



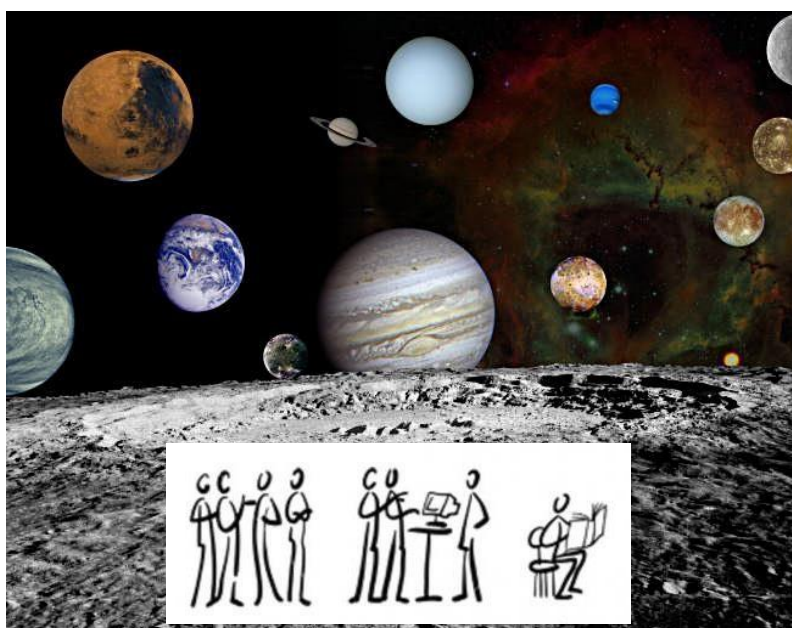
Технически университет София



Катедра Приложна физика

Сборник популярни и научни доклади

**Дни на физиката 2025
Том 17**



София, 10 - 12 Април 2025 г.

Дни на физиката 2025

Сборник популярни и научни доклади

Редактори: Е. Халова
С. Александрова
Н. Кожухарова

ИЗДАТЕЛСТВО НА ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

ISSN 1313-9576

Предговор

“Дни на физиката-2025” се провеждат вече четвърт век в рамките на “Дни на науката” на ТУ-София и се организират от Катедра „Приложна физика“ към Факултета по приложна математика и информатика. Тази година “Дните на физиката” са посветени на „Международната година на квантовата наука и технологии” по повод 100-годишнината от създаването на квантовата механика. Настоящото издание на „Сборник популярни и научни доклади“ е седемнадесети том от поредица, която е включена в електронната база данни на НАЦИД. Сборникът включва доклади, представени на “Дните на физиката”, които се проведеха от 10 до 12 април 2025г. зала на ТУ-София съпроводени с демонстрации на физични експерименти. Мнението студентите е, че “Дните на физиката” са една отлична възможност за придобиване на опит в излагането на научни проблеми и участие в научни форуми и дискусии.

Лекторите и тази година бяха студенти, преподаватели и учени от: ТУ–София, МГУ "Св. Иван Рилски" и БАН. Част от докладите бяха посветени на „Международната година на квантовата наука и технологии” а други - на интересни и актуални теми от всички области на тази модерна и съвременна наука - физиката. Докладите бяха на фундаментални и приложни от областта на физиката. Пред вид широката и разнообразна аудитория от много ученици и студенти докладите бяха представени оригинално и увлекателно, разбираемо за всички.

Читателите както всяка година, могат да се запознаят с носителите на Нобеловата награда по физика за 2023г и с особеностите на квантовите компютри. Да си отговорят на редица въпроси. Труден ли е за разбиране квантовият свят. Да видят красотата, която не можем да видим с очите си чрез космическите снимки. Да се запознаят с особеностите на Земетресенията, Луотресенията, и Марсотресенията. Как историята на цивилизацията е свързана с развитието на средствата за въоръжаване? Първият учебник по Физика в България. Има ли все още въпроси без отговор? И много други.

В първите два последователни дни от “Дни на физиката” традиционно бяха проведени демонстрации на физични явления и закономерности с викторина върху проведените демонстрации и предизвикваха огромен интерес у гостуващите ученици от София и студентите от ВУЗ. Тези демонстрации позволиха на учениците да се докоснат до различни физични уреди и апарatii.

В края на сборника е представена програмата на проведените „Дни на физиката 2025“. 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 ученическата и студентската аудитория, но и към всички, които проявяват интерес към науката 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 - 2025”, както и на членовете на Организационния комитет и Ръководството на ФПМИ.

Организирането и провеждането на „Дните на физиката 2025“, както и издаването на настоящия сборник са съфинансирани по вътрешния конкурс на ТУ-София 2025 със средства от субсидията за научна дейност. От името на Организационния комитет 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 17 на сборника в Университетското издателство.

*Доц. д-р Елена Халова
Проф. д-тн Сашка Александрова
Ас. Невена Кожухарова*

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

И. Копринков, „Квантовата Механика като динамична и статистическа теория едновременно“.....	6
Христо Търнев и Росица Андреева, „Методите Монте Карло: Как да решаваме задачи със случайни числа“	14
С. Александрова, „Квантовата механика и полупроводниковата ера“.....	20
С. Терзиева, К. Бучков, „Инвестиции и развитие на свръхпроводниците: Път към един по-устойчив свят“.....	27
Е. Халова, Н. Кожухарова, „Хайзенберг и принципът за неопределеност в квантовата механика“.....	34
Н. Кожухарова, Е. Халова, „За описание на вълновите функции и котката на Шрьодингер“	39
Б. Рангелов, „Случаят Санторини – сценарии и поуки“.....	44
Б. Рангелов, „Звездотресения – видове и сила“.....	49
Л. Маринкова, „Къде и как се раждат звездите“	56
Г. Ганчева, Е. Петров, „Способностите на черните дупки“.....	62
Г. Малчев, „Исторически подход в обучението по физика чрез метода „научно есе“.....	69
Г. Пелова, „Сравнителен анализ на урок по физика и астрономия за IX клас: тема „Хармонично трептение“.....	75
„Завод за оптика“ АД“. Дизайн на метално покритие	83
Авторски указател	86
Програма на Дните на физиката	87

КВАНТОВАТА МЕХАНИКА КАТО СТАТИСТИЧЕСКА И ДИНАМИЧНА ТЕОРИЯ ЕДНОВРЕМЕННО

Иван Копринков

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

***Резюме.** Представен е ретроспективен обзор върху един от основните дебати в квантовата механика, а именно - върху нейната физическа същност. Проследено е развитието на идеята за статистическия и динамичния характер на квантовата механика. Посочени са теоретични и експериментални аргументи относно това, че фазата на вълновата функция е причинно свързана с физическата реалност, а квантовата механика е статистическа и динамична теория едновременно.*

Ключови думи: квантова механика, вълнова функция, фаза, интерпретация, статистическа и динамична теория.

1. Увод

Квантовата механика е теоретичната основа на квантовата физика, която описва поведението на материята на атомно и субатомно ниво, но далеч не само това. Съществуват макроскопични проявления на квантовите ефекти като свръхпроводимост, свръхфлуидност. Квантовомеханичен подход се прилага и при третиране на определени космологични проблеми. Квантовата механика е теоретичният фундамент на редица съвременни технологии, включително и някои от най-авангардните от тях.

Квантовата механика води началото си от средата на двадесетте години на 20 век със създаването на матричната механика на Хайзенберг през 1925г и еквивалентната на нея вълнова механика на Шрьодингер през 1926г. Квантовата механика представлява съвременно развитие на тъй наречената "стара квантова механика", на Бор-Зомерфелд и включваща идеи от зората на квантовата физика поставена от Планк през 1900г с въвеждане на идеята за светлинните кванти.

Поради принципни и технологични ограничения, ние никога досега не сме виждали директно, дори и с най-съвременните инструменти, обектите които обичайно описваме в квантовата механика, а именно структурата на атомите и молекули, и в още по-голяма степен - елементарните частици. За тях съдим по резултатите получени в рамките на нашите физични теории (квантовата механика, квантовата теория на полето, и др.) и експерименталните резултати интерпретирани отново в рамките на установените теории. Ето защо е изключително важно тези теории да бъдат обект на непрекъснати стриктни проверки. В рамките на 100 години от нейното създаване, квантова механика постига огромни успехи в описанието и обяснението на квантовите явления и е основен теоретичен фундамент при осмисляне на експерименталните резултати

в тази област. Въпреки това, още от самото си създаване, тя е обект на спорове относно нейната физическа същност и пълнота, и особено относно същността и физическия смисъл на най-важния инструмент с който получаваме информация за квантовите обекти - вълновата функция. Настоящият популярен доклад е посветен на дебатите върху същността на квантовата механика и вълновата функция от нейното създаване до наши дни.

2. Квантова механика – подход, успехи, дебати

В началото ще очертаем накратко някои от основните положения в квантовата механика и някои резултати следващи от тяхна.

2.1 Как "работи" квантовата механика

Съгласно един от принципите на квантовата механика, цялата информация, при това - възможно най-пълната информация, за една квантова система (атом, молекула, свободна частица и други) се съдържа в една функция на координатите и времето, $\psi(\vec{r}, t)$, наречена *функция на състоянието*, *вълнова функция*, или *пси-функция*. Вълновата функция е една изобщо комплексна функция, която в полярно представяне $\psi(\vec{r}, t) = Re^{iS/\hbar} = Re^{-i\Phi}$, се състои от амплитуда R и фаза Φ . Фазата често се представя чрез взетото със знак минус отношение на S (функция на Хамилтон) и $\hbar$ (редуцирана константа на Планк), т.е., $\Phi = -S/\hbar$. С други думи, с точност до фундаментална константа $\hbar$, Φ и S може да ги считаме за еквивалентни. За по-кратко, S също ще я наричаме фаза.

Съгласно друг принцип на квантовата механика, вълновата функция се явява решение на уравнението на Шрьодингер, което, например (за илюстрация), за една частица с маса m има вида (в стандартни означения):

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} \right) + V(\vec{r}, t) \psi = i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad (1)$$

С решаване на уравнението на Шрьодингер и определяне на вълновата функция не приключва физическата задача. Съгласно най-широко приетата интерпретация на квантовата механика, а именно, копенхагенската интерпретация, самата вълнова функция не е физическа наблюдаема. От нея, обаче, посредством определени правила може да се извлече цялата физическа информация за квантовата система.

2.2 Как се извлича физическата информация от вълновата функция

В квантовата механика съществуват няколко правила за извличане на физическа информация от вълновата функция. Едно от тях, а именно правилото на Борн, изразява и едно от основните положения на копенхагенска (вероятностна) интерпретация на квантовата механика. Съгласно правилото на Борн, физически смисъл има квадратът на модула на вълновата функция, който

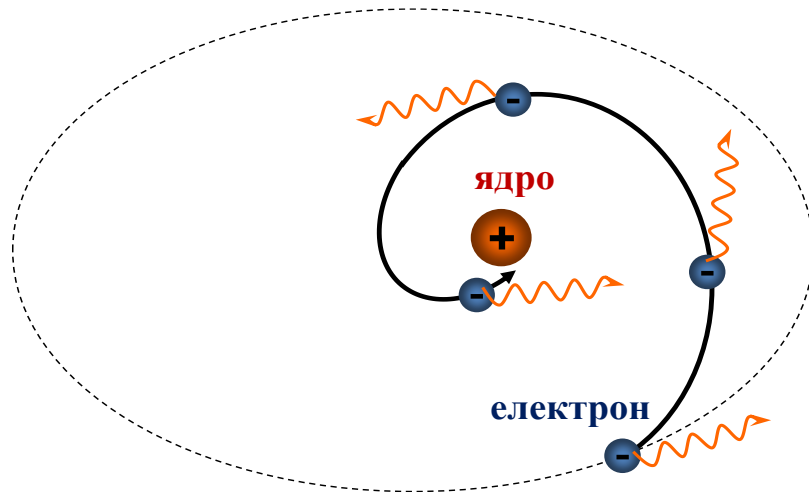
дава плътността на вероятността $w(\vec{r}, t)$ да намерим частицата в дадена точка от пространството $\vec{r}$ в даден момент от времето t :

$$w(\vec{r}, t) = |\psi|^2 = \psi\psi^* = \text{Re}^{-i\Phi} \text{Re}^{i\Phi} = R^2 \quad (2)$$

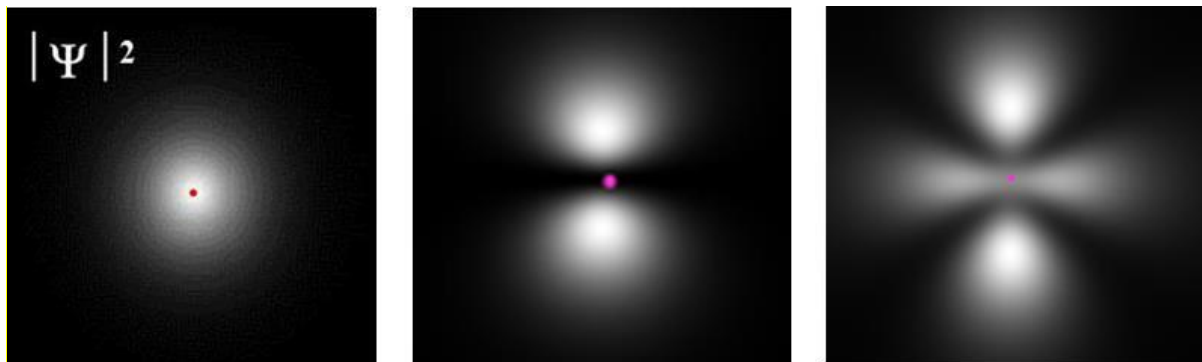
Поради математическата дефиниция на модула на вълновата функция, плътността на вероятността $w(\vec{r}, t)$ зависи само от амплитудата R но не и от фазата $\Phi(S)$ на вълновата функция. Съвсем естествено е да се запитае какъв е физическият смисъл на фазата на вълновата функция в квантовата механика. Всъщност, в рамките на копенхагенската интерпретация се приема, че фазата на вълновата функция не е физическа наблюдаема. Това най-ясно се изразява чрез мнението на някои от най-авторитетните пропоненти на копенхагенската интерпретация. Така например, съгласно фон Нойман [1], всеки зависещ от времето фазов фактор от типа $\exp(i\lambda t)$ е, по принцип, ненаблюдаем; съгласно Ландау и Лифшиц [2], всеки константен фазов фактор от типа $\exp(i\alpha)$ няма отношение към никакви физически резултати. На фазата на вълновата функция е отделено специално внимание в края на този доклад.

