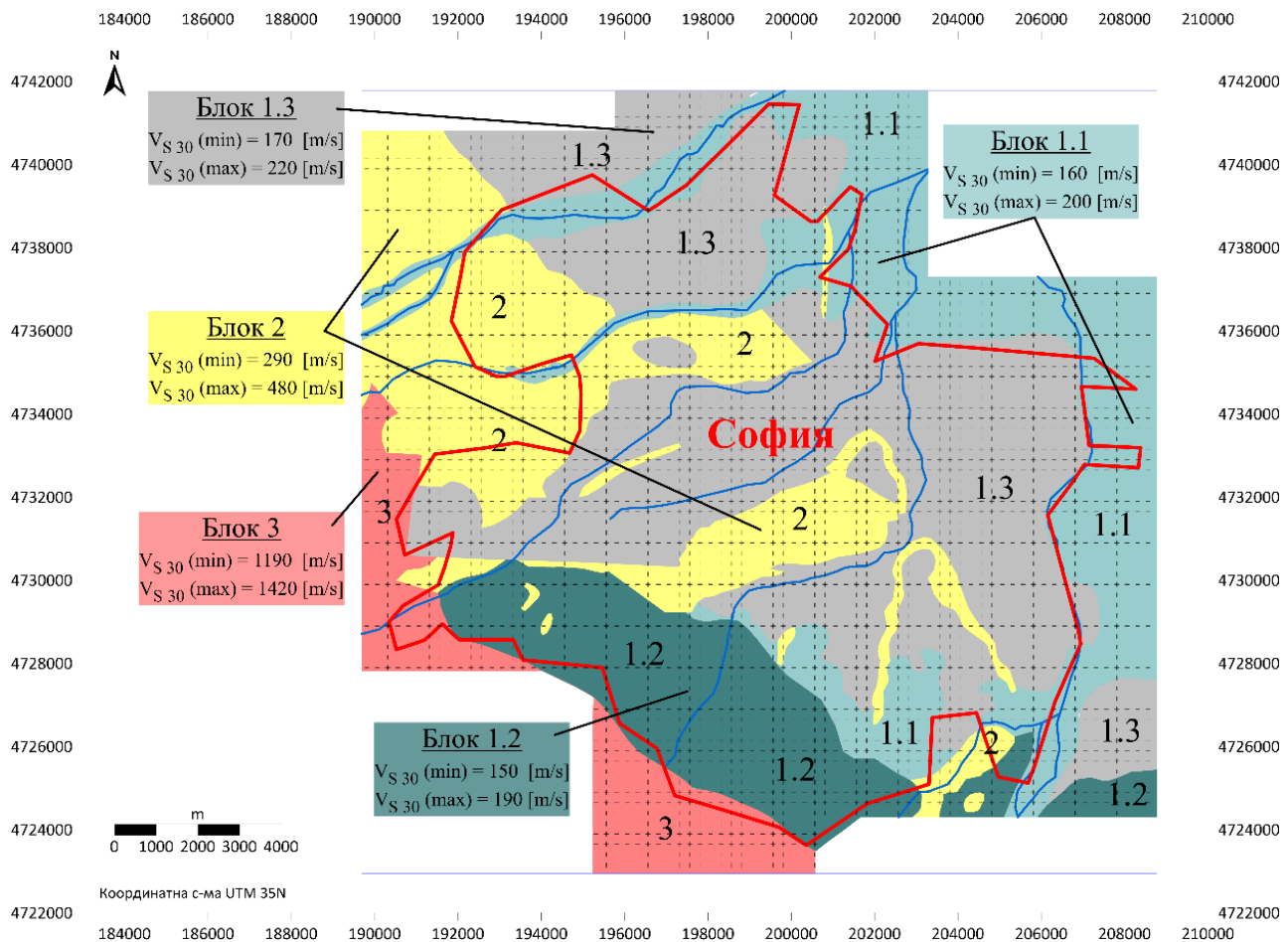


**Fig. 5.** *Distribution of felt seismic effects in Sofia*

The statistics of seismic effects to the Sofia region shows domination of the regional and external seismic sources (about 2/3 of all) that's why is important also to have in mind the damaging potential of the not locally originated earthquakes [7].

The seismic hazard is measured in different scales. Most frequently in use are scale of intensities (I) EMS, MM-56, MSK, etc., measuring effects of earthquakes on humans, on objects inside the buildings, on the buildings themselves, and on nature and scale of accelerations (g) of the ground motion measuring by accelerographs. Both scales (I, g) are transferable. The scale of magnitudes and intensities are not transferable without taking into account the depth factor and the additional local secondary circumstances, which follow the so-called "secondary" effects. The ground conditions can influence the seismic effects largely (up to 2-3 intensity degrees). That's why the ground conditions are essential in seismic hazard and risk assessments. The main reason is the influence of the ground conditions on the propagation of the secondary seismic waves – the most destructive part of any seismic influence.

During the last decades the ground conditions are considered by the so called  $V_s_{30}$ . This parameter reflects the integrated velocity of transverse seismic waves (S-waves or secondary waves) in the depth layer between 0 and 30 meters and is in use in all software packages for seismic risk calculations. In particular, low seismic velocity means higher ability of destruction and vice versa. That's why areas with high values of  $V_s_{30}$  are preferable for building's construction. For Sofia region a new  $V_s_{30}$  map was just constructed (fig. 6). Other significant topics are related to secondary effects accompanying strong earthquakes, such as seismic displacements [11], landslides (possibly activated by earthquakes), tsunami triggered by earthquakes or landslides, surface dislocations [12], important changes in rock mechanics - hardness and stability and own frequencies of the layers [13], ground conditions (liquefaction, density changes, sand volcanoes) [14], etc.



**Fig. 6.** Map of the parameter  $V_{S\ 30}$  for Sofia region [16]

It is important to mention that some hazard sources are unavoidable (for example, the seismic risk), others can be avoided. For example, buildings in seismic zones are often constructed taking into account the frequencies of oscillation of the expected movements of the earth [15]. If there are options to choose, usually there are simple recommendations for preferable selection of the site of the structures intended for construction (Table 1).

An important issue is the correlation between the sources and seismic risk measured by intensities versus the respective magnitude and the distances between the seismic source and the assessed site (in our case Sofia region). Usually near field seismic sources generate higher frequencies than the far field. Table 2 gives the approximate information about the expected seismic influence from far and near field seismic sources with different depths, distances and major frequency content of the seismic signal. It is general view. It frequently varied due to the specific conditions, but up to now, according historical descriptions and instrumental measurements, in the distance interval between 30 and 60 km, there are not registered seismic sources which can affect significantly Sofia city.

**Table 1.** *Hazards and important hazard sources necessary for practical use by the real estate companies (Rules – means existing regulations)*

Hazard	Hazard source	Vulnerable objects:	Source of information	Rules	Measuring parameter (units)	Recommendation
Earthquake	Vibration and destruction	Buildings and people	Seismic code	+	Intensity (I), acceleration (m/s <sup>2</sup> )	Preferable Lowest value
Earthquake	Surface dislocations	Buildings and people	Maps	-	meters	Avoid
Earthquake	Avalanches (winter time)	Buildings and people	Monitoring	-	volume	Avoid
Ground conditions	Liquefaction	Buildings, Land	Maps Vs_30	-	m/s	High Vs_30
Type of rocks	Hardness	Buildings	Geology maps	+	Rigid modulus	Hard rocks
Underground water	Water level	Buildings	Maps	-	m	Deeper is better
Tsunamis (coast areas)	Run-up, velocity	Buildings, People, Ports	Monitoring	-	m, m/s	Avoid inundation
Landslides	Volume, velocity	Buildings, People, Land	Maps	-	Size (m <sup>3</sup> , m/s)	Avoid slides
Faults	Activity	Buildings	Maps	-	Size	low activity

To consider all parameters influencing the buildings from seismic point of view, the so called microseismic zoning is performed. As it is rather complicated and very difficult and enormously expensive task, so the approximate approach is performed. In urban environment it is very difficult to find proper and calm conditions to make respective measurements of different parameters. That's why frequently non direct methods (mostly archive sources) are used to extract the necessary information for the Vs\_30 mapping [16]. For the Sofia region recent seismic microzoning maps are not available. An extended concept about seismic safety of Sofia city has been developed and published instead [17].

As it was mention, the multiple parameters for the risk assessment must be studied in advance rather carefully. The complex approach needs the use of many different technologies, equipment, specialists, etc. [13]. A general view to the parameters and their methods of study are presented in Table 3. It shows the possible methods and ways to collect data and to study the different components of the hazardous events which can influence negatively the respective property. As seen, this is a complicated task that could be studied and solved by experts from specific disciplines. To study the different parameters, various geophysical, geological and geodesy methods are in use now. Because of the large urban development, there are difficulties to get measured new data and information. That's why archive units of

previously measured parameters are frequently in use. This new methodology was developed according the requirements of the seismic risk assessment in [16].

### 3. Suggestions

Developing the idea to provide and distribute the knowledge about natural and/or man-made hazards targeted to the real estate agents and companies we would like to share that we are obliged to take the following steps in the near future:

**Table 2.** *Local and far field dangerous seismic sources for Sofia region, expected maximum magnitude  $M_{max}$  and level of seismic risk*

Source	Type of source	Distance to Sofia	Depth of source	$M_{max}$	Frequency content	Risk	$I_{max}$ at $M$ (Past events)
Sofia							
Vitosha fault zone	Local	0-20	0-20	6.5-7.0	High	High	9 at 6.5
Central fault zone	Local	0-10	0-20	6.5	High	High	9 at 6.5
Northern fault zone	Local	0-20	0-20	6.5	High	High	9 at 6.5
Blagoevgrad	Regional	60-100	0-40	7.5-8.0	Middle	High	6-7 at 7.8
Plovdiv	Regional	120-150	0-40	7.0-7.5	Middle	Middle	6 at 7.0
Vrancea	Regional	390-430	90-150	7.0-7.5	Low	Middle	5 at 7.3

**Table 3.** *Hazards and methods to study*

Hazard	Hazard source	Methods to study
Earthquake	Vibrations	Seismographs
Earthquake	Surface dislocations	Field trips, mapping
Earthquake	Avalanches (winter)	Field trips
Ground conditions	Liquefaction	Mapping, geophysics
Type of rocks	Hardness	Laboratory tests
Underground water	Water level	Geophysics, boreholes
Tsunamis (to coasts)	Run-up, velocity	Complex observations
Landslides	Volume, velocity	Field trips, maps
Faults	Activity	Field trips, maps, boreholes

- Create the systematic guides for the real estate agents and companies to make them familiar with all possible local threats and hazards. This will improve the knowledge and can help the owners, sellers, rentals and buyers to the comfort of live in the respective property or expected troubles. This also can reflect to the process of the properties assessment in wide range

- Open educational courses on a platform for distant education considering the national and international cooperation to the distribution of knowledge [18].

- Open attendance courses for basic knowledge, to the most important problems to know and be familiar;

- Provide both – owners and customers to be familiar with such a knowledge and its existence;



- Create books, booklets and short instructions with knowledge and real parameters depending on the real situation for each construction site and object, and any local condition (peculiarities).