2.3 Какво предсказва квантовата механика

Тук ще се фокусираме върху предсказанията на старата и съвременната квантова механика в областта на строежа на атомите. Съгласно картината на старата квантова механика, т.е., модела на Ръдърфорд-Бор, атомът се състои от положително заредено ядро с изключително малки размери, 10^{-15} - 10^{-14} m, в което е концентрирана почти цялата маса на атома, и електрони обикалящи около ядрото по кръгови или елиптични орбити, чийто размер дефинира размера на атома от около 10^{-10} m, фиг.1. Енергията на електрона върху тези орбити се квантува, а самите орбити представляват траекториите на движение на електроните. Орбитите и техните енергии се определят еднозначно от взаимодействията на между ядрата и електроните. Следователно, старата квантова механика е една *детерминистична динамична квантова теория*. Старата квантова механика е отхвърлена поради редица аргументи, един от които е нестабилността на атома в рамките на този модел. Всяка ускорено движеща се заредена частица, каквато е електронът, трябва да излъчва енергия и за много кратко време той би паднал върху ядрото, Фиг.1. Това поведение не се наблюдава експериментално, напротив, атомът е стабилен и това определя стабилността на наблюдаемата материя. Освен това, старата квантова механика дава правилна стойност на енергията само на едноелектронните атоми и не третира останалите характеристики на атомните електрони като орбитален и собствен момент на импулса на електроните и техните проекции, магнитен момент и други. Това е причината тази динамична квантова теория да бъде отхвърлена и създаване на (съвременната) квантова механика.



Фиг. 1. Строеж на атома съгласно старата (динамична) квантова механика



Фиг. 2. Вероятност да намерим електрона в някои стационарни състояния на водородния атом съгласно съвременната (статистическа) квантова механика.

Квантовата механика позволява да се опишат с точни решения на уравнението на Шрьодингер стабилните (стационарни) състояния на водородния атом и всички характеристики на тези състояния, които старата квантова механика не може да опише. Квантовата механика ни дава и много повече от това, а именно, да разберем структурата и характеристиките на многоелектронните атоми, молекули, кондензирана материя и др. Квантовата механика, съгласно копенхагенската интерпретация, не е динамична а статистическа теория. Тя не ни дава информация за траекторията на частицата, а за плътността вероятността $w(\vec{r}, t) = |\psi|^2$ да намерим частицата някъде в пространството. Така например, за основното и първите две възбудени състояния на водородния атом, плътността на вероятността е показана на фиг.2, където атомното ядро, силно увеличено, е показано с точката в средата на всяка фигура. В квантовата механика траекторията се счита за неопределена по принцип поради съотношенията за неопределеност на Хайзенберг за координатите и съответните компоненти на импулса, които не могат да бъдат

определени едновременно с неограничена точност, а това от своя страна пречатства определянето на траекторията. Независимо от този "недостатък", квантовата механика е широко приета като най-добрата теория с която разполагаме в тази област, чиито резултати блестящо се потвърждават от експеримента.

2.4 Дебати върху същността и пълнотата на квантовата механика

Дебатите върху физическата същност на квантовата механика започват почти веднага с нейното създаване и особено знаменателен в това отношение е спорът между Айнщайн и Бор на 5-тия Солвеевски конгрес през 1927. Айнщайн се отнася към вероятностния характер на квантовата механика със запомнящата се фраза "Господ на играе на зарове". На този конгрес, обаче, надделява мнението на Бор и това налага тезата на копенхагенската школа за вероятностната интерпретация, чиито основни представители тогава са Бор, Хайзенберг и Борн.

Една публикация на Айнщайн, Подолски и Розен [3] през 1935г издига на ново ниво спора за същността на квантовата механика и по-специално въпросът за нейната пълнота. В тази работа, на базата на мислен експеримент, се разглежда система от две частици, които в даден момент се намират във взаимодействие и формират система в общо за системата състояние, което се характеризира с определена за цялата система стойност на дадена физична променлива – импулс, собствен момент на импулса (спин) и др. По-късно тези състояния са наречени *вплетени състояния*. Законите за запазване в този случай важат за системата като цяло. Ако се извърши измерване върху една от частицата, то стойността на измерваната променлива на другата частица трябва да бъде в постоянна корелация с тази на първата частица, за да се удовлетворят законите за запазване, дори когато измерването върху първата частица допуска различни стойности на тази променлива, която може да се мери по случаен начин. Това трябва да бъде в сила дори ако частиците са отдалечени една от друга на достатъчно голямо разстояние, така че за времето на измерване върху първата частица никакъв сигнал движещ се със скоростта на светлината да не може да достигне втората частица и да предаде информация за измерването върху първата частица. Наличието на подобна корелация би влязло в противоречие със специалната теория на относителността на Айнщайн, освен ако частиците от системата не са предварително корелирани и по други променливи, наречени *скрити променливи*, които не са известни в квантовата механика. Оттук Айнщайн прави извода, че *квантовата механика е непълна теория*, но тя може да се превърне в пълна теория при намирането на правилните скрити променливи.

Най-успешната засега теория на скритите променливи е създадена от Дейвид Бом [4]. Тя се базира на уравненията на Маделунг [5], които се получават след заместване на полярното представяне на вълновата функция

$\psi = R e^{iS/\hbar}$ в уравнението на Шрьодингер (1). Това води до две нови уравнения, едно за амплитудата R , уравнение (3), и едно за фазата S , уравнение (4):

$$\frac{\partial(R^2)}{\partial t} + \nabla \cdot \left(R^2 \frac{\nabla S}{m} \right) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{(\nabla S)^2}{2m} + V(\vec{r}, t) - \frac{\hbar^2}{2m} \frac{\Delta R}{R} = 0 \quad (4)$$

Уравнения (3) и (4) формират т.н. хидродинамично представяне на квантовата механика, чието наименование се дължи на уравнение (3), което е уравнение за непрекъснатост на своеобразен флуид на вероятността $w = R^2$. В механиката на Бом, уравнения (3) и (4) се допълват от водещо/направляващо уравнение (5) за скоростта на частицата $\vec{v}$, която се определя от фазата S :

$$\frac{d\vec{r}}{dt} \equiv \vec{v} = \frac{\nabla S}{m} \quad (5)$$

След интегриране на уравнение (5) се получава траекторията на частицата.

В механиката на Бом, траекторията на частицата се разглежда като скрит параметър. Това превръща механиката на Бом в детерминистична теория. По-късно, той се оттегля от формулировката "детерминистична" и я заменя с "онтологична", което означава, че вълновата функция се разглежда като реална физична вълна, която направлява движението на частицата. Това е едно от съществените различия с копенхагенската интерпретация, която третира вълновата функция не като обект/вълна, а като състояние на физическия обект.

Механиката на Бом дава силно основание за търсене на динамична квантова теория. За изясняване на същността на физическата реалност ключово значение има едно изследване на Джон Бел [6], в което се показва, че предсказанията на квантовата механика и на теорията на скритите променливи могат да се разграничат експериментално. По-специално, той извежда съотношение под формата на неравенство, *неравенство на Бел*, от вероятностите за измерване на параметрите на вплетени състояния на две частици. По-късно и други автори извеждат подобни неравенства, които носят общото наименование неравенства на Бел. Неравенството на Бел се удовлетворява ако е в сила локална теория на скритите променливи и се нарушава ако са в сила предсказанията на квантовата механика, където под локалност се разбира предаване на взаимодействието от точка към точка в пространството с крайна скорост, съгласно специалната теория на относителност на Айнщайн.

Неравенствата на Бел върху различни вплетени квантови състояния са обект на продължителни експериментални изследвания, разширявайки последователно кръга на проверяваните случаи. Окончателното заключение от тези експерименти е, че се *отхвърля съществуването на локална теория на скритите променливи* и се *потвърждават предсказанията на квантовата*

механика. За изключителния си принос при експерименталната проверка на неравенствата на Бел, Ален Аспе, Джон Клаузър и Антон Цайлингер са удостоени с Нобелова награда по физика за 2022 година [7].

3. Фаза – амплитуда - физическа реалност

Отхвърлянето на тезата за непълнотата на квантовата механика на базата на експерименталната проверка на неравенствата на Бел не изключва обратната "непълнота" - квантовата механика може да съдържа повече информация отколкото е прието в нейната официална копенхагенската интерпретация. Анализирайки уравненията на Маделунг (3) и (4) е показано [8], че съществува фундаментална връзка между фазата и амплитудата на вълновата функция и физическата реалност. Уравнение (3) е уравнение за непрекъснатост на плътността на вероятността R^2 . То описва еволюцията на амплитудата R на вълновата функция, в което участва и фазата S . Уравнение (4) е квантовомеханичното уравнение на Хамилтон-Якоби и съдържа динамиката на квантовата система включвайки кинетичната енергия $(\nabla S)^2/2m$ и потенциална енергия $V(\vec{r},t)$. То описва еволюцията на фазата S на вълновата функция, в което участва и амплитудата R чрез т.н. квантов потенциал $\hbar^2/2m(\Delta R/R)$. На тази база могат да се направят следните изводи:

- 1) Амплитудата R и фазата S не са независими, а са свързани помежду си.
- 2) Амплитудата R има статистически смисъл, както е прието в копенхагенската интерпретация, но е повлияна динамично от фазата S .
- 3) Фазата S има динамичен смисъл, повлиян статистически от амплитудата R .

Връзката между амплитудата и фазата е фундаментална и обща, тъй като зависи единствено от структурата на уравнението на Шрьодингер и на вълновата функция. Тази връзка е показана още в работата на Бом [4]. Тя ясно се вижда в хидродинамичното представяне, но съвсем не е очевидна в Шрьодингеровото представяне. Тази връзка, заедно с общоприетата връзка между амплитудата на вълновата функция и физическата реалност (копенхагенската интерпретация), за първи път е използвана за доказване на съществуването на фундаментална връзка между фазата на вълновата функция и физическата реалност [8]:

$$S(\vec{r},t)/\Phi(\vec{r},t) \leftrightarrow R(\vec{r},t) \leftrightarrow \text{физическа реалност} \quad (6)$$

Съществуването на подобна връзка е предсказано преди това и на базата на установено детерминистично/причинно поведение на фазата на вълновата функция от разглежданите физични процеси и начални условия [9].

За окончателно приемане на тезата за връзка на фазата на вълновата функция с физическата реалност са нужни експериментални доказателства. Такива доказателства са намерени анализирайки динамичното поведение на вълнови пакети в атоми и молекули. Вълновите пакети са квантови състояния

които са тясно локализирани около самия квантов обект (електрон в атом, атомно ядро в молекула и др.) и много по-ясно очертават неговото динамично поведение. Тези експерименти, макар и провеждани с друга цел, много ясно демонстрират как фазата на вълновата функция води до реално наблюдаеми физични ефекти [10-12].

На базата на горните теоретични и експериментални резултати е въведена нова интерпретация на квантовата механика, *динамично-статистическа интерпретация* [8], която включва както амплитудно-чувствителните квантови явления така и фазово-чувствителните квантови явления (непризнати от копенхагенската интерпретация).

4. Заключение

На базата на представените физични аргументи може да се заключи, че квантовата механика, по начина по който е конструирана, е заложено да бъде статистическа и динамична теория едновременно. Статистическият характер се носи от амплитудата на вълновата функция, но е повлиян динамично от фазата. Динамичният характер се носи от фазата на вълновата функция, но е повлиян статистически от амплитудата.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] J. von Neumann, Mathematical Foundations of Quantum Mechanics, Princeton University Press (1996).
- [2] Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, Квантовая механика (нерелятивистская теория), Наука, Москва (1989).
- [3] A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen, Phys. Rev., **47**, 777 (1935)
- [4] D. Bohm, Phys. Rev. **85**, 166 (1952)
- [5] E. Madelung, Z. Phys., **40**, 322 (1927)
- [6] J. S. Bell, Physics, **1**, 195 (1964)
- [7] The Nobel Prize in Physics 2022, Press release, NobelPrize.org.
- [8] I. G. Koprnikov, AIP Conf. Proc., **1301**, 573 (2010)
- [9] I. G. Koprnikov, Phys. Lett. A **272**, 10 (2000)
- [10] M. W. Noel and C. R. Stroud, Phys. Rev. Lett. **75**, 1252 (1995)
- [11] J. Gerdy, M. Dantus, R. Bowman, and A. Zewail, Chem. Phys. Lett. **171**, 1 (1990)
- [12] N. F. Scherer, et al., J. Chem. Phys. **95** 1487 (1991)

МЕТОДИТЕ МОНТЕ КАРЛО: КАК ДА РЕШАВАМЕ ЗАДАЧИ СЪС СЛУЧАЙНИ ЧИСЛА

Христо Търнев и Росица Андреева

Катедра Приложна Физика, ФПМИ, ТУ-София, София 1000, бул. "Кл. Охридски" 8,
e-mail: tarnev@tu-sofia.bg, rpavlova@tu-sofia.bg,

***Резюме.** В доклада са представени основите на методите Монте Карло, използващи случайни числа за решаване на широк кръг задачи в различни области. Направено е кратко описание на генерирането на случайни числа с компютър. Дадени са и няколко примера за различни приложения на тези методи.*

Ключови думи: компютърни симулации, генератори на случайни числа, Монте Карло методи.

1. Исторически бележки

Въпреки че името „метод Монте Карло“ е въведено през 1947 г., в началото на компютърната ера, стохастичните методи са били известни много преди появата на компютрите. Граф дьо Бюфон [1], предлага метод, подобен на Монте Карло, за определяне на резултата от „експеримент“, състоящ се в многократно хвърляне на игла върху лист хартия с разчертани линии, за да се определи вероятността иглата да пресече една от линиите. През 1777 г., много преди появата на автоматичните изчислителни машини, Бюфон изчислява, че игла с дължина L , хвърлена произволно върху равнина, разчертана с успоредни линии на разстояние d една от друга, където $d > L$, би имала вероятност да пресече една от линиите $p = 2L / \pi d$

Много по-късно Лаплас [2] предполага, че тази процедура може да се използва за определяне на стойността на π , макар и бавно.

Модерната версия на метод „Монте Карло“ е разработена в края на четиридесетте години на XX век от Станислав Улам, докато работи по проекти за ядрени оръжия в националната лаборатория „Лос Аламос“, а Джон фон Нойман програмира електронноизчислителната машина ENIAC да прилага метода.

Идеята за първи път хрумва на Улам, който, докато се възстановява от болест, играе пасианс многократно и след това се чуди дали може да изчисли вероятността за успех чрез комбинаторен анализ. Хрумнало му, че би било възможно да направи това, като играе голям брой игри, преброява броя на успешните игри [3, 4], и след това оценява вероятността за успех.

2. Генериране на случайни числа. Случайни и псевдослучайни числа.

Има два основни метода използвани за генерирането на случайни числа. Единият от тях измерва някой физичен феномен, който се счита, че е случаен и след това компенсира възможните отклонения по време на измерването. Примери за такива източници са измерванията на шум, електромагнитни и квантови явления. Космическото фоново лъчение или радиоактивния разпад например, също могат да бъдат използвани [5]. Недостатък на източниците на естествените случайни резултати е, че те са скоростно ограничени.

Вторият метод за генериране на случайни числа е чрез използване на изчислителни алгоритми, които връщат като резултат поредици от случайни числа, които всъщност са напълно определени от началната стойност. По този начин една и съща последователност от числа може да бъде възпроизвеждана неограничен брой пъти, ако се знае началната стойност, която определя алгоритъма. Този тип генератор често се нарича псевдослучаен генератор на числа [6]. Такава поредица рано или късно започва да се повтаря или изчисляването на следващия ѝ член надхвърля наличната памет на системата. Един от най-известните алгоритми е линейният конгруентен метод, който използва следната рекурентна формула [7]:

$$X_{n+1} = (aX_n + b) \bmod(m)$$

Максималният брой числа, които се получават по тази формула е равен на числото m . За да се избегнат конкретни неслучайни свойства на единичния линеен конгруентен генератор, няколко такива случайни генератори работят паралелно с леко различни стойности на множителния коефициент и с един „главен“ генератор на случайни, който избира от няколко такива генератори.

Повечето компютърни езици за програмиране съдържат функции или библиотечни методи, които предоставят генератори на случайни числа. В повечето случаи те са създадени, за да предоставят случаен байт, дума или число с плаваща запетая с равномерно разпределение между 0 и 1.

Добрият генератор на случайни числа трябва да притежава следните свойства: равномерно разпределение (стандартно в интервала от 0 до 1); числата трябва да са некорелирани; дълъг цикъл преди да започне повторение на числата; бързодействие.

Много комерсиални продукти – например Matlab, Wolfram Mathematica, Excel и др. – имат вградени генератори на случайни числа.

Също така в литературата по числени методи може да бъде намерена достатъчно информация за добри алгоритми за такива генератори.

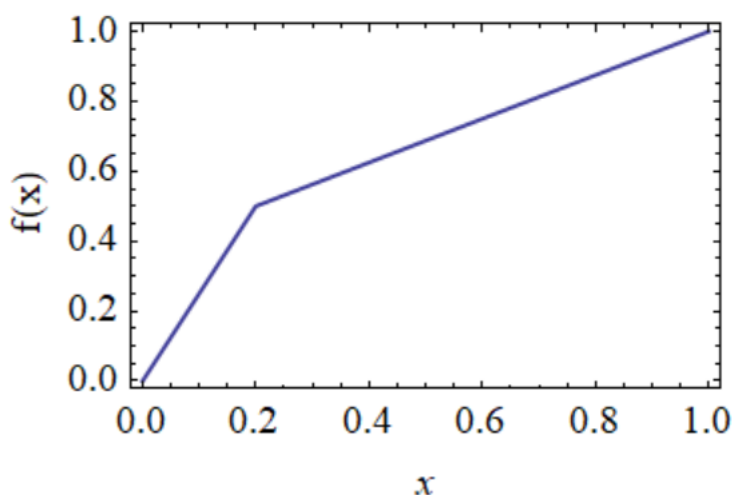
Бъдещите архитектури може би ще позволят и хардуерно генериране на случайни числа.

3. Генериране на случайни числа с произволна функция на разпределение

Съществуват няколко метода за генериране на случайни числа с определена функция на разпределение. Тези методи включват превръщането на равномерно разпределено случайно число и поради тази причина те работят еднакво добре както за псевдослучайните, така и за действително случайните числа.

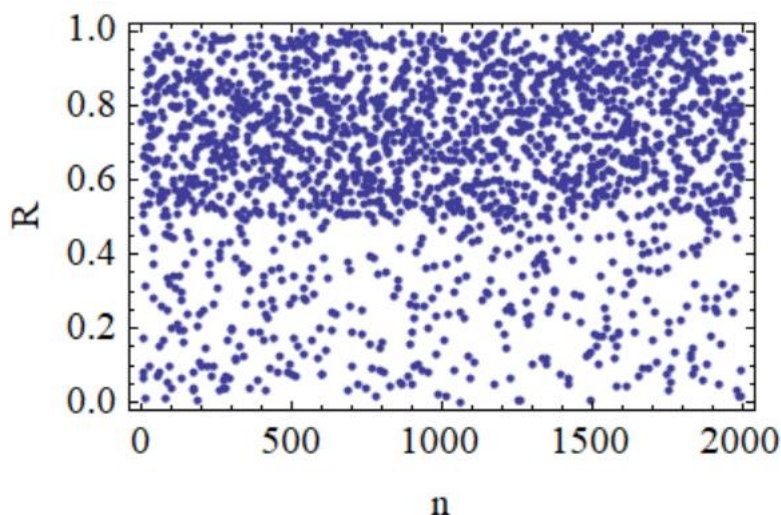
Един от методите е на „приемане-отхвърляне“, който представлява вземане на стойности за x и y и проверка дали функцията на разпределение на x е по-голяма от стойността на y . Ако е – тогава стойността на x се приема, в противен случай се отхвърля и алгоритъмът опитва отново.

Друг метод е инверсията, при който се използва обратната кумулативна функция на разпределение. Без да навлизаме в подробности за метода, ще разгледаме един пример. Ще решим задачата да се генерират случайни числа, които не са равномерно разпределени в интервала от 0 до 1, а с 20% вероятност попадат в интервала от 0 до 0.5 и с 80% вероятност в интервала от 0.5 до 1. Ще използваме функцията, показана на фиг. 1. Като аргумент x използваме равномерно разпределени случайни числа от 0 до 1. 20% от тези числа ще попаднат в интервала от 0 до 0.2, на които съответстват стойности на $f(x)$ от 0 до 0.5. Съответно, 80% от случайните числа попадат в интервала от 0.2 до 1, на които съответстват стойности на $f(x)$ от 0.5 до 1.



Фиг. 1. Функция, използвана в примера за генериране на случайни числа.

Резултатът от генерирането на $n = 2000$ случайни числа е показан на фиг. 2. Ясно се вижда по-големият брой точки между 0.5 до 1. Количественият анализ на резултатите показва, че действително 80% от генерираните случайни числа са в този интервал.



Фиг. 2. Генерирани случайни числа R при $n = 2000$ опита.

4. Някои приложения в математиката, физиката и други области на науката

Пример 1: Определяне на числото π .

Класическият метод, който Архимед е разработвал още преди 2500 години, е да начертаем вписан и описан около кръг многоъгълник. Лицето на кръга е между лицата на двата многоъгълника и ако многоъгълникът е с голям брой страни, може да определим числото π .

При Монте Карло метода използваме генератор на случайни числа, които попадат в квадрат, в който е вписан кръг. Колкото е по-голям кръгът, толкова повече случайни числа, ще попаднат в него. N_1 са всички точки, които ще генерираме, N са тези, които попадат в кръга, те са пропорционални на лицата на фигурите. От отношението на числата получаваме отношението на лицата на кръга и квадрата и оттук определяме числото π .

Пример 2: Числено интегриране.

Класическият начин е с намиране на лицето на правоъгълници под функцията, която интегрираме, като точките, в които изчисляваме стойността на функцията, се вземат през равни интервали. При Монте Карло метода положенията на точките се определят с генератор на случайни числа. Тук трябва да се отбележи, че Монте Карло методът е ефективен само при многомерни интегрални.

Пример 3: Моделиране на движението на флуиди.

С Монте Карло метода определяме скоростите на отделните молекули, след което намираме средната скорост на молекулите, и това е скоростта, с която се движи флуидът. Проблем е, че молекулите са много и затова не разглеждаме

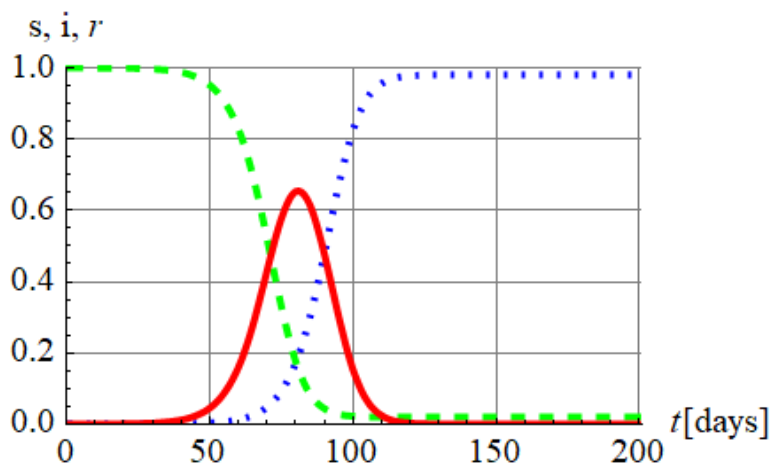
всички частици в газа, а например 100 000 или 1 000 000 частици. На случаен принцип определяме кои частици се удрят, какво разстояние изминават между два удара, каква е посоката им след удара и в резултат на това можем да намерим скоростта на газа в различните точки.

Методът е по-ефективен в разреждени газове, например при моделирането на полет на космически кораби в горните слоеве на атмосферата.

Пример 4: Развитие на епидемия

Методът намира много приложения и в области, несвързани с математиката и физиката. Тук като пример ще разгледаме приложение в епидемиологията. Класическите методи в епидемиологията са свързани с решаване на диференциални уравнения, но те не винаги могат да опишат всички детайли в развитието на епидемията.

В модела населението на страната е представено като масив с N на брой елемента. Един заразен човек се среща с известен брой хора всеки ден. С кого се среща определяме с генератора на случайни числа. Не всички срещи водят до предаване на заразата, така че отново с генератор на случайни числа се определя дали имаме нов заразен. С течение на времето част от хората преболедуват и развиват имунитет. Те не могат да бъдат заразени повторно и затова в програмата трябва да се проверява дали човекът има имунитет.



Фиг. 3. Типични резултати за развитие на епидемия. болни (червена плътна линия), преболедували (сини точки) и непреболедували (зелена пунктирана линия).

Типични резултати от развитието на епидемия са показани на фиг.3. Предимство на Монте Карло метода в този случай е, че позволява произволна функция на разпределение за броя на вторичните заразявания и денят на вторичното заразяване. При моделите с диференциални уравнения тези функции обикновено са константи.

5. Заключение

В заключение, Монте Карло методите са модерни методи за симулации, които намират много приложения в различни области. В много случаи те имат предимство пред симулациите с диференциални уравненията, тъй като използват по-малко предварителни предположения и приближения.

Недостатък на методите е, че имат големи изисквания към компютрите и поради това много често при тях се използват суперкомпютри. Монте Карло методите позволяват паралелизация, тоест задачите се разпределят между отделните процесори. И последния (но съществен) недостатък е, че резултатите са по-трудни за тълкуване отколкото при решаване на уравнения.

ЛИТЕРАТУРА

[1] G. Comte de Buffon. Essai d'arithmétique morale, volume 4. Supplément à l'Histoire Naturelle, 1777.

[2] P. S. Laplace. Theorie analytique des probabilités, Livre 2. In Oeuvres complètes de Laplace, volume 7, Part 2, pages 365 – 366. L'académie des Sciences, Paris, 1886.

[3] N. Metropolis. The beginning of the Monte Carlo Method. Los Alamos Science (Special Issue), pages 125 – 130, 1987.

[4] R. Eckhart. Stan Ulam, John von Neumann, and the Monte Carlo method. Los Alamos Science (Special Issue), pages 131 – 141, 1987.

[5] M. H. Kalos and P. A. Whitlock. Monte Carlo Methods, 2nd Edition. John Wiley and Sons-VCH, Weinheim, Germany, 2008.

[6] S. M. Ulam. Adventures of a Mathematician, second edition. University of California Press, Berkeley, 1991.

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

КВАНТОВАТА МЕХАНИКА И ПОЛУПРОВОДНИКОВАТА ЕРА

Сашка Александрова

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

***Резюме.** Представен е кратък преглед на приложението на квантово-механичните представи за описание на свойствата на полупроводниковите вещества. С изобретяването на първия полупроводников точков транзистор се поставя началото на една нова ера в развитието на човешката цивилизация – ера, която се простира далеч напред във времето на квантовите компютри.*

Ключови думи: квантова механика. полупроводници.