#### 4. Conclusions

An illustrative example covering Sofia and surroundings is presented to demonstrate the lack of knowledge for a rather specific topic – natural hazards to the properties not covered by the rules, codes and regulations.

According the increase will of investors to produce building environment improving the comfort of the property owners, it seems very important to provide knowledge to the real estate business of not framed by low but dangerous for buildings, people and land environmental hazards.

The better knowledge of the real estate agents to the above mentioned topics will increase the competence and can bring additional profit informing the buyers about details not observed earlier.

The higher quality of the real estate service can reflect directly to the prices for both parties – the sellers and buyers. First companies applying this knowledge in practice will benefit surely than others.

This study is part of the plan of the Bulgarian Academy of Science and Arts (BANI -<http://basa.bg/en/>) and its Center of Natural and Engineering Science (<https://basa.bg/index.php/otdeleniq-na-bani/nauka/314>) and supported by the NS Program "Environmental Protection and Reduction of Risks of Adverse Events and Natural Disasters" (Agreement № Д01-322/18.12.2019).

#### REFERENCES

[1] Бручев И., ... Б.Рангелов... и др., Карта на Геоложката опасност в България, М 1 : 500 000, изд. ВТС, с. 2 бр., 1994.

[2] Paskaleva I., B.Ranguelov, Lessons learned by recently happened natural disasters and future research needs. In “Engaging the Public to Fight the Consequences of Terrorism and Disasters” Eds. I.Apostol, J.Mamasaklihsi, D.Subotta, D. Reimer. NATO Science for Peace and Security Series, E: Human and Societal Dynamics, vol. 120, IOS Press, 257-268 pp, 2015.

[3] Йосифов Д., И.Паскалева, Е.Ботев, Б.Рангелов, Земетръсната опасност за София. Изд. НТС по МДГМ, 227 с., 2018. ISBN: 978-619-90939-2-4

[4] Ranguelov B., T.Toteva, Recent seismicity observed around Sofia city. In. Proc. 3rd WG Meeting, Dec. 2-5, 1998, Sofia, p.7-9.

[5] Dimitrova S., B.Ranguelov, Cartography of the instrumental seismicity in the Central Western Bulgaria and possible geodynamic interpretations. Proc. 19th Intl. Symp. Geodesy 09, Sofia, 5-6 Nov. 2009, pp. 169-174, 2009. ISBN: 978-80-87159-07-1

[6] Рангелов Б., В.Славчев, С.Тачев, С.Димитрова, Изследване на земетресенията в района на София с магнитуд  $M > 3$ . *Ann. of M&G University*, Vol. 55, Part I, Geology and Geophysics, p. 124-127, 2012. ISSN 1312-1820

[7] Glavcheva R., E.Botev, M.Matova. Sofia Region and environs – seismogenic features. In: Catalogue of seismoforecasting research carried out in Azerbaijan territory in 2008. Republican Seismic Survey Center of Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, 227 – 231, 2009. ISBN 5-8066-1759-9

[8] Glavcheva R., E.Botev, K.Hadjiyski, Sv.Simeonov. Seismicity of today in Sofia region. *5<sup>th</sup> Congress of Balkan Geophysical Society*, Beograd 10-16 May 2009 (Extended Abstracts). ISSN 978-90-73781-66-5

[9] Matova M., R.Glavcheva. Seismotectonic vulnerability of cultural monuments of Sofia City (Bulgaria). In: Catalogue of seismoforecasting research carried out in Azerbaijan territory in 2008. Republican Seismic Survey Center of Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, 236 – 242, 2009. ISBN 5-8066-1759-9

[10] Ranguelov B., O.Dimitrov, A.Kisyov, S.Dimovsky, Earth's Faults Typology – Methodological Approach. Proc. 17<sup>th</sup> Intl. Scientific Conference S P A C E, ECOLOGY, SAFETY - S E S 2021, pp. 260-264, P-ISSN 2603 – 3313 e-ISSN 2603 – 3321, 2021.

[http://space.bas.bg/SES/archive/SES%202021\\_DOKLADI/PROCEEDINGS%20SES%202021.pdf](http://space.bas.bg/SES/archive/SES%202021_DOKLADI/PROCEEDINGS%20SES%202021.pdf)

[11] Paskaleva I., B.Ranguelov, N.Koleva, Assessment of the seismic displacements for the Sofia valley district. Proc. Final conf. WG., June 27-30, Sofia, p.110-117, 2001.

[12] Ranguelov B., S.Dimitrova, The secondary effects of earthquakes. Vulnerability, objects at risk and risk reduction, Proc. Intl. Conf. VSU'2004, Sofia, 20-22 May, pp.V-6 – V-11, 2004.

[13] Toshev M. , I.Paskaleva, B.Ranguelov, One approach for assessing the seismic effects on urban area: Case study for Sofia city, Proc. II-nd Scientific Conference of EPU "Education, science and innovation", 9-10 June, 2012 pp. 121-124, 2012.

[14] Ranguelov B., Seismicity and site effects on the Sofia valley district. Proc. I-st WG meeting, 31 Oct.-3 Nov.1996, Sofia, p.28-31, 1996.

[15] Ranguelov B., Local people preparedness to a strong earthquake in an active seismic zone - Sofia case. Proc. 4th WG meeting, Dec. 3-6, Sofia 1999, p. 51-53, 1999.

[16] Ranguelov B., D.Solakov, A.Kisyov, S.Dimovski, N.Stoyanov, M.Tomova, C.Tzankov, D.Gospodinov, E.Spassov, B.Georgieva, S.Christov, B.Milenkovich, O.Dimitrov, Archive information extraction for ground conditions assessment, In: Local and regional aspects of natural hazards, Eds.: Prof. Dr. B. Koulov, Dr. V. Stoyanova, Assist. Prof., „Az-buki“ National Publishing House, Sofia, e-ISBN: 978-619-7065-82-4, pp.38-44, 2021.

[https://nnpos.files.wordpress.com/2021/11/sbornik\\_local\\_web.pdf](https://nnpos.files.wordpress.com/2021/11/sbornik_local_web.pdf)

[17] Rangelov B., E.Spasov, D.Josifov, I.Paskaleva, E.Botev, R.Glavcheva, Integrated new concept for earthquake's safety for Sofia city, Bulgaria. сп. Изследовател (journal RESEARCH WORKER) 16, p.11-14, 2021.

[18] Rangelov B., F.Shadiya, F.Nistharan, M.Humra, M.Eeman, M.Ibrahim, THE EDUCATIONAL PLATFORM OF CABARET PROJECT (WP7), J. Ecological Engineering and Environment Protection, No 2, p. 48-52, 2019. <http://www.ecoleng.org/archive/2019/2/48-52.pdf>

## ПРИЛОЖЕНИЕ НА МОНТЕ КАРЛО СИМУЛАЦИИТЕ В РАДИАЦИОННАТА ЗАЩИТА

Галина Димитрова<sup>1</sup>, Ангел Демерджиев<sup>1</sup>, Димитър Тонев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика, Българска академия на науките, бул. Цариградско шосе 72, 1784 София, България, e-mail: [galinadd@inrne.bas.bg](mailto:galinadd@inrne.bas.bg)

**Резюме:** При проектирането на нови съоръжения, в които ще се работи в среда с йонизиращо лъчение е необходимо да се направи предварителен анализ на планираната радиационна защита. Целта е да се провери дали отговаря на всички изисквания за радиационна безопасност. За извършването на този анализ, освен класическите аналитични методики, в практиката се е наложило и провеждането на симулации с кодове основаващи се на Монте Карло метода. Кодът, на който се базира този доклад е FLUKA. Представени са резултати от анализа на радиационната защита на две съоръжения - Циклотронния център при Институтът за ядрени изследвания и ядрена енергетика и PET/CT (от англ. Positron emission tomography-computed tomography) скенера в Университетската специализирана болница за активно лечение по онкология (УСБАЛО). В Циклотронния център се предвижда производство на радиоизотопи за нуклеарната медицина, като фокуса е върху  $^{18}\text{F}$ . В УСБАЛО след инжектиране с препарата Флуордиоксиглюкозата, базиращ се на  $^{18}\text{F}$ , се извършва образна-диагностика с PET/CT скенер за детектирането на ракови образувания. И за двете са представени резултати за разпределението на мощността на дозата в защитните бункери, съответно, на циклотрона и PET/CT скенера. Поради спецификата на експлоатация на съоръженията, за първото резултатите отразяват разпределението на мощността на дозата след края на сесия за производство на  $^{18}\text{F}$ . А за второто, по-време на самото изследване, като тук са сравнени получените резултати от симулацията с резултати от аналитична методика. И за двете съоръжения са направени изводи за ефективността на защитата и дали са необходими подобрения.

**Ключови думи:** Монте Карло метод, симулации, радиационна защита

### 1. Увод

В документи изготвени от Международната агенция по атомна енергия (МААЕ) и Международната комисия по радиологична защита (от англ. International Commission on Radiological Protection – ICRP) [1,2], са описани добри практики и са дадени насоки за проектирането на радиационна защита. Това включва подбор на материали, от които да бъде изградена и аналитични методи за изчисляването ѝ. Но се разглеждат приближени и идеализирани геометрии. Реалните съоръжения имат сложна геометрия и обикновено се отличават от вече съществуващите. Затова в практиката се е наложило да се провеждат и Монте Карло симулации за пресмятането на величини като разпределението на радиационни полета и да се направи оценка на дозовото натоварване на персонала.

По същество Монте Карло метода е мощен и гъвкав инструмент за числено моделиране на стохастични процеси, намиращ приложение в широк спектър от

задачи в различни области на науката. Повече информация за метода и математичния апарат може да бъде намерена в литературата [3]. Конкретно транспорта и взаимодействието на частици с материята е съвкупност от случайни събития, поради което прилагането на Монте Карло метода за симулирането на тези процеси е удачен избор. За целта са разработени Монте Карло транспортни кодове, като например Geant4, MCNP и FLUKA. Резултатите, които следва да бъдат представени сме получили именно при симулации с кода FLUKA [4,5]. Този код е използван при анализа и оценката на радиационната защита, както на малки медицински циклотрони, така и на най-големите ускорители като Големия адронен колайдер в CERN (от фр. Centre europeen de recherche nucleaire) [6,7].

В доклада са представени резултати за две съоръжения - Циклотронния център (ЦЦ) при ИЯИЯЕ-БАН (Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика, Българска академия на науките) и скенера за Позитронно емисионна томография-Компютърна томография (от англ. Positron emission tomography-computed tomography-РЕТ/СТ) в Университетската специализирана болница за активно лечение по онкология (УСБАЛО).