1. Увод

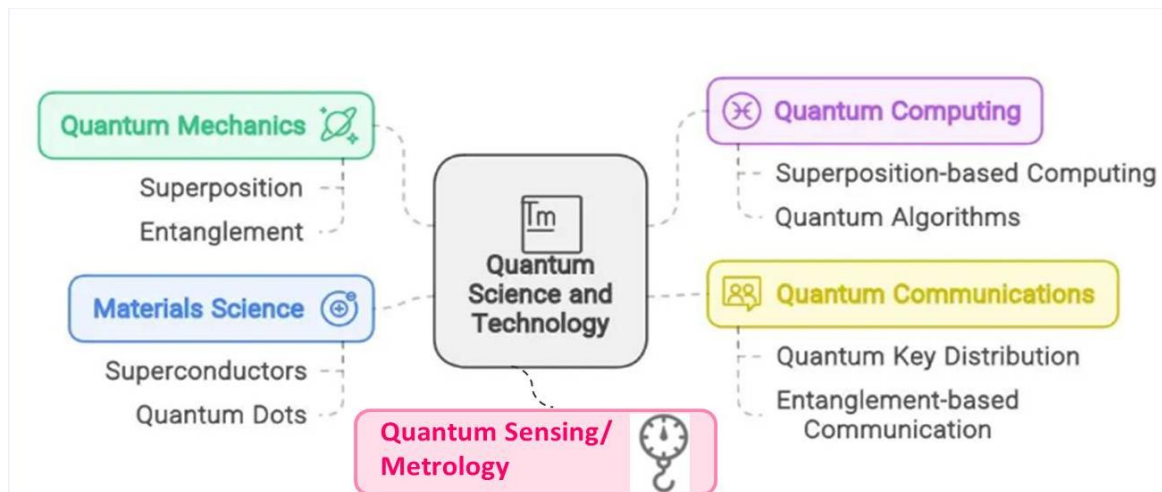
Квантовата наука се е зародила в резултат на изследвания на най-малките обекти в природата. Днес тя обещава да задълбочи разбирането ни за Вселената и да ни предостави новаторски технологии – от квантови компютри до ултрапрецизни измервателни устройства и материали от следващо поколение, които ще трансформират много области на индустрията, медицинската практика и екологичната ситуация. Симбиозата на квантовата механика и физиката на полупроводниците играе съществена роля в развитието на много от споменатите области.

На 7 юни 2024 г. Генералната асамблея на ООН официално обяви 2025 за „Международна година на квантовите науки и технологии“ (International Year of Quantum Science & Technology (IYQ2025)). Не става въпрос за просто честване в продължение на една година, а за поставяне на началото на десетилетие, посветено на усилено научно развитие. Това означава ангажимент за овладяване на квантовите науки и технологии за устойчиво развитие, като се гарантира, че ползите от тях са достъпни за цялото човечество, сега и в бъдеще. От особена важност е и повишаване на обществената осведоменост за значението на квантовата наука и нейните приложения.

2. За квантовите науки и технологии

Квантовите науки и технологии могат да се разглеждат като интердисциплинарна област, която използва принципите на квантовата механика за разработване на нови перспективни технологии. В следващото десетилетие се предвижда осигуряване на възможности, които да дадат тласък на развитие в различни области, от самата квантова механика до приложения в квантовите изчисления, квантовите комуникации, разработването и

приложението на материали с необичайни свойства и на прецизни измервателни техники за специални приложения (фиг. 1).



Фиг. 1. Възможности и приложения на квантовите науки и технологии

IYQ2025 стартира в чест на стогодишнината от статията на Вернер Хайзенберг “Върху квантово-механичната преформулировка на кинематичните и механичните съотношения” [1]. Статията е публикувана през юли 1925 г. на

**Über quantentheoretische Umdeutung
kinematischer und mechanischer Beziehungen.**

Von **W. Heisenberg** in Göttingen.

(Eingegangen am 29. Juli 1925.)

In der Arbeit soll versucht werden, Grundlagen zu gewinnen für eine quantentheoretische Mechanik, die ausschließlich auf Beziehungen zwischen prinzipiell beobachtbaren Größen basiert ist.

Bekanntlich läßt sich gegen die formalen Regeln, die allgemein in der Quantentheorie zur Berechnung beobachtbarer Größen (z. B. der Energie im Wasserstoffatom) benutzt werden, der schwerwiegende Einwand erheben, daß jene Rechenregeln als wesentlichen Bestandteil Beziehungen enthalten zwischen Größen, die scheinbar prinzipiell nicht beobachtet werden können (wie z. B. Ort, Umlaufzeit des Elektrons), daß also jenen Regeln offenbar jedes anschauliche physikalische Fundament mangelt, wenn man nicht immer noch an der Hoffnung festhalten will, daß jene bis jetzt unbeobachtbaren Größen später vielleicht experimentell zugänglich gemacht werden könnten. Diese Hoffnung könnte

Фиг.2. Част от първата страница на осново-полагащата статията на Вернер Хайзенберг

немски език в списание Zeitschrift für Physik и се явява основополагаща за възникването на квантовата механика. На фиг.2 е показана част от заглавната страница на статията.

Новите идеи се възприемат от други изследователи и още през ноември 1925 г. се появява подробна статия в 2 части с автори Борн, Хайзенберг и Йордан, “матричната квантовата механика” [2]. Публикацията е известна сред учените като „Статията на тримата“. Малко по-късно, през

зимата на 1925/1926 г., Шрьодингер развива своята вълнова механика. През пролетта на 1926 г. квантовите физици разполагат с два теоретични модела, които им позволяват да предскажат едно и също поведение за квантовите системи. Всъщност през 1932 г. Джон фон Нойман (*John von Neumann*) дава първото солидно доказателство за еквивалентността между двата формализма, матричната и на вълновата механика, в известната си книга „Математически основи на квантовата механика“ [3]. Така са положени основите на квантовата механика. Често това се отбелязва като „първа квантова революция“.

И както често се казва, останалото е история. Всъщност историята продължава с в тясна връзка с физиката на полупроводниците и се дава тласък на развитието на полупроводниковите технологии.

3. Квантовата механика и физиката на полупроводниците

Десетилетието 1925 – 1935 след първата статия на Хайзенберг е времето на Втората промишлена революция, когато в обществото настъпват следните промени:

- Навлизане на фабричната система и масовото производство
- Технологични промени, които включват използването на нови основни материали, главно желязо и стомана
- Нарастващо приложение на науката към промишлеността и масовото производство

По отношение на свойствата на материалите тогава физиката разполага с объркващи факти. Класическата теория няма обяснение на определени свойства на металите, както и за съществуването на полупроводниците. Дори през 1931 г. Волфганг Паули пише известното си писмо до Рудолф Пайерлс: “Няма смисъл да се работи върху полупроводници, това е някаква бъркотия; кой знае дали наистина съществуват! (Über Halbleiter sollte man nicht arbeiten, das ist eine Schweinerei, wer weiss, ob es überhaupt Halbleiter gibt)“.

Историята продължава със много успешното приложение на квантовата механика към твърдите тела за обясняване на електричната проводимост в полупроводниковите вещества.

Така се слага началото на полупроводниковата ера.

Постиженията на физиците в областта на твърдите тела в това десетилетие се базират на главно на идеите на Луи де Бройл, че може би частици като електроните понякога могат да се държат като вълни и на квантовомеханичното описание чрез прилагането на уравнението на Ервин Шрьодингер – уравнение, което може да опише най-точно поведението на електроните и другите субатомни частици.

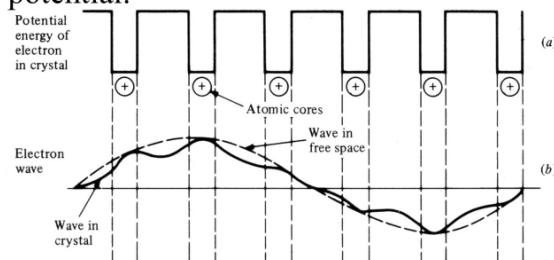
За да се разбере как работи физиката на твърдото тяло, е необходимо да се намери отговор на следните два основни въпроса:

1. Какви са (приблизителните) решения на уравненията на Шрьодингер за единичен атом от даден вид?
2. Как се променят тези решения, ако въпросният атом е част от правилна решетка от идентични атоми (какво е влиянието на взаимодействията на най-близките съседи в кристалната решетка върху външните електронни обвивки на атомите на въпросната решетка)?.

По тези проблеми работят много физици от това време по цял свят. Първите, които обясняват как вълновите свойства определят проводимостта на материалите (да провеждат или не електричен ток) са Юджийн Вигнер (Eugene Wigner) и Фредерик Зайц (Frederick Seitz) [4].

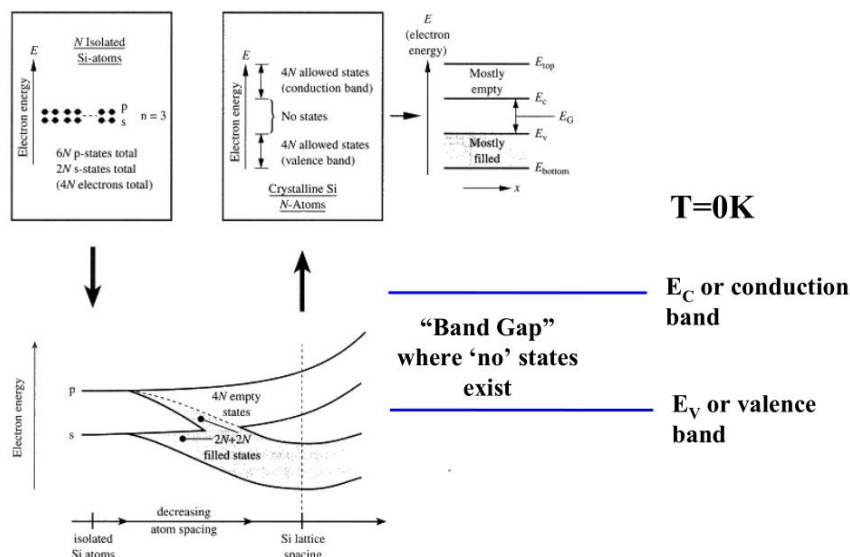
Отговорът на тези въпроси дава зонната теория, която идва като резултат от изследванията на редица учени. За описание на движението на електроните като квазичастици в подредена кристална решетка се търсят решения на уравненията на Шрьодингер в периодичен потенциал (фиг. 3а). Видът на вълновата функция на електрона в този случай, повлияна от кристалния потенциал, в сравнение тази на свободния електрон е показана на фиг.3б.

- Electron is a quasi-particle that behaves as a “wave” due to quantum mechanical effects.
- The electron “wavelength” is perturbed by the crystals periodic potential.



Фиг. 3. Движение на електроните в кристала

На фиг. 4 е представена илюстрация на възникването на редуващи се енергетични зони, когато атомите се приближават един към друг и започват да се свързват, образувайки решетка. Тогава съгласно принципа на изключването на Паули, при който два електрона, заемащи едно и също пространство, не могат да имат еднаква енергия и енергетичните им нива от различните атоми се разцепват на области (зони) от дискретни нива, толкова близо разположени по енергия, че могат да се считат за континуум от разрешена енергия.

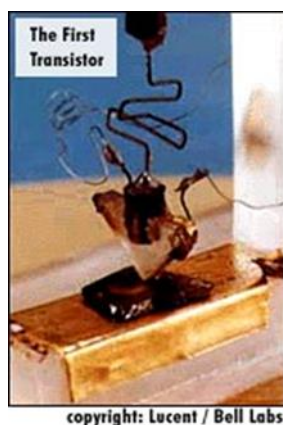


Фиг. 4. Илюстрация на развитие на зонния модел за N атома Si, формиращи кристална решетка

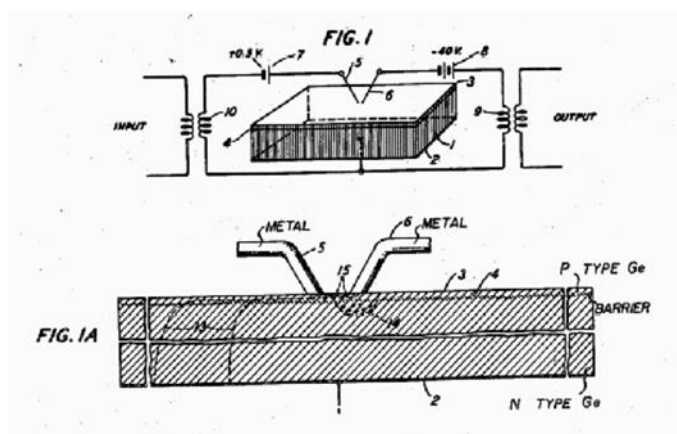
Според зонната теория материалите се класифицират на изолатори, полупроводници или метали според ширината на забранената им зона за постигане на термична заселеност на проводимата зона. Така се поставя основата за изследванията, които в Bell Labs ще направят десетилетие по-късно, превръщайки един полупроводников кристал в транзистор.

5. Транзисторът – едно малко откритие, с огромно значение за човешката цивилизация

През 1945 г. по предложение на Мервин Кели (Mervin Kelly), тогавашен директор на изследователския отдел на Bell Labs, Уилям Шокли започва да търси начини да създаде твърдотелно устройство, на базата на ефекта на полето. Идеята е това устройство да замени нестабилните и ненадеждни лампови превключватели и усилватели, използвани в телефонното оборудване. След първите неуспешни опити Шокли поставя задачата на Джон Бардийн (John Bardeen) и Уолтър Братейн (Walter Brattain). В хода на техните изследвания, които отнемат почти две години, те откриват биполярен транзисторен ефект, за който по-късно техният шеф Шокли разработва подробна теория. Така е построен първият работещ точков транзистор на базата на германий (Фиг. 5а). За своето изобретение Бардийн и Братейн получават патент. Чертеж на полупроводниковата структура от патента е показан на фиг. 5b.



Фиг.5а. Първият точков транзистор на базата на Ge



Фиг.5b. Схема на транзистора от патента на Бардийн и Братейн

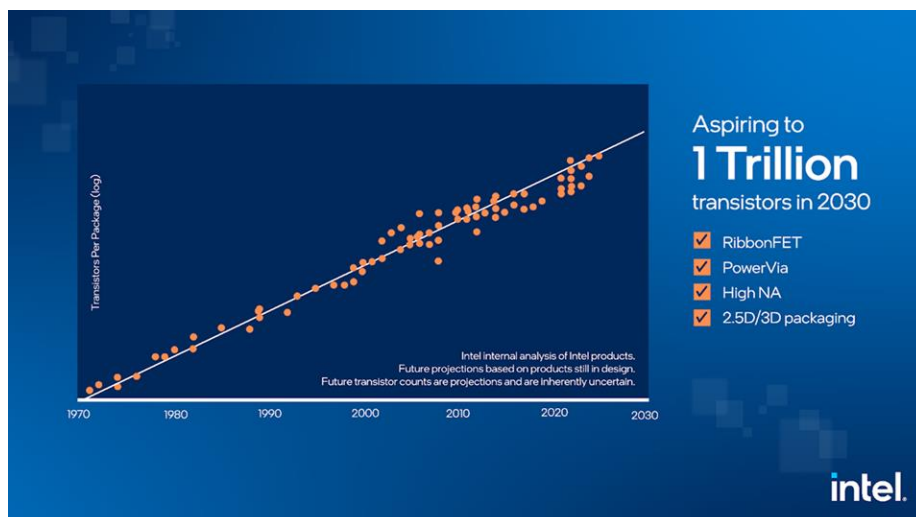
За своето откритие Джон Бардийн, Уолтър Братейн и Уилям Шокли (фиг. 6) получават Нобелова награда по физика за 1956 г. Формулировката на Нобеловия комитет е, че наградата се дава за "за изследванията им върху полупроводниците и откриването на транзисторния ефект".



Фиг. 6. Тримата Нобелови лауреати (от ляво на дясно Джон Бардийн, Уилям Шокли и Уолтър Братейн.

човешката дейност. Основна роля играе силицият, който става един от основните материали в основата на развитието на електронните устройства и компютърните технологии.

Така започва навлизането на полупроводниковите материали и технологии и се поставя началото на полупроводниковата ера. Развитието следва дефинирания през 1960 г. закон на Мур (Moore's Law) за увеличаване на елементите на чип (фиг. 7). С изобретяването на микрочиповете през 1958 г. полупроводниковите устройства навлизат във всички области на индустрията и имат съществено влияние във всички сфери на



Фиг. 7. Закон на Мур увеличаване на броя на елементите на чип

Понастоящем всеки електронен прибор, който виждате, държите или докосвате, има чип – или няколко чипа, който е направен от полупроводници. На страницата на Калифорнийски технологичен институт можете да прочетете, че „Непременно трябва да разбирате атомите, елементите и съединенията на квантово ниво, за да създадете дори основния елемент на схемата, която се намира във вашия смартфон“.

Силицият заслужено се смята за един от ключовите материали, залегнали в основата на съвременните електронни устройства и компютърни технологии. Съществена е ролята му и в областта на квантовите компютри. Съвсем наскоро в публикация в списание *Communications materials* на Nature беше съобщено пробив в производство на свръхчист силиций, което позволява изграждането на високопроизводителни кюбити за мощни квантови компютри, използвайки стандартна силициева технология [5].

Квантовите ефекти играят решителна роля при разработването на нови полупроводникови материали – оксиди, нитриди, наноразмерни 3D, 1D, 2D структури за постигане на нови свойства и нови функционалности.

6. За Нобеловите лауреати Д. Бардийн, У. Братейн и У. Шокли

След напускането си на Bell Labs Уилям Шокли основава фирма Shockley Semiconductor Laboratory в Пало Алто, Калифорния, и така става първата лаборатория от Silicon Valley. След фалита на фирмата Шокли преподава в Stanford University. Още през 1939 г. той публикува обширна статия „The Quantum Physics Of Solids, I. The Energies of Electrons in Crystals“ [6], а по-късно и книга през 1950 г. “Electrons and Holes in Semiconductors”, където отделна глава е посветена на теорията на полупроводниците на базата на квантовомеханичните представи.

Джон Бардийн напуска Bell Labs през 1951г и е професор в University of Illinois. Той единствен е лауреат на Нобелова награда по физика два пъти. Втората Нобелова награда получава през 1972 г. заедно с Leon Cooper и John Schrieffer" за разработена теория на свръхпроводимостта, известна като BCS-теория”. Бардийн е единственият двоен Нобелов лауреат в една и съща област.

Уолтър Братейн работи в Bell Labs до пенсионирането си, след което работи като гост-професор в колежа Whitman, който той самият е завършил.

7. Заключение

Едно от най-важните изобретения на миналия век, транзисторът, е пример за това как научните изследвания, в частност в областта на квантовата механика, могат да доведат до полезни търговски продукти. Разработени бяха интегралните схеми и микропроцесорите – сърцето на полупроводниковата индустрия. Човечеството навлезе в една нова ера. Микроелектронните устройства доведоха до развитието на компютрите и компютърните технологии и позволиха появата на глобалните комуникации.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] W. Heisenberg, Z. Phys. **33**, 879 (1925).
- [2] M. Born, , P. Jordan, Zur Quantenmechanik. Z. Physik **34**, 858–888 (1925).
- [3] J. Von Neumann, Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik, Berlin Springer. (1932).
- [4] E. Wigner, F. Seitz, Physical Review, **43**, 1933, 804–810 (1933).
- [5]<https://www.unimelb.edu.au/newsroom/news/2024/may/new-super-pure-silicon-chip-opens-path-to-powerful-quantum-computers>
- [6] W. Shockley, Bell System Technical Journal, **18**, 645 -723, 1939

ИНВЕСТИЦИИ И РАЗВИТИЕ НА СВРЪХПРОВОДНИЦИТЕ: ПЪТ КЪМ ЕДИН ПО-УСТОЙЧИВ СВЯТ

Станимира Терзиева¹, Кръстьо Бучков²

Катедра Приложна Физика, ФПМИ, ТУ-София, бул. "Кл. Охридски" №8, София 1000

e-mail: stterzieva@tu-sofia.bg

²Институт по физика на твърдото тяло „Академик Георги Наджаков“, Българска
Академия на Науките, София 1217, бул. „Цариградско шосе“ 72,

e-mail: kbuchkov@issp.bas.bg

Резюме. В свят, който се бори с изменението на климата, енергийната ефективност се превърна в критична грижа. Докато преминаваме от изкопаеми горива към възобновяеми енергийни източници, сигурността на нашите енергийни системи става все по-важна. Перспективата за пълноценно използване на свръхпроводници би била полезна за решаване на енергийната криза чрез минимизиране на загубата на топлинна енергия с подходящи свръхпроводници като електрически преносни кабели. Въпреки продължаващите предизвикателства, особено при разработването на свръхпроводници при стайна температура, всички изследвания и инвестиции в тази област са стъпки в правилната посока.

Ключови думи: свръхпроводимост, енергия.

1. Увод

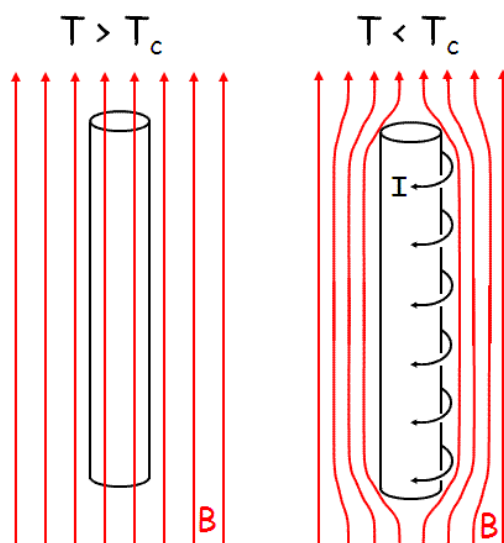
Свръхпроводимостта е едно от най-значимите научни открития на XX век. Повече от 110 години по-късно (след 1911г.) това феноменално свойство на определени материали да „губят“ съпротивлението си и пренасят ток при много ниски температури, намира приложение при конструирането на нови индустриални апарати, медицинско оборудване и много технологични устройства.

2. Еволюция на свръхпроводимите материали

Нидерландският физик Хайке Камерлинг Оннес полага основите на научните изследвания в областта на свръхпроводимостта. През 1911 г. първоначално той успява да втечни хелий при температура от 0,9 К (-272 °C), а след това открива как електрическото съпротивление на живака рязко изчезва при охлаждане до 4 Келвина (-269°C). Температурата, при която това се случва се обозначава като критична температура (T_c) или температура на преход във свръхпроводимо състояние.

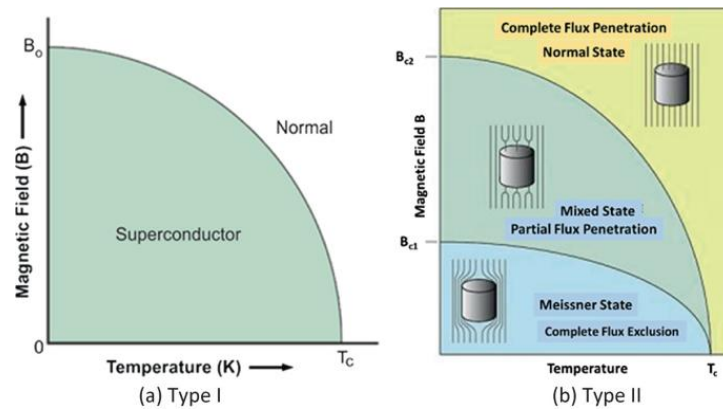
Научното откритие поставя нови въпроси, а изследванията на свръхпроводимостта набират популярност. Откриването на ефекта на Майснер, който изследва магнитните свойства на свръхпроводниците, от Валтер Майснер и Робърт Ошенфийлд предизвика повече интерес към това ново състояние на

материалите. [1]. Ефектът на Майснер основно гласи, че когато определен материал е в свръхпроводимо състояние, той не позволява линиите на външно приложено магнитно поле да проникнат в обема на материала [2], (фиг. 1). Това явление зависи от вида на въпросния свръхпроводим материал.



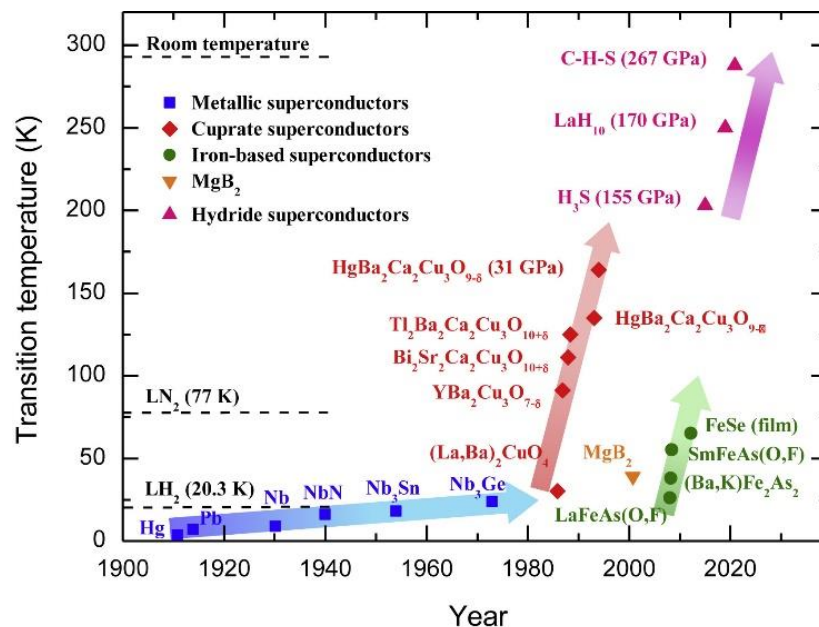
Фиг. 1. Илюстрация на т.н. Ефект на Майснер [3].

Свръхпроводник от тип I екранира напълно външното магнитно поле, т.е. ще се наблюдава перфектен диамагнетизъм. Това състояние се наблюдава само в определени граници заключени от стойностите на критични параметри за температура и големина на магнитното поле, (фиг.2-ляво). Примери за проводници тип I са предимно чисти метали и включват калай, цинк, олово и т.н. При свръхпроводник от тип II, се наблюдава допълнително състояние с частичен ефект на Майснер в условия на приложено външно магнитно поле. То преминава през обема на материала в определени области, но материалът продължава да е свръхпроводим (фиг. 2 – дясно). Ниобий-титанът е пример за свръхпроводник от тип II [2]. При свръхпроводниците тип I ефектът на Майснер е ограничен до по-ниски температури. В резултат на това свръхпроводниците тип II са предпочитани и се използват широко дори в огромни устройства като ускорители на частици. За съжаление, механизмите, лежащи в основата на този клас свръхпроводници, понастоящем не са известни и могат само да се предполагат. Разбирането как работят тези високоефективни свръхпроводници тип II ще бъде от решаващо значение, за да помогне на учените да разрешат някои от проблемите, които блокират ефикасността на свръхпроводниците тип I [2].



Фиг. 2. Видове свръхпроводими състояния свързани с ефект на Майснер: ляво - тип I, дясно – тип II [4].

Историческото развитие на откритите свръхпроводими материали ги разделя в няколко групи [5], (фиг.3). Към нискотемпературните свръхпроводници се причисляват метали и метални сплави (живак, олово, титан и други), чиято критична температура остава под 30 K, а за постигането и е необходимо охлаждане в течен хелий. В последвалите години на тестване на материали и съединения в търсене на по-добри свръхпроводими свойства идва новият скок в температурата на преход. През 80-те години на миналия век съвместното постижение на J. Georg Bednorz и K. Alex Müller [6] от IBM показва крехко керамично съединение от вида $(\text{Ba}_x\text{La}_{5-x}\text{Cu}_5\text{O}_{5(3-y)})$ с критична температура под 35 Келвина (-238,15 градуса по Целзий). Така настъпва времето на второто основно семейство свръхпроводими материали – високотемпературни. Тяхната температура на преход е над тази на кипене на течния азот (77 K), (фиг.3).



Фиг. 3. Еволюция на свръхпроводимите материали [4].

В тази група попадат и до днес изучаваните и внедрените в производство материали от системите $Y - Ba - Cu - O$, $Bi - Sr - Ca - Cu - O$ и други. Тези материали имат популярното име купратни свръхпроводници заради съдържанието на мед в състава си. Купратите са съединения, които се състоят от слоеста редуваща се структура, в която двумерното съединение Cu_2O (т.н. мед-кислородни равнини) се слива с другите слоеве от други метали или елементи, за да действат като носители на електрони/дупки, които стабилизират решетката. Подредбата и моделите на наслаяване на Cu_2O слоевете могат да повлияят на температурата, при която се постига свръхпроводимост; колкото по-голям е броят на слоевете, толкова по-висока е критичната температура. [7,8].