Циклотронния център (ЦЦ) при ИЯИЯЕ-БАН е проект, за който е необходим предварителен анализ на радиационната защита. В Центъра ще бъде инсталиран циклотрон TR-24 [8]. Този ускорител може да генерира протонен сноп с енергия в интервала 15 – 24 MeV и ток до 400  $\mu$ A. Тези му характеристики позволяват да бъде използван за произвеждане на редица РЕТ и СПЕКТ радиоизотопи Тъй като броя на образно диагностичните процедури с флуордиоксиглюкоза (FDG) в България нараства, то първостепенна задача на ЦЦ ще бъде производството му за снабдяването на местните диагностични центрове. FDG се базира на радиоизотопа  $^{18}\text{F}$ , чийто период на полуразпад е  $T_{1/2} = 109,8$  min и се създава чрез (p, n) реакция при облъчване на водна мишена, обогатена с  $^{18}\text{O}$ , с протонен сноп. Това води до генерирането на вторични неутронни и гама лъчения. Неутронното лъчение активира конструктивните материали вложени в защитния бункер. Стените на бункера са изградени от бетон, който съдържа стабилния изотоп  $^{23}\text{Na}$ , който при взаимодействието си с вторичните неутрони се получава  $^{24}\text{Na}$ . Това е радиоизотоп с кратък период на полуразпад (14.96 h), който излъчва гама лъчение, с основен принос към радиационното поле в обема на бункера след края на облъчване на мишената. Поради това има практика част от стените на бункера, на циклотронни центрове от такъв тип да се изграждат от ниско активационен бетон (НАБ) [9], който за разлика от стандартния бетон (СБ) има ниска концентрация на Na. Представените резултати в доклада за разпределението на мощността на дозата в бункера на циклотрона показват ефективното ѝ намаляване при използване на НАБ.

Второто съоръжение, за което проведохме симулации е РЕТ/СТ скенера в УСБАЛО. В тази болница се извършва Позитронно – емисионната томография. Това е съвременен диагностичен метод, с помощта, на който се получават

изображения от детектираното лъчение, при разпад на радионуклиди. Те се инжектират в пациента, като емисията им е пропорционална на метаболитната активност на отделните органи. От получените резултати можем да определим дали туморът е доброкачествен или злокачествен, къде е локализиран и какви процеси протичат в него. Типична субстанция, която се въвежда в пациента преди такъв тип диагностично изследване е Флуордиоксиглюкозата (FDG). Целта на симулациите бе да се получи разпределение на мощността на дозата в бункера, в който е инсталиран скенера, по време на провеждане на процедурата. Също така да се провери дали има нужда от изграждане на допълнителна защита при входа на бункера. Това са симулации проведени с учебна цел и получените резултати сме сравнили с данните от реалния лъчезащитен проект на съоръжението. В него е приложена аналитичната методика „AAPM Task Group 108: PET and PET-CT Shielding Requirements“ [10]. Въз основа на този проект са направени предписания за радиационната защита на персонала, пациентите и населението. Част от тази методика е пресмятането на мощността на дозата в определени контролни точки. За някои от тези точки сме направили сравнение с резултатите от симулациите.

За двете съоръжения са представени резултати за мощността на амбиентната еквивалентна доза ( $H^*(10)$ ) на гама лъчението. FLUKA пресмята флуенса на зададен тип частици (на пр. фотони, неутрони и др.), който се конвертира посредством коефициенти към мощност на дозата. Използвани са стандартни коефициенти от документа ICRP74 [11].

## 2. Циклотронен Център при ИЯИЯЕ–БАН

На фиг. 1 е показан геометричния модел на защитния бункер на циклотрона. Вътрешните му размери са: 17 m (дължина), 9 m (ширина), 3.25 m (височина). Празното пространство в бункера е изпълнено с въздух, избран от библиотеката с материали на FLUKA. Дебелината на външните стени (стени, таван, под) е 2.5 m. Вътрешните стени са с дебелина 60 cm. Четирите вътрешни врати от бориран полиетилен (БП) (означени на фиг. 2 с врата 1, 2, 3, 4) отделят четирите зони на облъчване, тъй като TR-24 може да облъчва едновременно четири мишени. Вратите от БП имат следните размери: 2.2 m (височина), 1.2 m (ширина), 30 cm (дебелина). На стените на бункера е зададен стандартен бетон (СБ) с Портланд цимент. Позицията на мишената е указана с черна точка на фиг. 1. Изследван е ефекта от замяната в първите 50 cm – оградената с черни рамки част от външните стени на бункера (фиг. 1) – и вътрешните стени на бункера на СБ с ниско активационен бетон (НАБ). Първия случай (стени изцяло от СБ) наричаме конфигурация 1, а втория случай – конфигурация 2. Съдържанието и плътността на двата вида бетон и БП е взето от литературата [12,13].

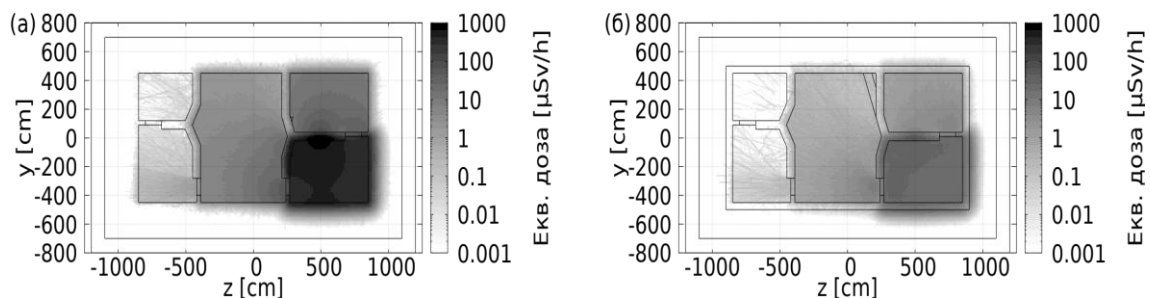
След приключване на сесия за производство на  $^{18}\text{F}$  съдържанието на мишената се пренася до модула за генериране на FDG, чрез автоматизирана



система, без човешка намеса. Зареждането на мишената е също автоматизирано. Поради това по план персонала, при необходимост, ще извършва дейности в зоната на облъчване (фиг. 1), около мишената, ден след приключване на такава сесия.



**Фиг. 1.** Геометричен модел на защитния бункер на циклотрона (поглед отгоре).



**Фиг. 2.** Разпределение на  $H^*(10)$  1 ден престой след приключване на сесия за производство на  $^{18}\text{F}$ , за конфигурация 1 (а) и конфигурация 2 (б).

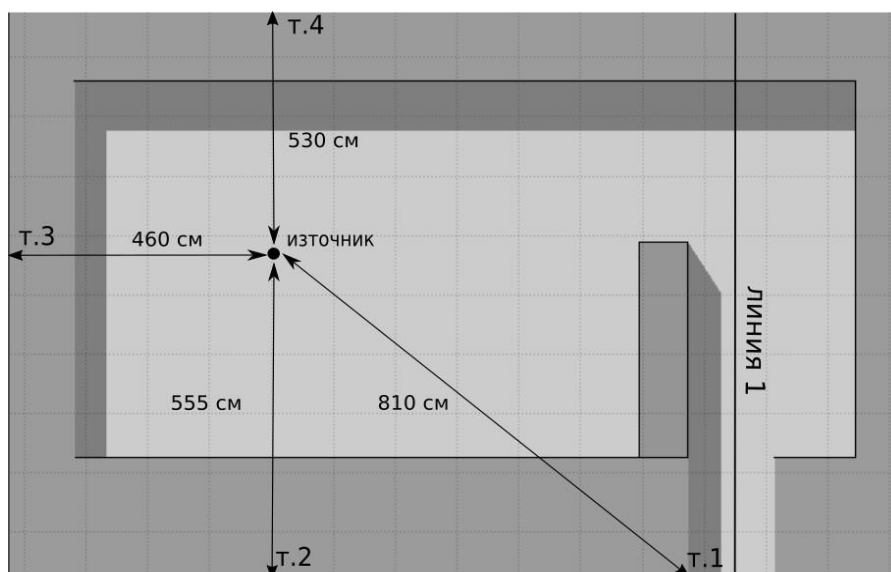
На фиг. 2 са показани резултатите за разпределението на мощността на дозата един ден след приключване на сесия за производство на  $^{18}\text{F}$ . И при двете конфигурации мощността на дозата извън бункера, е значително по-ниска от фоновата, важни са стойностите в бункера. Резултатите показват, че замената на част от стените с НАБ понижава около 20 пъти мощността на дозата в зоната на облъчване. Съответно за конфигурация 1 достига  $600 \mu\text{Sv/h}$ , а при конфигурация 2 се понижава до  $30 \mu\text{Sv/h}$ . Съгласно наредбата за радиационна защита [14] максималната допустима годишна доза за персонала е  $20 \text{ mSv}$ . Това означава, че при конфигурация 1 персонала би имал правото да извършва дейности около  $33 \text{ h}$  в зоната на облъчване, а при

конфигурация 2 – 660 h. Както бе споменато важна разлика между двата типа бетон е съдържанието на Na. При СБ е 1.6 %, а при НАБ – 0.076%. Използването на НАБ би довело до значително понижаване на дозовото натоварване на персонала.

### 3. PET-CT скенер в УСБАЛО

В началото на 2020 г. в Университетската специализирана болница за активно лечение по онкология (УСБАЛО) е инсталиран PET-CT скенер, модел Biograph Vision 450, производител – Siemens Medical.

На фиг. 3 е представен имплементирания геометричен модел на бункера, в който се помещава PET-CT скенера.