За разлика от конвенционалните свръхпроводници, чиято свръхпроводимост се основава на електрон-фононни взаимодействия, свръхпроводимостта в купратите зависи от по-екзотична форма на електронно предаване, включваща електрон-електронни взаимодействия. Повечето купрати (които са свръхпроводници тип II) позволяват магнитно проникване в обема си и следователно могат да поддържат по-силни магнитни полета [2], което ги прави и предпочитани за използване.

Тъй като купратите са направени от множество елементи с различни физични и химични свойства, теоретичните модели за обяснение на механизмите на свръхпроводимост в купратите се оказват неуловими. В момента съществуват две теории, въпреки че нито една от тях не е напълно обоснована: теорията за слабото свързване и моделът на междуслойното свързване. Първият предполага, че неконвенционалната свръхпроводимост се появява в резултат на антиферромагнитни спинови флуктуации в легирана система, докато вторият предполага, че тя възниква като присъща самоусилваща се свръхпроводимост от тип BCS в слоеста структура [9]. Следователно са необходими допълнителни задълбочени изследвания, за да се разберат по-добре механизмите на неконвенционалната свръхпроводимост.

По пътя на еволюцията във висотемпературната свръхпроводимост се откриват съединения със сложни стехиометрични състави и необичайни съединения. През 2008 година свръхпроводимост се датира дори в желязо базирани материали [10]. Макар и с относително по-ниска критична температура в сравнение с купратите, имат своите преимущества. Могат да поддържат висок критичен ток в магнитно поле, имат по-ниска анизотропия и се получават с по-евтини суровини [10,11]. Експериментите в търсенето на рекордно високи температури на преход в свръхпроводимо състояние не спират и до днес. Много елементи и съединения като нови купрати, графен, метален водород, хидрати и хидриди се тестват за свръхпроводимост при по-висока температура. Последната мода в изследванията в тази област изучава водородната свръхпроводимост и проблемът с налягането. Още през 1968 г. учени като Нийл Ашкрофт предлагат, че ако водородът бъде модифициран или

преобразуван в метал, той би описал високотемпературна свръхпроводимост [12].

Водородът е най-лекият елемент и най-разпространеният. Той естествено съществува като молекулярен газ. Така че в своето молекулярно състояние водородът не е много полезен при провеждането на експерименти за свръхпроводимост [13]. За да бъде полезен за приложения, молекулярният водород трябва да се преобразува в метален водород. Единственият начин за метализиране на молекулярния водород е чрез екстремно налягане [14]. В своите първоначални експерименти за свръхпроводимост Еремец и неговият екип от учени от Института по химия Макс Планк изследват свръхпроводимите свойства на водорода при екстремни налягания от около 440 GPa [15]. За сравнение, налягането вътре в земното ядро е около 360 GPa [16]. В експериментите на Snider et al. с въглеродни суперхидриди, екипът изследва свръхпроводимостта при налягане около 275 GPa. За да направят това, Snider et al. [17] са използвали джобни диамантени наковални клетки (DAC), които кондензират целевите си хидриди до размери от порядъка на микрометри. Изследователският екип успя да отчете свръхпроводимост при максимални свръхпроводими критични температури от около 15 градуса по Целзий при около 267 гигапаскала. [17]. Днес, добре е установено, че не е достатъчно обаче да се включи само водород в сместа. Хидридите се оказват дори по-добри кандидати от чистия метален водород, когато става въпрос за свръхпроводимост. Колкото по-голям е броят на водородните атоми в дадено съединение, толкова по-голяма е силата на колективните връзки и следователно по-голям шанс за възникване на свръхпроводимост. В резултат на това много учени експериментират с широк спектър от хидриди, за да наблюдават техните критични температури и да видят дали някои проявяват високотемпературна свръхпроводимост [18].

3. Пазар за свръхпроводници

Въпреки допълнителните разходи в криогенни системи за поддържането на свръхпроводимите свойства и оптимален работен режим на устройствата, глобалният пазар на свръхпроводници отбелязва непоколебим растеж. Според направен анализ на възможностите и прогноза за индустрията в тази област се очаква той да достигне 17,4 милиарда долара до 2032 г. Въз основа на приложението, индустрията на свръхпроводниците е разделена на медицинска, електронна, отбранителна и военна и други. Акцентът в това икономическо проучване откроява международното сътрудничество и възможност за обмен на знания и способност за създаване на стратегически партньорства за комплексно развитие в световен мащаб [19].

4. Заключение

Всичко казано до тук свързва едно необикновено откритие, което изиграва ключова роля през миналия век за разширяване границите на човешкото познание. Научният и технологичен свят знае, че отключването на пълният потенциал на свръхпроводниците ще настъпи с намирането на материал с това свойство при стайна температура. Свръхпроводимостта има потенциала да трансформира света такъв, какъвто го познаваме. Перспективата за използване на високотемпературни свръхпроводници ще се окаже полезна за решаване на енергийната криза чрез минимизиране на загубата на топлинна енергия с подходящи свръхпроводници като електрически преносни кабели. Освен това, глобалната надпревара за конструиране на квантови компютри зависи от усилията за намиране на подходящи свръхпроводници. Физиката на кондензираната материя – която се занимава със свръхпроводимостта – има много изследователска работа, преди тези практически постижения да бъдат реализирани. Науката със сигурност ще намери начин да компенсира проблемите на изключително ниските температури и изключително високите налягания, за да направи мечтата за „стайна“ свръхпроводимост осъществима.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Meissner, W. and Ochsenfeld, R. *Naturwissenschaften*, **21**, 787- 788, 1933
- [2] Diebner, A. *Meissner Effect*, Engineering LibreTexts, 2016
- [3] <http://www.Organic Superconductors: Bechgaard Salts, Background Physics>
- [4] Sharma, R.G., *Springer Series in Materials Science*, vol **214**, 2021.
- [5] Chao Yao, Yanwei Ma, *Superconducting materials: Challenges and opportunities for large-scale applications*, Volume **24**, 102541, 2021
ISSN 2589-0042,
- [6] Bednorz, J., & Müller, K, *Perovskite-type oxides—The new approach to high- T_c superconductivity*, **60** (3), 1988
- [7] Ginsberg, D., *Superconductivity—Higher – temperature superconductivity*, *Encyclopedia Britannica*, 2018
- [8] OpenStax College., *High-temperature Superconductors*, *Physics*, Lumen Physics. **8**, 2021
- [9] *Cooper Pairs and the BCS Theory of Superconductivity*, 14, 2021
- [10] Y. Kamihara, T. Watanabe, M. Hirano and H. Hosono, *J. Am. Chem. Soc.* **130**, 3296, 2008
- [11] A. E. Taylor, M. J. Pitcher, R. A. Ewings, T. G. Perring, S. J. Clarke, and A. T. Boothroyd, *Phys. Rev. B* **83**, 220514(R), 2011
- [12] Ashcroft, N. W., *Physical Review Letters*, **21**(26), 1749, 1968
- [13] Jolly, W., *Hydrogen | Properties, Uses, & Facts | Britannica*, 2020
- [14] Dias, R. P., & Silvera, I. F., *Science*, **355** (6326), 715, 2017
- [15] Eremets, M. I., *Eremets Group.*, **14**, 2021

- [16] Evers, J., National Geographic Society. 2015
- [17] Snider, E., Dasenbrock-Gammon, N., McBride, R., Debessai, M., Vindana, H., Vencatasamy, K., Lawler, K. V., Salamat, A., & Dias, R. P., *Nature*, **586** (7829), 373, 2020
- [18] Huang, X., Wang, X., Duan, D., Sundqvist, B., Li, X., Huang, Y., Yu, H., Li, F., Zhou, Q., Liu, B., & Cui, T., High-temperature superconductivity in sulfur hydride evidenced by alternating-current magnetic susceptibility, 2019
- [19] Pengye Liu, Chang Wang, Daoyuan Zhang, Xiang Wang, Defang Duan, Zhao Liu and Tian Cui¹, *J. Phys.: Condens. Matter* **36**, 353001 (21pp), 2024
- [20] <http://Superconductors Market Size, Share, Growth | Forecast - 2032>

ХАЙЗЕНБЕРГ И ПРИНЦИПЪТ ЗА НЕОПРЕДЕЛЕНОСТ В КВАНТОВАТА МЕХАНИКА

Елена Халова, Невена Кожухарова

Катедра Приложна Физика, ФПМИ, ТУ-София, бул. "Кл. Охридски" №8, София 1000

e-mail: ehalova@tu-sofia.bg, nkojuharova@tu-sofia.bg

***Резюме.** Настоящият доклад представя животът и творчеството на основателят на квантовата механика Вернер Хайзенберг и съотношението за неопределеност.*

Ключови думи: Хайзенберг, Съотношение за неопределеност.

Вернер Карл Хайзенберг основател на Квантовата механика

„В този период на развитие на физическата наука, който може да се сравни с едно прекрасно приключение, Вернер Хайзенберг играе изключителна роля“

Нилс Бор

Немският физик-теоретик Вернер Карл Хайзенберг е положил крайъгълния камък на задачата за квантовата механика - съвременната теория за микросвета (фиг.1). Той е роден на 5 декември 1901г. във Вюрцбург, Германия. Баща му Август Хайзенберг е професор по византийска история в университета в Мюнхен. Средното си образование завършва в една от най-елитните гимназии в Мюнхен, където 40 години по-рано е учил Макс Планк. Студентските си години прекарва в Мюнхен, смятайки да стане математик, където учи при А. Зомерфелд и защитава докторска дисертация на тема „Върху стабилността и турбулентността на течни потоци“, в която са били разработени приближени методи на нелинейната теория.



Фиг. 1. Вернер Хайзенберг

При защитата на докторската дисертация случайно го питат „Как работи обикновената батерия?“, но той не знае. Въпреки това, на 23 години прави приноса си за квантовата механика, а на 30 години получава и Нобеловата награда по физика.

Срещата през 1922г. със създателя на атомната теория Нилс Бор коренно изменила съдбата на младежа Хайзенберг.

През 1924 г. става асистент на Макс Борн в Гьотинген. Работи в Копенхаген и с Нилс Бор. В следващите години, съвместно с Макс Борн и Паскуал Йордан, създава основите на квантовата механика. Попадайки в атмосфера на продължителни и ожесточени спорове, той напразно се старее, заедно с други млади учени от института на Бор, да разгадае причината за валидността на квантовите постулати, изложени без строга физическа обосновка. Своята първа научна работа Хайзенберг посвещава на принципа на съответствието, опитвайки се да намери математическа основа за него и да го превърне от емпирично правило в научен метод за изследване на вътрешно атомните процеси.

В своята първа статия по квантова механика под заглавието *„За квантово-теоретичното тълкуване на кинематични и механични отношения“*, от 29 юли 1925 г., рождената дата на квантовата механика, Хайзенберг заключава доста предпазливо: *„Дали метод за определяне на квантово-теоретични данни на базата на връзки между наблюдаеми величини, като този, предложен тук, вече може да се счита за задоволителен по принцип или този метод все още представлява твърде груб подход към физическия, от самото начало очевидно много сложен проблем на квантово-теоретична механика - това ще стане ясно само след дълбоко математическо изследване на метода, приложен тук само много повърхностно“*.

През 1925 г. Вернер Хайзенберг разработва матричната механика - първият вариант на квантовата механика.

Началото на физическата интерпретация на квантовата механика е дадено от формулирането на известния принцип на неопределеността в статията на Хайзенберг *„За визуалното съдържание на квантово-теоретична кинематика и механика“*, публикувана през 1927 г. В книгата *„Физика на атомното ядро“* Хайзенберг описва открития от него закон по следния начин: *„Никога не е възможно да се знаят едновременно и двата параметъра, които точно определят движението на такава малка частица: нейното местоположение и нейната скорост. Никога не е възможно да се знае едновременно къде се намира тя, колко бързо и в каква посока се движи. Ако се извърши експеримент, който показва точно къде се намира тя в даден момент, тогава движението се нарушава до такава степен, че частицата след това дори не може да бъде отново намерена. И, обратно, при точно измерване на скоростта картината на местоположението е напълно размазана“*.

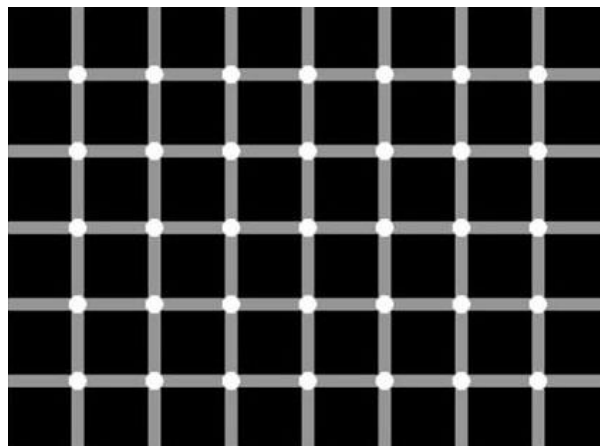
Как можем да онагледим и опишем принципа на Хайзенберг? В тениса хилката е обърната към топчето, но е трудно да се предскаже дали ще го удари, а още по-малко - къде ще е точката на удара. Така може да се опише принципът на неопределеността. Или друг начин: ако приемем частицата за футболна топка, която се движи почти със скоростта на светлината, Хайзенберг доказва,

че можем да измерим къде се намира топката, но не и нейния импулс, и обратно. Вина за това има и наблюдателят - със самото наблюдение той влияе на резултата и го прави неопределен.

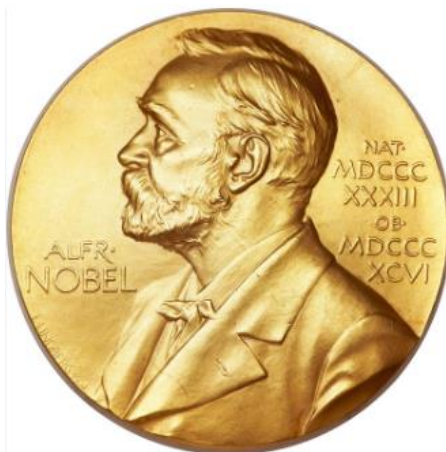
Хайзенберг доказал, че е невъзможно да се определи едновременно положението и скоростта на един електрон. Поради намесата на наблюдателя и непредвидимото поведение на отделните кванти, винаги остава известна неопределеност за скоростта или за положението, а в някои случаи и за двете (фиг.2).