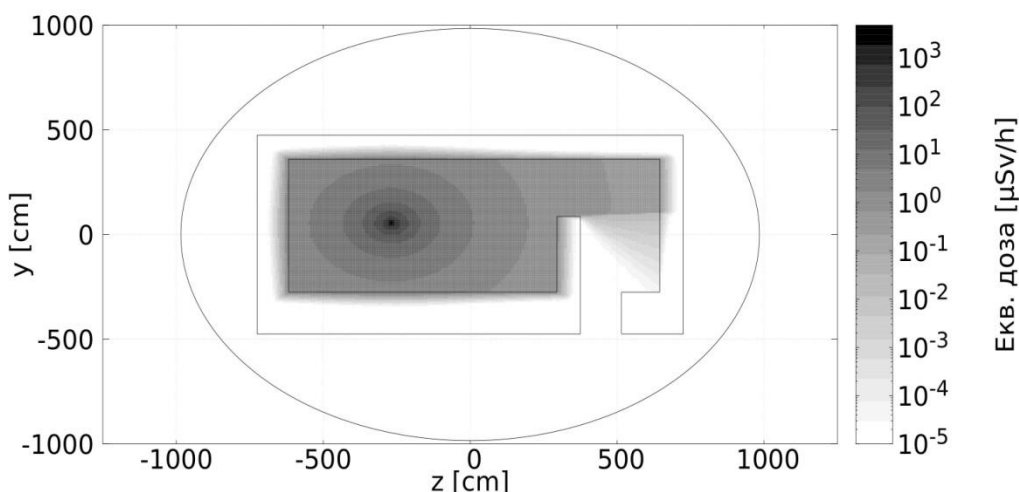


**Фиг. 3.** Имплементиран модел на бункера, в който е разположен PET/CT скенера в УСБАЛО (поглед отгоре).

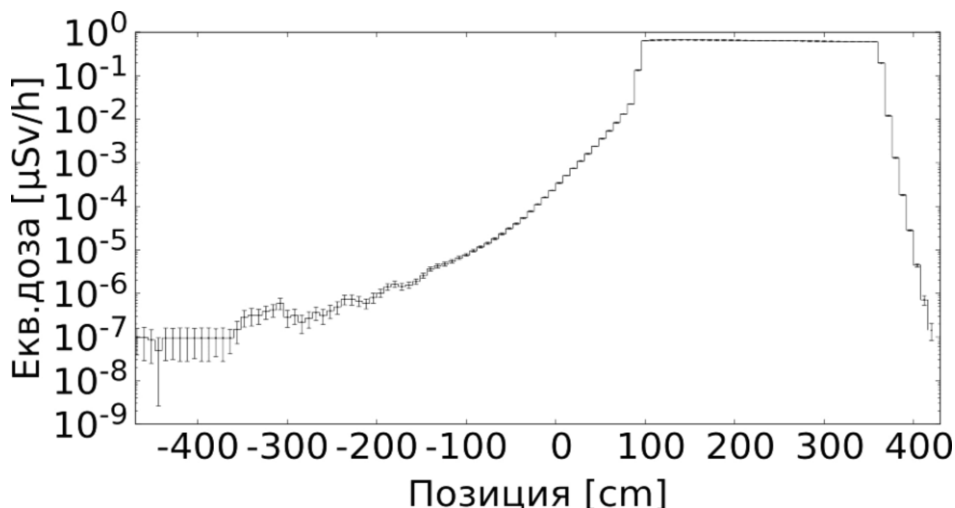
Пациента, от който се излъчва гама-лъчение при разпада на  $^{18}\text{F}$ , по време на изследването, е представен опростено с цел получаване на по-консервативна оценка. В случая пациента представлява изотропен точков източник на гама лъчение с енергия 511 keV и активност 400 MBq. Позицията му е указана с черна точка на фиг. 3. Дефинираните материали в модела са въздух и СБ [12] Получени са резултати за разпределението на амбиентната еквивалентна доза на гама лъчението в бункера, фиг. 4. Стените на бункера са достатъчно дебели и резултатите показват (фиг. 4), че мощността на дозата извън бункера е по-малка от  $0.001 \mu\text{Sv/h}$ . Тази стойност е в порядъци по-ниска от типичния радиационен фон на София  $0.14 - 0.20 \mu\text{Sv/h}$ . Следователно можем да твърдим, че бункера осигурява достатъчно добра защита за персонала и населението.

На фиг. 5 е представен профила на мощността на дозата по линия 1 (фиг. 3), като основната задача е да се определи необходима ли е допълнителна радиационна защита в края на лабиринта (входа на бункера). Ординатната ос на

фиг. 5 е в логаритмичен мащаб. В дясната част на графиката бързото затихване е в стената на бункера,



**Фиг. 4.** *Разпределение на мощността на амбиентната еквивалентна доза на гама-лъчението в бункера*



**Фиг. 5** *Профила на мощността на амбиентната еквивалентна доза на гама-лъчението по линия 1.*

платото е областта на вътрешната стена (т. нар. лабиринт). Затихването след платото е зад лабиринта. Там лъчението достига след отражения и разсейвания, което го отслабва значително до  $10^{-8}$ - $10^{-7}$   $\mu\text{Sv/h}$ . За толкова ниска мощност на дозата няма нужда от изграждане на допълнителна защита. Както бе споменато в реалния лъчезащитен проект е използвана аналитична методика, при която се изчислява мощността на дозата в определени контролни точки. Това е мощността на дозата, която персонала би получил за седмица ако няма никаква защита. Използва се следната формула:

$$D(t_u) = \frac{(0.092 * 0.85) N_w A_0 F_u t_l R_{fl}}{d^2}, \tag{1}$$

където:  $D(t_w)$  -общата доза [ $\mu\text{Sv/w}$ ];  $\Gamma$ -0,092-гама-константа за  $^{18}\text{F}$  [ $\mu\text{Svm}^2/\text{MBq}$ ];  $N_w$  - броя на пациентите за една седмица (90);  $A_0$  - началната активност (400 MBq);  $F_u$ - коефициент на разпад на изотопа (0,685) за времето  $t$  на изчакване за натрупване в тялото ;  $t_i$ - време за изследване на един пациент в часове (0,5);  $R_{II}$  - коефициент за редукция на дозата за време  $t$  (0,5);  $d$  - разстоянието между изоцентъра и контролната точка в [m]. По същество с тази формула се пресмята затихването на лъчението във въздух. След, което съгласно избрания материал за изграждане на защитата има указания, как да се пресметне, колко трябва да е дебелината му за да бъде осигурена нужната защита.

**Таблица 1.** Сравнение на резултатите получени по аналитичната формула с резултатите от симулацията.

к.т.	d[sm]	$P_a$ [ $\mu\text{Sv/w}$ ]	$P_c$ [ $\mu\text{Sv/w}$ ]	$P_c/P_a$
т.1	810	13,37	21,53	1,61
т.2	555	28,48	46,37	1,63
т.3	460	41,46	68,15	1,64
т.4	530	31,23	50,36	1,61

Направихме директно сравнение на резултатите получени по двата метода (аналитичен и Монте Карло). За целта симулирахме излъчването на гореописания точков източник поставен в центъра на куха сфера, с радиус 1000 cm, изпълнена с въздух. Позицията и разстоянието от изоцентъра на уредбата до контролните точки от реалния проект е указана на фиг. 3. В таблица 1 в първата колонка е номера на контролната точка, във втората разстоянието от нея до изоцентъра, в третата с  $P_a$  е означена седмичната доза пресметната по формулата, а с  $P_c$  седмичната доза получена от симулацията в кухнята сфера. В последната колонка е  $P_c/P_a$  във всички случаи е около 1,6. Резултата от симулацията е по-консервативен, тъй като не са отчетени фактори като разпад на изотопа по време на изчакване, поглъщане в самия пациент и др.

#### 4. Заключение

Първата част от изследванията в доклада са извършени във връзка с предварителния анализ на радиационната защита на НЦЦ при ИЯИЯЕ-БАН. Изследван е ефекта от замяната на СБ в част от стените на защитния бункер с НАБ. Резултатите показват, че използването на НАБ значително подобрява радиологичните характеристики на съоръжението.

Във втората част от изследванията са проведени симулации за получаване на разпределението на мощността на дозата в бункера на PET-CT скенера модел Biograph Vision 450, намиращ се в УСБАЛО. За това съоръжение има реален лъчезащитен проект, в който е приложена аналитична методика. При сравнение

на нашите резултати с получените по аналитичната методика показва разлика от около 1,6 пъти. но при симулациите не са отчетени редица фактори, което прави оценката по-консервативна.

### Благодарности

Това изследване е подкрепено от Министерството на образованието и науката чрез Националната пътна карта за научноизследователска инфраструктура 2020-2027 за Националния циклотронен център.

### ЛИТЕРАТУРА

[1] IAEA, “Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International basic Safety Standards” (2014).

[2] ICRP, “The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection”, ICRP Publication 103. Ann.37 (2007) 2-4.

[3] W. L. Dunn, J. K. Shultis, *Exploring Monte Carlo Methods* (USA, Elsevier, 2012)

[4] A. Ferrari, P. R. Sala, A. Fasso and J. Ranft, *FLUKA: A multi-particle transport code (program version 2020)*, (CERN-2005-010, INFN-TC-05-11, SLAC-R-773, 2005).

[5] T.T. Bohlen, F. Cerutti, M.P.W. Chin, A. Fass<sup>3</sup>, A. Ferrari, P.G. Ortega, A. Mairani, P.R. Sala, G. Smirnov, and V. Vlachoudis, *Nuclear Data Sheets* **120** (2014) 211-214.

[6] A. Infantino, et al., Accurate Monte Carlo modeling of cyclotrons for optimization of shielding and activation calculations in the biomedical field, *Radiation Physics and Chemistry* **116** (2015) 231-236.

[7] G. Battistoni et al., The Application of the Monte Carlo Code FLUKA in Radiation Protection Studies for the Large Hadron Collider, *Prog. Nuclear Sci. and Technol.* **2** (2011) 358-364.

[8] D. Tonev, N. Goutev, L. S. Georgiev, *J. Phys.: Conf. Ser.* **724** (2016) 012049.

[9] Z. Liu, A. Trudel, R.S. Augusto, K. Buckley, *Rad. Phys. Chem.* 1717 (2020) 109154.

[10] M. T. Madsen, J. A. Anderson, J. Kleck, D. J. Simpkin, J. R. Votaw, R. E. Wendt III, L. E. Williams and M. V. Yester, “AAPM Task Group 108: PET and PET-CT Shielding Requirements”, *Med. Phys.* **33** (2006) 1.

[11] ICRP 74, “Conversion Part of this methodology is presmearing the power of the dose in defined control points. Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation”, ICRP Publication 74. Ann. ICRP **26**(1996) 3-4.

[12] R. J. McConn Jr, C. J. Gesh, R. T. Pagh, R. A. Rucker, and R. G. Williams III, *Compendium of Material Composition Data for Radiation Transport Modeling* (Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington, 2011).

[13] Stichelbaut F, Pierard J, Kupers L, inventors; Ion Beam Applications S.A.,  
Composition of Low Activation Concrete and Use Thereof; US patent 2018/0009711  
A1.Jan. 11, 2018.

[14] *НАРЕДБА за радиационна защита Приета с ПМС No 20 от 14.02.2018  
г., обн.,ДВ, бр. 16 от 20.02.2018 г., в сила от 20.02.2018 г.*



# ПРОВЕЖДАНЕ НА ЛАБОРАТОРНОТО УПРАЖНЕНИЕ „ЗАТИХВАЩИ МЕХАНИЧНИ ТРЕПТЕНИЯ“ С ПОМОЩТА НА ВИДЕОЗАСНЕМАНЕ

**Иван Стефанов и Николай Денев**

Катедра Приложна Физика, ФПМИ, ТУ-София, бул. “Кл. Охридски” №8, София 1000  
e-mail [izhivkov@tu-sofia.bg](mailto:izhivkov@tu-sofia.bg), [ndenevtph@dir.bg](mailto:ndenevtph@dir.bg)

***Резюме.** С цел да бъде улеснена отдалечената форма на обучение, в катедра „Приложна физика“ бяха заснети видео демонстрации на лабораторните упражнения. При обработката на видеото за лабораторното упражнение „Затихващи механични трептения“ установихме, че видеозаписа ни позволява да получим значително по-подробни експериментални данни, отколкото при традиционния начин на отчитане. Целта на настоящия доклад е да бъде представена нова форма на провеждане на разглежданото лабораторно упражнение, при която се използват полученият с помощта на видеозаснемане значително по-пълен набор от експериментални данни.*

**Ключови думи:** лабораторно упражнение, затихващи трептения, махало на Пол, видеозаснемане.

## 1. Увод

Лаборатория 10308 на ТУ-София се използва за нуждите на чуждоезиковото обучение по физика. В нея се обучават студенти от ФаГИОМ, ФАИО, ФФОЕ, МФ, ЕФ, ФКСТ, ТФ, и др. Лабораторията е обзаведена през 1992 с финансиране от ФаГИОМ, а в последствие е основно ремонтирана от ФАИО.

Пандемията от COVID-19, наложи отдалечената форма на провеждане на лабораторните упражнения. За да се улесни провеждането на часовете катедра „Приложна физика“ взе решение да бъдат заснети видео демонстрации на лабораторните упражнения, от които да могат да бъдат получени експериментални данни. Това беше направено и за лаборатория 10308. Видеозаписите бяха направени от доц. Чавдар Хардалов, а демонстраторът беше гл. ас. Николай Денев. За целта беше използвана видеокамера с висока разделителна способност закупена по договор на доц. Стефан Ницолов.

Една от лабораторните постановки в 10308, произведена от Leybold Didactic, позволява да бъдат изучавани затихващи механични трептения на торзионно махало известно в литературата като махало на Пол (Pohl's pendulum) [1]. Тя се състои от диск окачен на хоризонтална ос, към която има прикрепена спираловидна пружина. (Виж фиг. 1.) За затихването на трептенията (в следствие на дисипация на енергия) се използва електромагнитна спирачка.



**Фиг. 1.** Лабораторната постановка [1]

За обработката на видео клипа беше използвано приложението Video Editor, част от пакета програми, които се инсталират заедно с Windows 10. При работата с Video Editor установихме, че приложението позволява видеото да се преглежда кадър по кадър, със стъпка между кадрите 0,033 сек. (За сравнение, периода на махалото е около 1,8 сек., т.е. един период се разполага в приблизително 50 кадъра.) Оттук дойде и идеята да се използва тази възможност, за да бъдат получени значително по-подробни данни за движението на махалото, и да се предложи нов начин за провеждане на лабораторното упражнение.

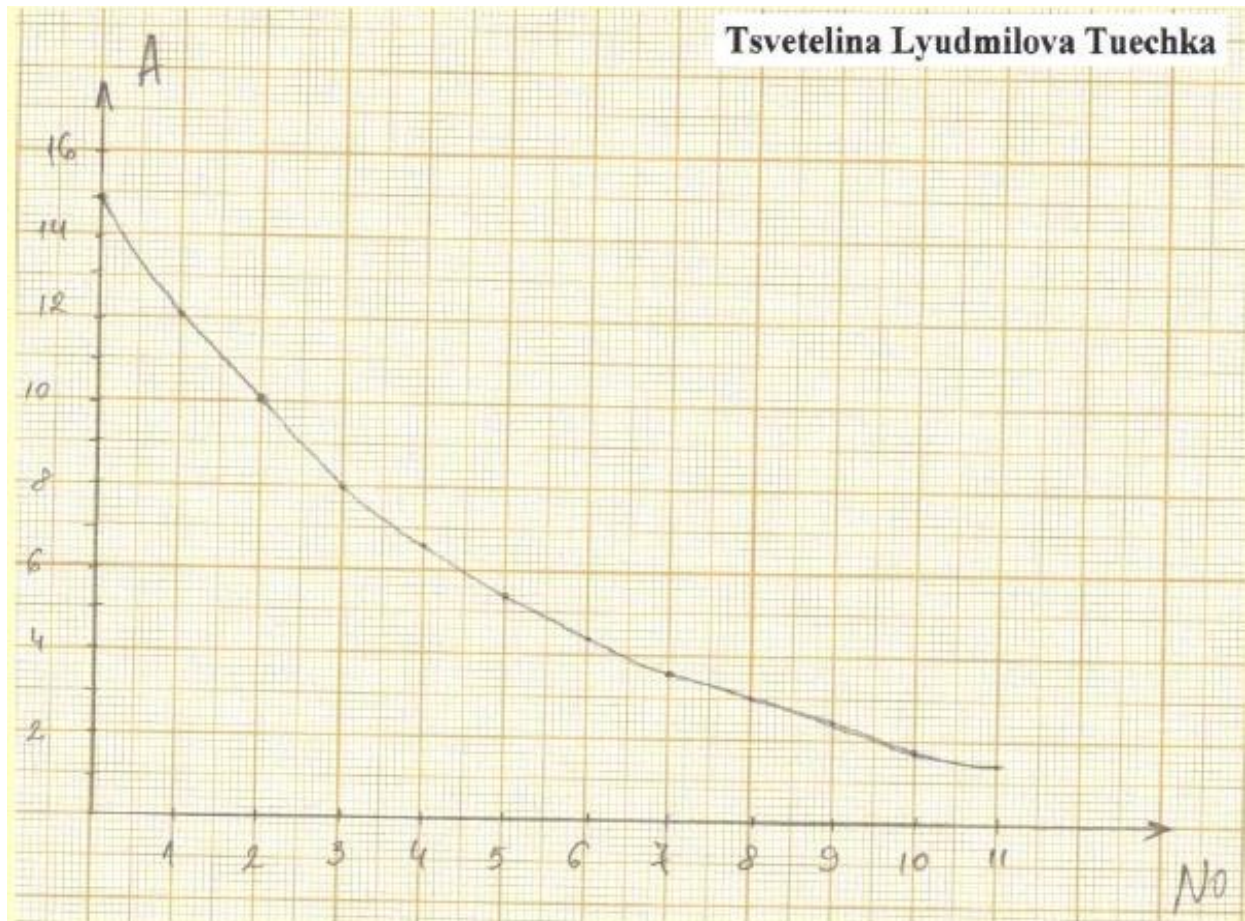
Предложения метод за провеждане на лабораторното упражнение се вписва естествено в контекста на нарастващия интерес към прилагането на технически средства в лабораторните упражнения [2, 3, 4], който се засили особено много във времената на социална дистанция и отдалечена форма на преподаване причинени от пандемията COVID-19.

Допълнителна мотивация за провеждането на лабораторното упражнение с помощта на видеозаснемане идва от богатия набор от експериментални данни, който може да се получи по този метод, а от там и възможността за прилагането, с цел по-доброто усвояване, на статистически методи за обработка на експериментални резултати. И по-конкретно, данните могат да бъдат обработени с помощта на метода на нелинейната регресия [5-9], който позволява, от една страна да бъде оценена адекватността на модела, а от друга да бъдат получени оценки за грешките на параметрите му – естествена честота, логаритмичен декремент на затихването, амплитуда и начална фаза.

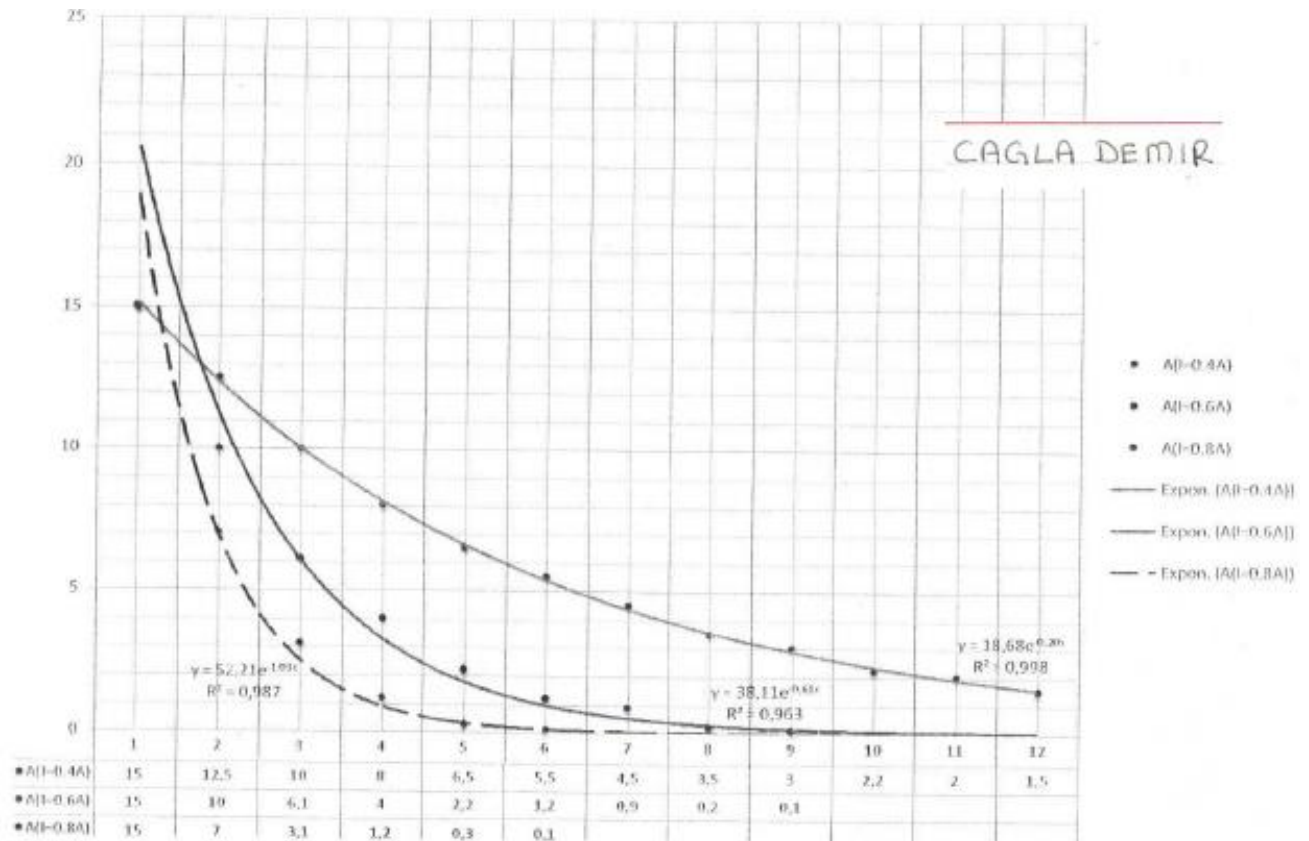
## 2. Традиционен метод на провеждане на лабораторното упражнение

При традиционния метод на провеждане на лабораторното упражнение, студентите записват амплитудите на осцилациите от едната страна на равновесното положение за около десет периода на движение. Представят ги в таблица и построяват графика. Графиката чертаят на ръка върху милиметрова хартия, като, ако има възможност, използват и кривка. Някои студенти предпочитат да направят графиката с помощта на компютър.

Няколко примерни графики са представени на фиг. 2, фиг. 3 и фиг. 4.