Какво всъщност представлява принципът на Хайзенберг за квантова механика? Ето и едно тълкуване - ако физиката е острието на съвременната наука, квантовата механика е диамантеното му покритие.

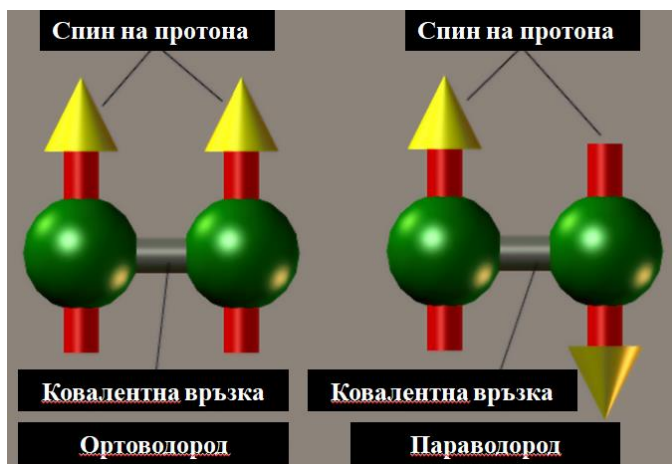
По-късно през 1932 г. Хайзенберг получава Нобелова награда за физика „За създаване на квантовата механика, чието прилагане доведе до откриване на алотропните форми на водорода“, т.е. орто- и пара-водород (фиг. 3, 4).



Фиг. 2. Илюзията като илюстрация на принципа на неопределеност



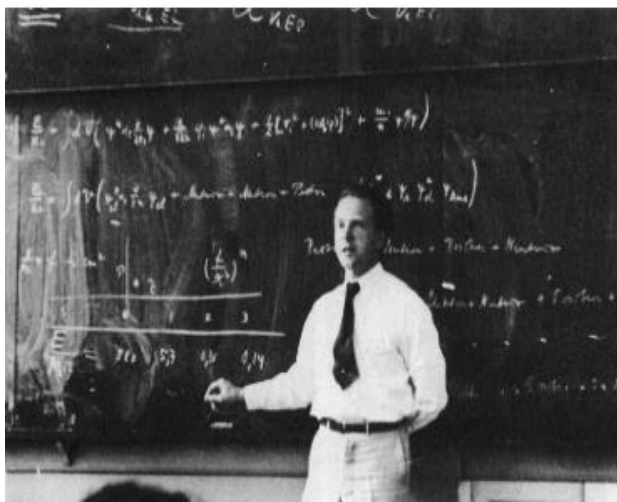
Фиг. 3. Нобелова награда



Фиг. 4. Орто- и пара водород

На 26 години (1927 год.) става професор в Университета в Лайпциг (фиг. 5).

Принципът на неопределеността има съществени следствия за начина, по който гледаме на света. Хайзенберг, Ервин Шрьодингер и Пол Дирак (фиг. 6), през двадесетте години на миналия век, преформулират механиката в една нова теория, наречена квантова механика, основана върху принципа на неопределеността. В тази теория частиците вече нямат отделни, добре дефинирани положения и скорости, които да могат да се наблюдават. Вместо това те имат квантово състояние, което е комбинация от положение и скорост.



Фиг. 5. Професор Хайзенберг като преподавател



Фиг. 6. Пол Дирак и Вернер Хайзенберг

През 1927 г. Валтер Хайтлер и Фриц Лондон прилагат квантовата механика при проблема с химичната връзка, а през 1928 г. Джордж (Георгий) Гамов и други учени я използват, за да развият теорията за α -разпада.

Докато е в Лайпциг Хайзенберг независимо и следвайки съветския физик Дмитрий Иваненко, предлага протонно-неутронния модел на ядрото, обосновавайки подробно тази хипотеза на базата на квантовата механика. Той представя ядрената си теория на конференцията в Солвей през 1933 г. (фиг. 7).



Фиг. 7. Седма конференция на Солвей, 1933 г.

Хайзенберг се жени през 1936 г. за Елисавета Шумахер. Имат седем деца, а един от синовете му - Мартин Хайзенберг, става професор по генетика. Едни от децата му са близнаци. По този повод Волфганг Паули го поздрави с „двойното сътворение“ - алюзия за раждането на елементарните частици, които са винаги в двойката „частица-античастица“.

Ученият има голям принос в много области на теоретичната физика, включително теорията на турбулентността, феромагнетизма, ядрената физика, квантовата електродинамика и физиката на космическото излъчване.

Най-драматичните епизоди в живота на Хайзенберг са по времето на нацизма. Той е разследван от Гестапо след като във вестника на СС излиза статия, в която е наречен „бял евреин“. Нацистите гледат с подозрение и на самата теоретична физика, смятат я за плод на еврейски заговор, за разлика от практическата физика, която е съвсем „германска“. Въпреки това отношение на нацистите, те се стараят да го привлекат към своята идея. Самият Хитлер пише на групенфюрер Хайнрих: *„Не можем да си позволим да загубим Хайзенберг, защото той е полезен за обучението на поколения нови германски учени“*.

По време на Втората световна война обаче остава в Третия райх, за разлика от много свои колеги, които емигрират. От 1942 до 1945 г. ръководи Института по физика на Кайзер Вилхелм в Далем и преподава като професор в Хумболтовия университет в Берлин, където ръководи немския проект, (включително и военни) за създаване на ядрен реактор и за създаване на германска атомна бомба. Хайзенберг и колегите му не разработват атомна бомба, защото лично Хайзенберг убеждава властта, че заради трудностите на този етап, тя е безперспективна.

След войната го интернират в Англия, където остава от 1945 до 1946 г., след което се завръща в Германия и става директор на Института по физика Макс Планк в Мюнхен.

През последните десетилетия Хайзенберг работи върху проблема за изграждане на теория на елементарните частици. През април 1958 г. той предлага нова теория - *нелинейната спинорна теория*, която неговият учител Нилс Бор нарича „недостатъчно луда“, за да бъде вярна и недвусмислена. Теорията се основава на система от четири нелинейни диференциални уравнения, така наречената „формула на света“, която включва гравитоните като кванти на гравитационното поле.

Вернер Хайзенберг е написал редица книги по въпроси на съвременната физика, например: „Физика и философия“, „Картината на природата в съвременната физика“, „Ядрена физика“ и редица други.

Великият физик Вернер Карл Хайзенберг умира 1 февруари 1976 година в Мюнхен на 74 години от рак.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Г.М. Голин, „Класики физической науки“, изд. Высшая школа, Минск, 1981.

[2] <https://bulgarianhistory.org>

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

ЗА ОПИСАНИЕ НА ВЪЛНОВИТЕ ФУНКЦИИ И КОТКАТА НА ШРЬОДИНГЕР

Невена Кожухарова, Елена Халова

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

Резюме. Докладът представя най-общо възникването и развитието на квантовата физика през първата половина на XX век като основно внимание е отделено на приноса на Шрьодингер. Това е една от големите научни революции в науката, най-напред във физиката, а по-късно и в другите природни науки, докато днес границите на влияние са още по-широки и дори немислими от гледната точка на учените от преди век.

Ключови думи: Шрьодингер, уравнение на Шрьодингер, квантова механика

1. Биография на Шрьодингер

Ървин Рудолф Александър Шрьодингер (*Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger*) е роден на 12 август 1887 година във Виена. Единствено дете в заможна и високо културно семейство, което е от австрийско – английски произход и поради това говори равностойно и двата езика. Първоначално до 11 годишна възраст получава домашно образование, а по-късно посещава гимназия, където се изучават предимно хуманитарни предмети и чужди езици. През 1906 -1910 година учи във Виенския университет и се интересува от термодинамика и по-специално от работата на Болцман. Темата на докторската дисертация на Шрьодингер е „Електрическа проводимост на повърхността на изолатори във влажен въздух“. През 1911 г. след военна служба става асистент на Екснер, а през 1914 става доцент. Първата световна война забавя началото на преподавателската дейност на Шрьодингер, като той служи в артилерията в южната част на Австрия. Там за кратко преподава метеорология в офицерско училище, но все пак е на по-спокойно място, а не на фронта и намира време да чете и да се занимава с научни проблеми, включително и да се запознае с теорията на относителността на Айнщайн. След войната в трудна икономическа ситуация той търси работа извън Виена и през 1919 г. по покана на Вин отива като асистент по теоретична физика в Йена. Там се премества веднага след сватбата си с Анемари Бертел, но само няколко месеца по-късно отива в Щутгарт (в Техническия университет),



Фиг. 1. Ървин Шрьодингер

отново по икономически причини. Престоят отново е кратък, мести се за един семестър в град Бреслау и после отива в Цюрих, където оглавява катедрата по теоретична физика. В Цюрих животът в материално отношение е стабилен. Ученият обича катеренето в планината и карането на ски. Алпите предоставят прекрасни възможности за това, както и за общуване с колеги като Дебай, Шеррер и Вейл. През 1921 година Шрьодингер е диагностициран с тежко белодробно заболяване и прекарва почти две години в санаториум в Швейцарските Алпи. Това по неговите думи са едни от най-ползотворните му години. Тук той открива вълновото уравнение, носещо неговото име и пише своя труд за вълновата механика, което му носи слава. След напускането на Макс Планк на престижния пост на професор по теоретична физика в Берлин, Шрьодингер заема поста. Тук той намира съмишленици като Планк, Айнщайн и Макс фон Лауе, които не признават Копенхагенската интерпретация на квантовата механика. Самият Шрьодингер определя това време като „прекрасни години, в които учех други и се учех сам“.

През есента на 1933 година се мести в Оксфорд в Магдаленския колеж, но без да има задължения да преподава. Това е и годината, в която получава, заедно с Пол Дирак, Нобелова премия за „откриването на нови плодотворни форми на атомната енергия“. В Англия Шрьодингер изпитва неудобство от една страна за незаслужено голямата заплата (голяма част от нея я дава компанията за имперска химическа промишленост) и от друга страна – изпълнения с условности и формалности социален живот. Напускането на Оксфорд е обусловено от скандали, свързани както със сериозен конфликт с професора по английски език Клайв Луис, така и със странния семеен живот – живее едновременно със съпругата си и с любовницата си. Заедно отглеждат незаконното дете – момиче, родено през 1934 г. Този факт изключително дразни консервативното общество в Англия по това време. През тази 1934 година е поканен да преподава в университета в Принстън на постоянно място, но в крайна сметка отказва и най-вероятната причина е странният семеен живот. Ще споменем, че по-късно Шрьодингер има още няколко връзки и му се раждат още две деца от тях, които той признава. Същевременно съпругата му, с която остават заедно до края на живота си, има няколко връзки. Двамата няма общо дете.

Така Шрьодингер отива в Грац. По същото време води непрекъсната кореспонденция с Айнщайн и предлага мисловния експеримент с котката. Този период не е дълъг. Освободен от поста си поради политическа ненадежност, той напуска Австрия и отива в Рим, а след кратка спирка в Швейцария отива в Оксфорд отново, където го заварва началото на Втората Световна война. С помощта на колеги успява да стигне през Англия до Дъблин, където е назначен за първи директор на института, оглавява Катедрата по теоретична физика, организира постоянен семинар и летни школи с участието на водещи физици от Европа (Хейтлер, Яноши и др.). През 1956 решава да се върне в родината си, след множество отхвърлени покани (вкл. от Президента на Австрия) и остава на

работа във Виена 2 години, след което се пенсионира. Последните години от живота си прекарва в Тирол. Умира на 73 години на 4 януари 1961 г. от обострена туберкулоза и е погребан в селото, в което е живял – Алпбах.

Като наследство днес името на Шрьодингер носят площад във Виена, библиотека по естествени науки в Берлин, кратер на Луната. Старата австрийска банкнота от 100 шилинга е с неговия образ, както и пощенска марка от 1987 г.. Австрийската академия на науките от 1956 г. утвърждава награда на негово име.

2. Създаване и развитие на квантовата механика през първата половина на XX век и приносът на Шрьодингер

Квантовата механика започва развитието си от самото начало на XX-ти век с въвеждането на квантите на излъчване на абсолютно черно тяло от Макс Планк в доклад пред Германското физическо дружество на 14 декември 1900 година. Той приема, че излъчването на електромагнитно лъчение става само на цели порции с енергия $E = hv$, където v е честотата на вълната, а h е наречена константа на Планк. До 1905 г. това се приема само като теоретичен инструмент, когато Айнщайн в една от статиите си обяснява законите на външния фотоефект, които по-рано са изведени експериментално. По този начин се приема квантовата хипотеза от физиците и двойствената структура на светлината – вълна и поток от частици – фотони. След няколко години Ръдърфорд провежда опитите по разсейване на α -частици от златна пластинка и показва, че в центъра на атома се намира масивно, положително заредено „атомно ядро“ (наречено от самия него по този начин), което води до създаване на планетарния модел на атома. Този модел има съществен недостатък. Движещите се електрони около ядрото според класическата електродинамика трябва да излъчват електромагнитни вълни и след определено време (кратко) от загубата на енергия трябва да паднат върху ядрото. Но атомите са стабилни. Това води до необходимостта от следващата крачка в квантовата физика – Н. Бор през 1913 г. развива „старата квантова теория“. Електроните се движат по орбити (енергетични нива) без да излъчват. Излъчването и поглъщането става с квантови преходи „скокове“ между нивата като енергията на излъчвания или погълнат фотон е равна на разликата в енергиите на двете нива. Бор определя енергетичните нива в най-простия атом на водорода и обяснява неговия спектър, известен вече от оптични експерименти. Малко по-късно прави опити да свърже елементите от таблицата на Менделеев с модела на водородния атом. Четири години по-късно през 1917 г. Айнщайн свързва преходите в система с две нива с известните закони за излъчването на абсолютно черно тяло. Изцяло теоретично показва необходимостта от въвеждане на стимулираното излъчване, основа на действието на мазерите и на лазерите (конструирано почти половин век по-късно!). развитието на квантовата механика е бурно. През 1924 г. Луи дьо Бройл в докторската си дисертация изказва една идея, все още непоискана

от експерименти. Не само светлината има двойствен характер на вълни и частица, може и обикновените частици (известни по това време са електроните и протоните) имат и вълнови свойства. Тази идея скоро след това е потвърдена експериментално от Дейвисън и Джърмър при дифракция на електрони от кристали. А днес това е обичайна методика при изследване на кондензирани среди.