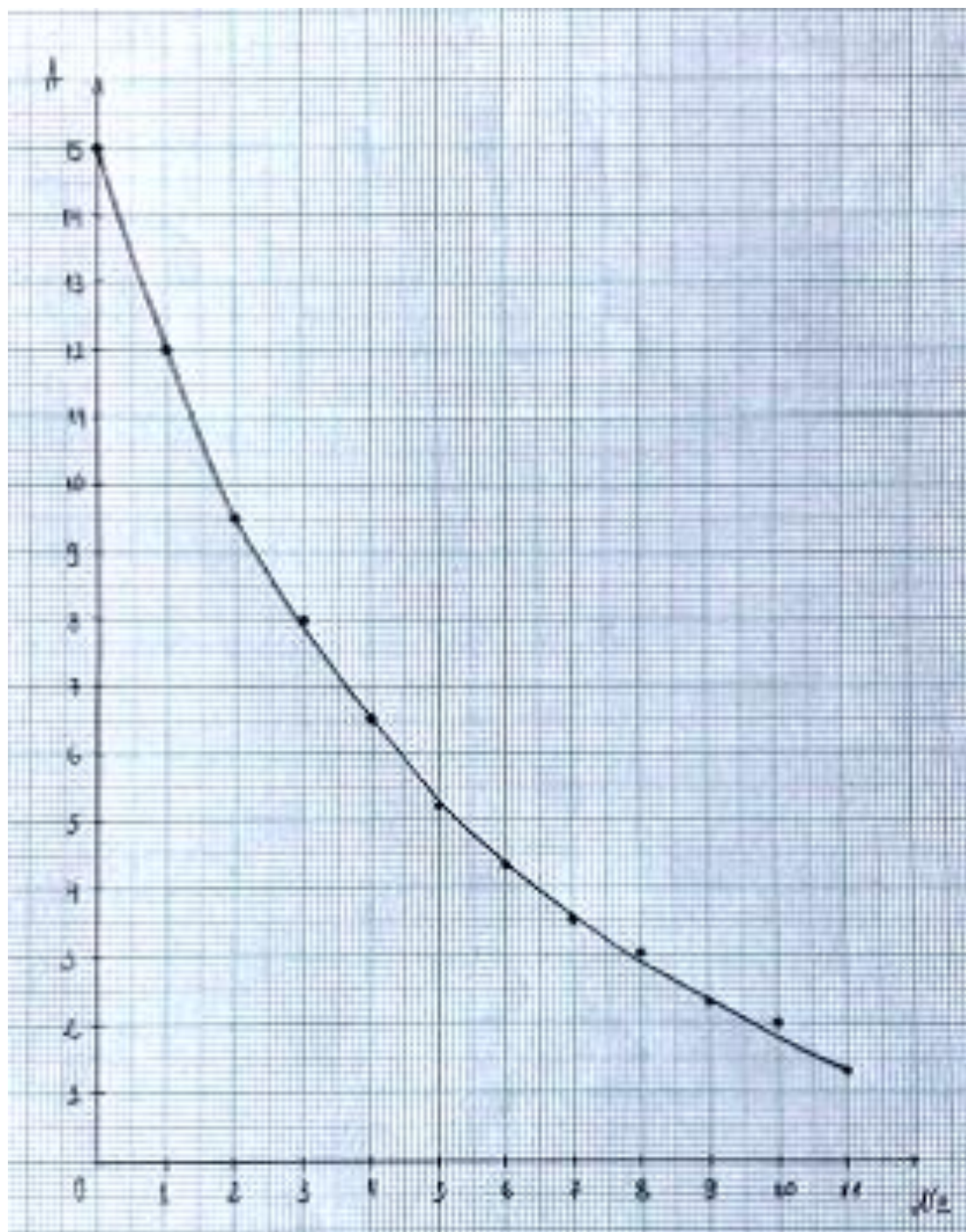
**Фиг. 2.** Амплитуда на затихващите трептения за единадесет последователни периода на трептене, измерена в относителни единици.  
*Автор: Цветелина Туечка, студент в първи курс на специалност „Индустрално инженерство“ през учебната 2010-2011г.*



**Фиг. 3.** Амплитуда на затихващите трептения за три различни стойности на тока през електромагнитната спирачка – 0.4 А, 0.6 А и 0.8 А, измерена в относителни единици.

Автор: Чала Демир, студент в първи курс на специалност „Индустрално инженерство“ през учебната 2010-2011г.





**Фиг. 4.** Амплитуда на затихващите трептения за единадесет последователни периода на трептене, измерена в относителни единици.

Автор: Бояна Димитрова, студент в първи курс на специалност „Индустрално инженерство“ през учебната 2020-2021г.

Първите две са от учебната година 2010-2011 г., а третата от 2020-2021 г., от периода на отдалечена форма на обучение, поради пандемията от COVID-19. Графиката на фиг. 3 е построена на компютър. На нея са нанесени резултатите от три експеримента, за три различни стойности на тока през електромагнитната спирачка. Интересно е да се отбележи, че при построяването на тази графика е избегната една често срещана грешка, особено при използването на Excel, а именно построяването на начупена линия, която свързва експерименталните точки.

Фиг. 4 заслужава още един коментар. Графиката представена на тази фигура е построена с помощта на експериментални данни получени през учебната 2010-2011г. (Отдалечената форма на обучение през летния семестър на учебната 2020-2021г. не позволяваше студентите сами да проведат експеримента и да свалят експериментални данни.) Тя е пример за това, че нелоши резултати могат да бъдат постигнати при обработката на експериментални данни и при отдалечената форма на обучение, която обикновено е свързана с известна доза скептицизъм.

### **3. Провеждане на лабораторното упражнение с помощта на видеозаснемане**

Кратка част от видеозаписа позволява изцяло да се проследи ходът на отместването при затихващото трептене като функция на времето за около 5 секунди (т.е. приблизително 2,5 периода), започвайки от самото начало. А Video Editor дава възможността от екрана на компютъра да се снее стойността на това отместване за повече от 100 момента от време със стъпка от 0,033 s. Получената графика на функцията на затихващи трептения е представена на фиг. 5. От тази графика може точно да се определи периодът на трептенията  $T$ , като се вземе средната стойност от няколко отчитания по графиката, а също и логаритмичният декремент  $\delta$ .

$$T=1,79\pm 0.01 \text{ сек} \quad (1)$$

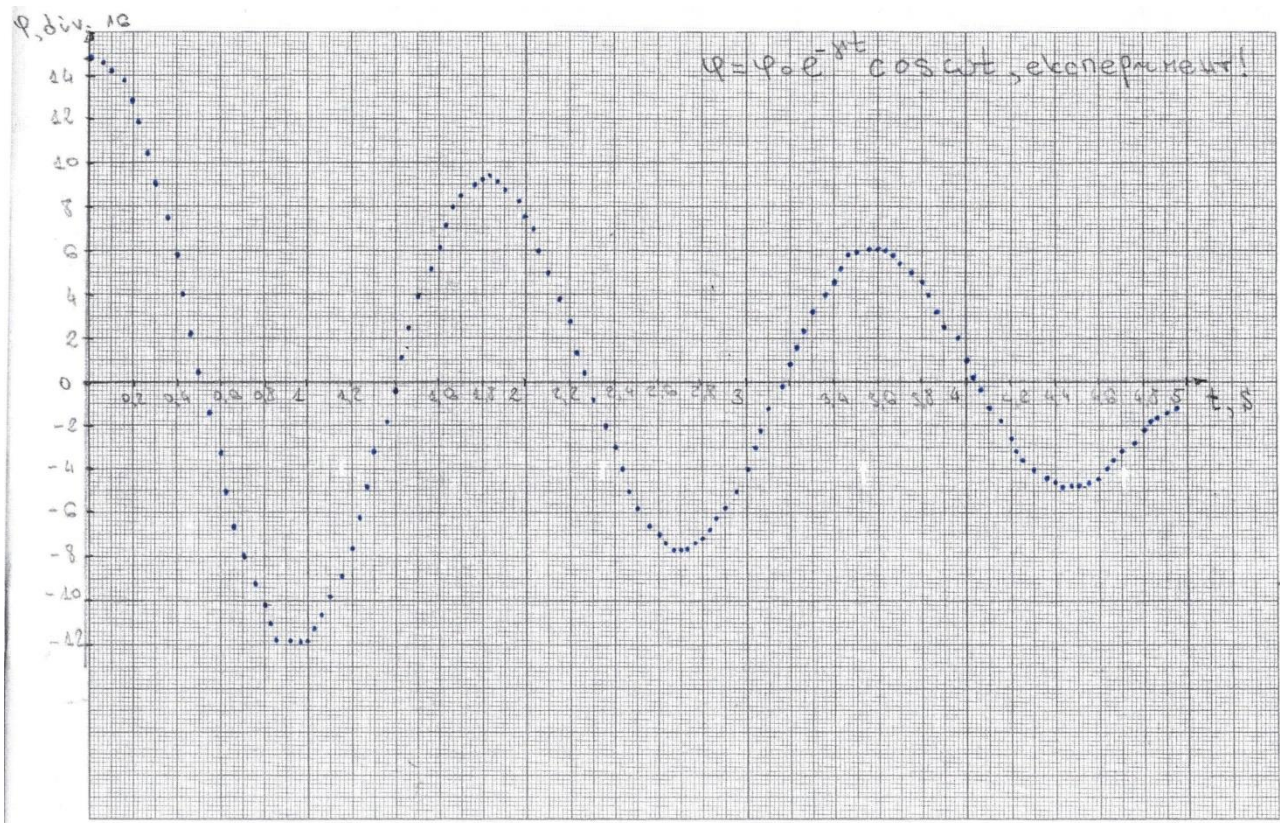
$$\delta=0,452 \quad (2)$$

Оттам могат да се изчислят коефициентът на затихване, кръговата честота и собствената кръгова честота.

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 3,51 \text{ сек}^{-1} \quad (3)$$

$$\omega_0 = \sqrt{\omega^2 + \gamma^2} = 3,52 \text{ сек}^{-1} \quad (4)$$



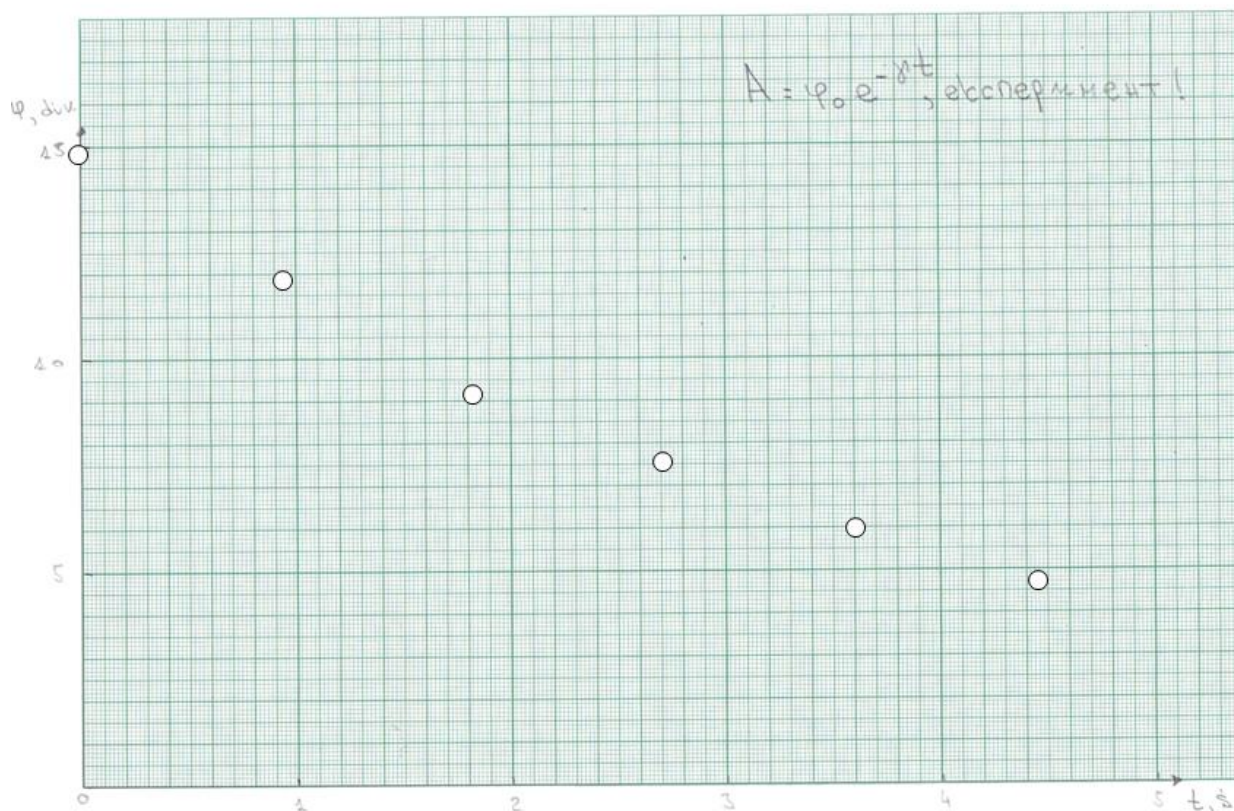


**Фиг. 5.** Отместване на затихващите трептения, измерено в относителни единици.

Автор: гл. ас. д-р Николай Днев.

$$\gamma = \frac{\delta}{T} = 0,25 \text{ сек}^{-1} \quad (5)$$

Снетите данни позволяват построяването и на друга графика (фиг. 6), представяща зависимостта на амплитудата на трептене от времето. Времева стъпка тук е половин период (приблизително 0,9 сек).



**Фиг. 6.** Амплитуда на затихващите трептения за пет последователни полупериода на трептене, измерена в относителни единици.

*Автор: гл. ас. д-р Николай Денев.*

#### 4. Заключение

Описаният метод на провеждане на упражнението чрез видеозаснемане дава възможността студентите да изследват по-подробно и по-задълбочено затихващите трептения и без обременяване със сложна математика да пресметнат важни параметри, характеризиращи явлението.

Една възможна посока за бъдещо развитие на предложената идеята е да бъде приложен статистически метод за обработка на експерименталните данни. Той би ни позволил, от една страна, да оценим приложимостта на теоретичния модел описание на разглежданата физична система, а от друга, да получим оценки за грешките на параметрите на модела и косвено измерените физични величини.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] „Forced oscillations – Pohl’s pendulum“, ръководство към лабораторното упражнение, производител RHYWE.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Сходно лабораторно упражнение, придружено със съответното ръководство се предлага и от марката Leybold didactic.

[2] Елена Халова, Сашка Александрова, Невена Кожухарова, *Мултимедийно представяне – някои аспекти на подготовката и оформянето на презентациите*, XLVII Национална конференция по въпросите на обучението по физика, 4 – 7 април 2019 г., гр. Велико Търново.

[3] B. Chiriacescu, Fabiola Sanda Chiriacescu, Cristina miron, C. Berlic1, V. Barna, *Arduino and Tracker video – didactic tools for study of the kater pendulum physical experiment*, Rom. Rep. Phys. 72, 901 (1), 2020.

[4] Фабиен Кунис, *Използване на мобилните устройства в училищния експеримент по физика и астрономия в учебната и извънучебната училищна дейност*, XLIX Национална конференция по въпросите на обучението по физика, 4 – 6 юни 2021 г., гр. Видин.

[5] Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., Flannery, B. P., 2007, *Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing*, Third Edition, Cambridge University Press.

[6] P. Bevington, D. K. Robinson, 2003, *Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences*, Third edition, McGraw-Hill.

[7] Peter Scott, *Physics 133 Lab manual*, <http://scott.physics.ucsc.edu/>.

[8] H. J. C. Berendsen, 2011, *A Student's Guide to Data and Error Analysis*, Cambridge University Press.

[9] <https://bg.wikipedia.org>



# ON CHARACTERISTICS OF SOME NATURAL WATERS

**Stefan T. Todorov<sup>1</sup>, Lidia T. Popova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Nuclear Research and Nuclear Energy, Bulgarian Academy of Sciences,  
72 Tzarigradsko Shosse Bld., 1784 Sofia, Bulgaria

<sup>2</sup>Georgi Nadjakov Institute of Solid State Physics, Bulgarian Academy of Sciences,  
72 Tzarigradsko Shosse Bld., 1784 Sofia, Bulgaria

**Abstract.** *In recent decades, increasing human intervention in the ecosystem has led to increased pollution, which in turn affects the quality of life on a global scale. Consequently, various methods and approaches have been developed to study the environment, an important part of which is the monitoring of the purity of natural waters. In the present work, a set of natural waters from the Rila Mountain region was investigated using differential energy spectra method. The samples were collected over two consecutive years. The correlation between the differential energy spectra for each pair of samples taken from the same location but one year apart was investigated. The values obtained for the linear correlation coefficient and confidence level are summarized in the Table.*

**Key words:** Water spectrum, river, rain, pollution, evaporating drop.

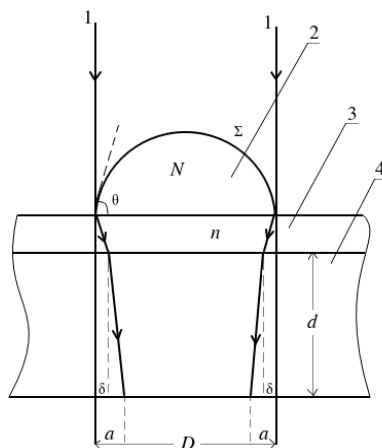
## Introduction

The increasing importance of ecology in various fields requires a variety of approaches to the monitoring of natural water. In this study, we apply a relatively new method of monitoring natural waters - the method of water spectra. This method is sensitive to the complex effects of chemical and physical factors. As an example, we presented data obtained for river and rainwater collected at 8 different locations in the Rila Mountains. The results obtained in the present work are a continuation of our previous studies within the framework of the Rila National Park Ecology Project, the results of which were discussed at joint meetings and regularly published [1-5].

We use a precise optical measurement method [6, 7] which considers drops of the water sample under investigation as an open synergy system during the process of their evaporation [8]. During the evaporation of drops one deduces – using theoretical considerations [9, 10, 11], necessary information on the probability distribution function  $f(E)$  of the hydrogen energy  $E$  bonds of the water molecules. The function  $f(E)$  reflects the so-called structure of the water [12] which is influenced by various physical conditions [4] and thus can serve to characterize the properties of the water sample. One compares also the energy spectrum  $f(E)$  of a sample under investigation with the spectrum  $f_c(E)$  of a deionized water sample (control sample) and call the expression  $df(E) = f(E) - f_c(E)$  differential energy spectrum. The latter characterizes the deviations of the sample's energy spectrum from that of the control sample.

## Method and objects of monitoring

We use the method of measurement of  $\theta$  given previously by one of us and described in [6,7]. It consists of measurement the width  $a$  (c.f. Fig. 1) of the dark ring around the drop arising as a result of refraction after a light beam passes through the drop.



**Fig.1.** Water sessile drop and the light beams producing the refraction dark ring  
 1 – light beam; 2 – water sessile drop; 3 – thin transparent non-wetting foil;  
 4 – glass plate;  $N$  – water refractive index;  $n$  – glass refractive index;  $d$  – thickness of the glass plate;  $\Sigma$  – water drop surface;  $\theta$  – contact angle;  $D$  – diameter of the contact circle;  $a$  – width the dark ring;

The width  $a$  can be measured by microscope observations or after its image is obtained on a photographic plate. Then  $\theta$  is obtained as a function of  $a$  by the approximate formula:

$$\operatorname{tg} \theta = n / [(n_w \Delta - n^2)^{1/2} - \Delta]^{1/2}; \Delta = 1 + d^2/a^2 \quad (1)$$

Where  $n_w$  and  $n$  are respectively the refraction indexes of the water and glass plate 3 and  $d$  is its thickness. The drop from the water sample is placed on a thin hydrophobic folio 2 whose thickness can be neglected and one gets the above formula (for the exact expression we ref. to [6]). For the connection between the drop contact angle  $\theta$  and the bond energy  $E$  one has [9, 10] the formula:

$$\theta = \arccos [-1 - bE] \quad (2)$$

Where  $b$  is a constant depending on the liquid and approximately equal to 14.33 for water samples. Since we obtain from an experiment the probability distribution with respect to  $\theta$ , then with the help of (2) one obtains the energy dependent distribution function  $f(E)$ . Examples of the corresponding distribution curves are given at the top of Fig. 2. With the aid of  $f(E)$  calculated by standard formulas of probability theory the mean energy  $E$  of a sample.

The object of the monitoring is rainwater and river water samples collected from 10 different locations in Mussala, part of Rila Mountain for two consecutive years. The locations where the water samples were collected are shown in Table 1. Samples

collected in the first year were stored in a refrigerator (4°C) in plastic bottles, and then analyzed a second time at the same time as samples collected in the second year. All samples were measured under laboratory conditions.

**Table 1.**

№	Place	$r$	$p$
1	River Moussalenska Bistritza before Borovetz	0.83	< 0.01
2	River Moussalenska Bistritza before Yastrebetz	0.89	< 0.05
3	Rain water from Yastrebetz	0.37	> 0.05
4	Rain water from the Middle Station of the Lift	0.12	> 0.05
5	River Cherni Iskar before the flow into the river Beli Iskar	0.89	< 0.01
6	River Beli Iskar before the flow into the river Cherni Iskar	0.91	< 0.01
7	River Cherni Iskar after the flow into the river Beli Iskar	0.75	< 0.01
8	The reservoir Beli Iskar at the wall and the flow into the reservoir Beli Iskar (both in the same year )	0.11	> 0.05

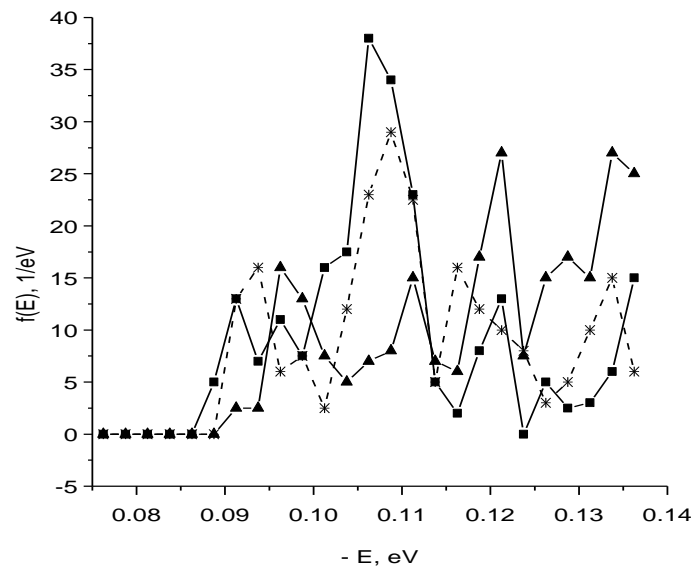
### Experimental results

Sample collection data in two consecutive years lead to the conclusion that the differential spectrum and average energy characterize the water. In fact, two samples collected from the same water source give (up to experimental errors) nearly coincident data, while samples from different water sources give generally apparently different results. An illustration of the letter is obtained by comparing the energy spectrum of deionized water (control sample) and samples collected in two consecutive years from the same location in Fig. 2. The corresponding mean energies are  $E_1 = -0.109$  eV (sample 1),  $E_2 = -0.107$  eV (sample 2),  $E_c = -0.117$  eV (control sample), with a standard deviation of 0.002 eV.

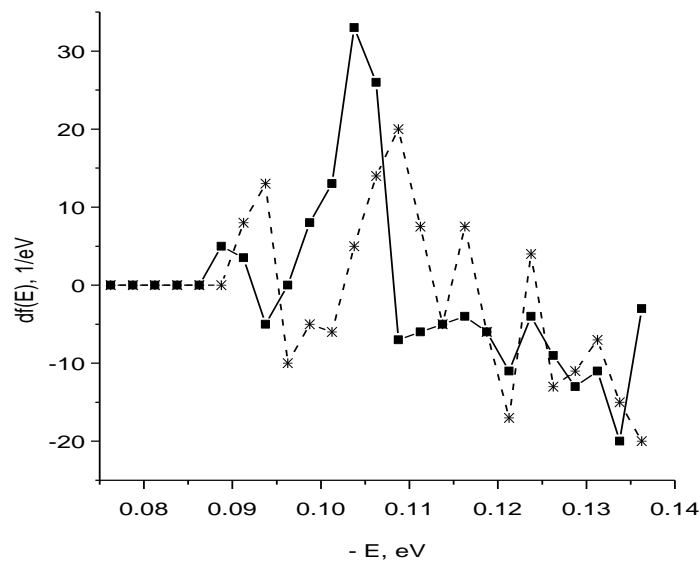
In addition, we investigated the correlations between the differential energy spectra of some of the samples taken from the same location in two consecutive years. The results of the correlations analysis are given in Table 1. Here  $r$  denotes the value of the linear correlation coefficient between the energy spectrum of sample 1 and the energy spectrum of sample 2. Here  $p$  denotes the confidence value. There is a high correlation coefficient in the case of river water samples (between 0.75 and 0.91) and a significantly lower coefficient (between 0.12 and 0.37) for rain water.



Figure 2 presents the energy spectra  $f(E)$  of the pair of samples collected respectively 1-st (sample 1) and 2-nd (sample 2) year from river Beli Iskar before flow into the river Cherni Iskar together with the energy spectrum of a deionized water sample serving as a control sample. The resulting differential energy spectra of the two samples relative to the control sample are shown in Figure 3.



**Fig. 2.** Energy spectra of sample 1 (solid line, square), sample 2 (dashed line) and control sample (solid line, triangle).



**Fig. 3.** The differential spectra of sample 1 (solid line) and sample 2 (dashed line).

The results of the regression analysis give the following regression equation for the differential energy spectra from Fig. 3:

$$df_1(E) = - 0.344 + 1.124df_2(E) \quad (3)$$

With  $r = 0.91$  and  $p < 0.01$  (place № 6 shown in Table 1), where  $df_1(E)$  and  $df_2(E)$  are the respective values of the differential spectra of sample 1 and sample 2, measured at 25 points of the argument  $E$ . For comparison, Table 2 shows a few more regression lines obtained for some of the sample pairs examined.

**Table 2.**

№	Place	Regression lines
3	Rain water from Yastrebetz	$df_1(E) = 1.197 + 0.38df_2(E)$
4	Rain water from the Middle Station of the Lift	$df_1(E) = - 0.097 + 0.045df_2(E)$
5	River Cherni Iskar before the flow into the river Beli Iskar	$df_1(E) = - 0.096 + 0.812df_2(E)$
7	River Cherni Iskar after the flow into the river Beli Iskar	$df_1(E) = - 3.273 + 3.508df_2(E)$
8	The reservoir Beli Iskar at the wall and the flow into the reservoir Beli Iskar (both in the same year)	$df_2(E) = - 0.938 + 0.009df_2^I(E)$

## Conclusions

The energy spectra and the mean energies are characteristic for the particular river and rain water sample. Furthermore the different energy spectra of river water samples show a high coefficient of linear correlation for samples collected at the same place but in different years. Similar correlation coefficients for rains water are considerably lower which could be explained by the more variable conditions during the formation of the rain sample.

## REFERENCES

- [1] Antonov A., T. Galabova, L. Todorova, A. Tomov, In: Observatoire de Montagne de Moussala OM2 (1993) p. 113.
- [2] Antonov A. et al., Ibid. (1995) p. 39.
- [3] Antonov A. et al., Ibid. (1996) p. 57.
- [4] Todorov S., L. Todorova, A. Tomov, A. Antonov, Ibid. (1996) p. 67.
- [5] Todorov S., L. Todorova, A. Antonov, A. Tomov, Ibid. (1997) p. 33.

- [6] Antonov A. Compt. Rend. Bulg. Acad. Sci., 37 (1984) p. 1199.
- [7] Antonov A., L.Yuscesselieva, Method of determination of the degree of change of the structural status of liquids, Patent BG № 43821/1983.
- [8] Fuch N. A., Evaporation and droplet growth in gaseous media, London, Pergamon Press (1959).
- [9] Antonov A., T. Galabova, In: Ext. Abstr. Of the 6<sup>th</sup> Nat. Cnfer. On Biomedical Physics and Engineering, Sofia, Oct. 22-24 (1992) p. 60.
- [10] Antonov A., Thesis of Doctor Sciences (1996).
- [11] Luzar A., S. Svetina, B. Zeks. Chemical Phys. Lett., 96 (1983) p. 485.
- [12] Eisenberg D., V. Kauzmann, Structure and properties of water (1969).

**Авторски указател**

**Александрова Сашка**, проф дтн, КПФ, ФПМИ, Технически Университет – София

**Василева Мария**, ПФКМ, ФПМИ, Технически Университет – София

**Главчева Румяна**, БАН

**Граматиков Камен**, студент, ФТ, Технически Университет – София

**Демерджиев Ангел**, ИЯИЯЕ, БАН

**Денев Николай**, гл. ас., д-р, КПФ, ФПМИ, Технически Университет София

**Димитрова Галина**, ИЯИЯЕ, БАН

**Занева Мария**, ПФКМ, ФПМИ, Технически Университет – София

**Кисьов Атанас**, Минногеоложки Университет, София

**Кобиларов Румен**, гл. ас., д-р, КПФ, ФПМИ, Технически Университет София

**Копринков Иван**, проф. д-р, КПФ, ФПМИ, Технически Университет – София

**Кожухарова Невена**, гл. ас., КПФ, ФПМИ, Технически Университет – София

**Матова Маргарита**, ГИ-БАН

**Попова Лидия**, гл. ас., д-р, ИЯИЯЕ, БАН

**Рангелов Бойко**, проф. д-р, ГФ, Минногеоложки Университет, София

**Стефанов Иван**, доц. д-р, КПФ, ФПМИ, Технически Университет - София

**Тодоров Стефан**, гл. ас., д-р, ИЯИЯЕ, БАН

**Тонев Димитър**, ИЯИЯЕ, БАН

**Търнев Христо**, доц. дн, КПФ, ФПМИ, Технически Университет – София

**Халова Елена**, доц. д-р, КПФ, ФПМИ, Технически Университет – София

**ПРОГРАМА НА ДНИ НА ФИЗИКАТА 2022г.****Научно-популярна сесия****14.04.**

<b>Доклад</b>	<b>Автор(-и)</b>	<b>Час</b>
„Квантова физика ли?...Нищо по-странно!“	Проф. д-р Иван Копринков, КПФ	16:00
„Фундаменталните науки – общо начало и хиляди възможности за развитие“	ас. Невена Кожухарова, КПФ доц. д-р Елена Халова, КПФ	16:20
„Защо е прието да използваме променлив ток? (Битката между „Westinghouse Electric Corporation “ и „General Electric “)	гл.ас. д-р Румен Кобиларов, КПФ	16:40
„Изобретенията на Леонардо да Винчи изпреварили времето си“	доц. д-р Елена Халова , КПФ ас. Невена Кожухарова, КПФ	17:00

**15.04.**

<b>Доклад</b>	<b>Автор(-и)</b>	<b>Час</b>
„Неизвестният Д. Максвел“	Проф. д-р Сашка Александрова, КПФ	16:00
„Квантовите компютри - революция в информационните технологии? “	Мария Занева, Мария Василева, Янчо Костов, ФПМИ	16:20
„Война и физика“	Камен Граматиков, ФТ, 2к.,ТУ	16:40
Демонстрации	гл. ас. инж. Любомир Георгиев, КПФ	17:00

**Научна сесия****16.04.**

<b>Доклад</b>	<b>Автор(-и)</b>	<b>Час</b>
<b>„Анализ на учебното съдържание на курса Компютърно моделиране на физични системи“</b>	доц. дн Христо Търнев, КПФ	10:00
<b>„Загадки в Слънчевата система – мирис, вкус, звук и красота на планетите“</b>	Проф. дфн Бойко Рангелов, ГФ, МГУ	10:30
<b>„The seismic hazard and risk components – necessary knowledge for the real estate business (sofia case)“</b>	Rumiana Glavcheva, BASA Boyko Rangelov, MGU Margarita Matova, GI-BAS Atanas Kisyov, GI-BAS	11:00
<b>„On characteristics of some natural waters“</b>	гл.ас. д-р Стефан Тодоров, ИЯИЯЕ, БАН	11:30
<b>„Приложение на Монте Карло симулациите в радиационната защита“</b>	Галина Димитрова, ИЯИЯЕ, БАН	12:00
<b>„Провеждане на лабораторното упражнение „Затихващи механични трептения“ с помощта на видеозаснемане“</b>	доц. д-р Иван Стефанов, КПФ гл.ас. д-р Николай Денев, КПФ	12:30
<b>Кръгла маса Проблемите в обучението по физика в техническите училища</b>		13:00
<b>Закриване</b>		13:30



**ЗАВОД ЗА  
ОПТИКА**  
ОПТИКОЕЛЕКТРОН  
ГРУП



Панагюрище 4500, Индустриален парк ОЕ, тел: 0357/62156, факс: 0357/63316 е-mail: pfo@opticoel.com, www.pfo-bg.com