През 1825 година, която е особено важна за квантовата физика, се случват две много важни събития. През пролетта Хайзенберг завършва т. нар. матрична формулировка на квантовата механика. Той съпоставя оператори на класическите величини координати, импулс и др. и описва системите с матрици. Зимата на същата година Шрьодингер своето уравнение, на което се подчинява вълновата функция и която описва състоянието, пространствените области и енергетичните нива, които заема квантовата система. Така се поставят основите на нерелативистичната квантова механика. През 1926 г. Шрьодингер показва математическата еквивалентност на двата подхода. Тогава и Хайзенберг открива условията за неопределеност, според които не е възможно да се измерват едновременно с произволна точност координатите и импулса на частиците. В квантовата физика, поради корпускуларно-вълновия дуализъм, е невъзможно в даден момент все по-точно да се определят и положението и скоростта. Борн показва каква е правилната интерпретация на вълновите функции – квадратът на модула ѝ определя плътността на вероятността частицата да се намира в пространството около дадена точка. Историята на квантовата физика продължава с развитието на релативистката квантова механика, квантовата електродинамика и т.н.

3. Мисленият експеримент „котката на Шрьодингер“



Фиг. 2. Илюстрация на експеримента

Този популярен мисловен експеримент е разработен от Шрьодингер, за да обясни ролята и значението на наблюдението в квантовата механика. В какво се състои той? Котка е затворена в стая, в която има съд с отровен газ. Този газ

може да бъде изпуснат при разпад на радиоактивно ядро от проба в същата стая. Радиоактивното разпадане е случаен процес и не може да се каже дали в дадения момент от време е протекъл или не. Наблюдателят е в съседна и няма начин установи дали котката е жива или мъртва без да се намесва. Обяснението от квантовомеханична гледна точка е, че без наблюдение състоянието на ядрото се описва като суперпозиция на две състояния – разпаднало се или неразпаднало се ядро и следователно едновременно жива и мъртва котка. При отваряне на стаята наблюдателят трябва да види само реализираното състояние – „ядрото се е разпаднало и котката е мъртва“ или „ядрото не се е разпаднало и котката е жива“. Въпросът е кога системата престава да е в „сплетено“ състояние и избира конкретното? Шрьодингер замисля експеримента не защото е вярвал, че може да съществува живо-мъртва котка; напротив, смятал е квантовата механика за непълна и не докрай описваща реалността в дадения случай. Понеже котката може да бъде само жива или само мъртва (не съществува състояние живо-мъртъв), то това означава, че същото трябва да е вярно и за атомното ядро. То трябва да е или разпаднало се или не.

4. Заключение

През XX век развитието на физиката е белязано от квантовата механика и нейните постижения. Те оказват влияние за повишаване качеството (а и продължителността) на живота на хората. Дори и в днешно се надяваме нейните приложения да допринесат за по-нататъшното ни развитие и развитието на технологиите. С този доклад обръщаме поглед и назад към учените, допринесли много за развитието на тази част от физиката, за да разберем основните идеи и да обърнем поглед смело към бъдещето.

ЛИТЕРАТУРА

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

[2] И. Лалов, История на физиката от Възраждането до наши дни, София, 2011

[3] Е. Шрьодингер, Какво е животът от гледна точка на физиката, София, 2024

СЛУЧАЯТ САНТОРИНИ – СЦЕНАРИИ И ПОУКИ

Бойко Рангелов^{1,2}

¹ Дистанционни методи, Институт за космически изследвания и технологии, Българска Академия на Науките, София, e-mail: branguelov@gmail.com

²Център за природни науки, Българска Академия на Науките и Изкуствата

Резюме. В края на месец януари, през целия февруари и в началото на март, 2025 г. един сеизмичен рой предизвика световната сеизмологична общност с необичайното си поведение. Успоредно с това жителите на острова и цяла Гърция, бяха подложени на необичайно силен стрес за да успеят да се справят с предвижданията какво може да се очаква и какво ще стане в най-близко бъдеще на този прекрасен остров. Появиха се няколко сценария, кой от кой по ужасяващи, които не изглеждаха безпочвени поради факта че подобни разрушителни ефекти са наблюдавани в по-близкото и по-далечно минало. За радост в края на март, започна естествено затихване на сеизмичния процес, което сега всички вярват, че ще продължи. За възможните сценарии и направените поуки, се прави това изследване. Резултатите могат да послужат като поука за бъдещето.

Ключови думи: Санторини, сеизмичен рой, сценарии.

1. Увод

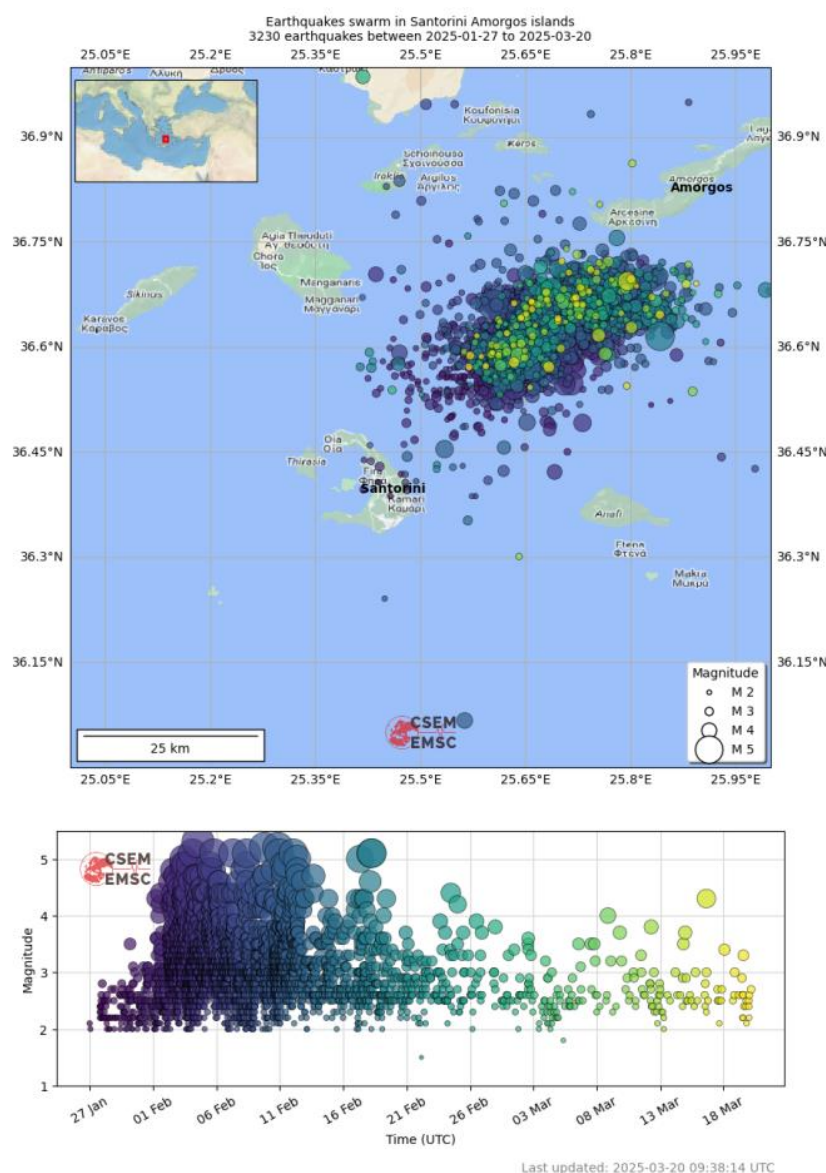
На 28 януари 2025 година, няколко слаби труса са усетени на остров Санторини. През следващите дни буря от местни по-слаби и по-силни земетресения силно плашат населението и малкото останали туристи. Регистрираните трусове достига до 200-300 на ден, като има и дни с повече. Това разбира се са множество слаби земетресения, но сред тях има и по-силни, усетени от различна степен на острова. Понеже, активността на стихва, започва прилагането на различни мерки от правителството и местните власти. Първо са разпуснати училищата за няколко дни, след това са издадени инструкции за поведение на жителите, включващи изпразване на домашните и обществени басейни, забрана за събиране на много хора на едно място, предупреждения да не се ходи в близост до ниски участъци край брега поради опасност от цунами. Понеже процесът продължава – е въведено извънредно положение на остров Санторини и съседния остров Аморгос.

Всичко това е предизвикано от опасенията на властите подхранвани от предишен опит. През 16 век преди Христа грандиозно взривно избухване на вулкана Санторини отнася шапката на калдерата. Взривът е предизвикан от нахлуване на вода непосредствено под повърхността и срещата ѝ с огнетечната лава. Последвалия взрив изхвърля огромни обеми от пепел, скали и пемза като предизвиква т.н. вулканска зима. Има обоснована хипотеза, че това е предизвикало загиването на Критско-микенската култура, която процъфтява през това време. Избухването е съпроводено с гигантско земетресение, вълни

цунами, отложения от които се намират и сега в крайбрежните зони на околните земи и „дъжд“ от вулканична пепел достигащ няколко стотин километра околоръст.

2. Данни и развитие на процеса

Основните данни за сеизмичния рой (така в сеизмологията се нарича интензивен сеизмичен процес от няколко по-силни, но близки по магнитуд земетресения, с интервали между тях запълнени с по по-слаби но множество на брой сеизмични събития, които не могат да се смятат за афтер- или форшокове) са използвани от сеизмичния каталог на Европейско Средиземноморския сеизмичен център – Страсбург [1].



Фиг. 1. *Пространствено-времево разпределение на сеизмичните събития от роя край о-в Санторини [по 1].*

Както се вижда от фиг. 1, пространствено, сеизмичните събития са концентрирани в елипсовидно издължена област, между островите Санторини и Аморгос. Дълбочината в която се развива сеизмичния процес е между 7-8 и 15-17 километра. Продължителността е около 6-7 седмици с явен процес на затихване. В сравнение с първите 3-4 седмици когато броят на регистрираните земетресения достига 20 000, в последната седмица те не превишават 15-20[2] .

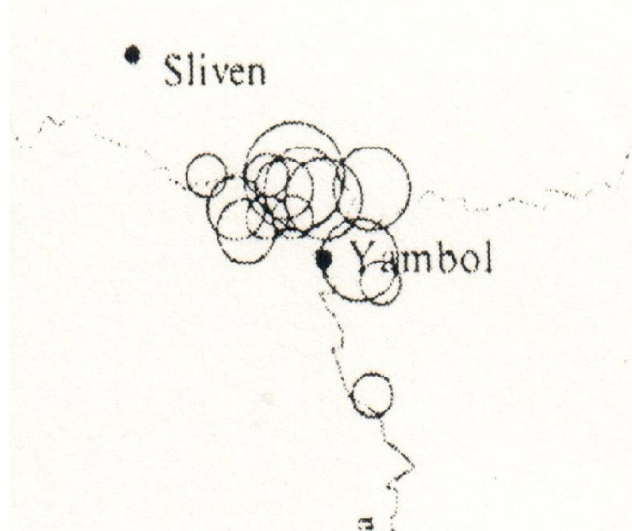
Първоначалният стрес сред учените е предизвикан от интензитета и силата на трусовете което ражда 4 очаквани сценария на развитие [3]:

Първо – очакване на силно земетресение, като това от 1956 година с магнитуд 7.5, което предизвиква вълни цунами достигащи до 20 метра в някои заливи на Аморгос [3].

Второ – очакване за вулканично изригване с катастрофални последици подобно на това от 16 век пр.Хр. довело да гигантски взрив на калдерата на вулкана Санторини с видими последици и днес) довело до загиване на Критско-Минойската цивилизация с големи вълни цунами, (отложения се намират и днес в околните земи), огромни количество вулканична пепел (откривана на стотици километри околоръст) и подозирана „вулканска зима“.

Трето – комбинация от първите две с варианти (плюс – силно изригване-слаб трус или слабо изригване-слаб (относително) трус). Още повече че в близост се намира и друг активен подводен вулкан – Колумбос.

Четвърто – естествено затихване без видими драстични последици, подобно на други известни случаи – роят в Мацуширо 1965-1967 година [4] и между Сливен и Ямбол в България – Август, 2001 година [6] – фиг.2.



Фиг. 2. Епицентри на земетресенията - рой 2001 г. с магнитуд над 2.0 [6].

3. Резултати и поуки

Сравненията между роевете трусове в Япония 1965-1967г. и България 2001 г. подсказват, че в района на Сантоини, през 2025 се развива сценарии от

четвърти тип – естествено заглъхване на сеизмичния процес, без тежки последици за населението и инфраструктурата [5].

Какви поуки могат да бъдат направени вследствие на реалните факти и действията предприети от местните и централни власти в Гърция:

А) Преди началото на сеизмичния рой

- Затваряне на училищата за една седмица,
- Указание на населението да избягва струпването на групи от хора
- Съобщение до населението да избягва низините около брега поради възможно цунами
- Съобщение до собствениците за изпразване на басейните, евентуално за предотвратяване на наводнения

Б) По време на процеса

- Продължаване на евакуацията
- Неограничаване на туристическата дейност.
- Удължаване на училищната ваканция
- Съсредоточаване и разполагане на служители на Гражданска защита на острова
- Започна се подготовката на аварийни лагери
- Докладвани са леки щети
- Съобщени са скални срутища
- Съвети към населението да избягват стръмни склонове, защото започват каменопади, поради повишената сеизмична интензивност на някои по-силни земетресения ($M > 5.0$)

В) След приключване на случая

- Спасителни дейности (при необходимост)
- Възстановителни работи (ако е необходимо)
- Поетапно премахване на ограничителните мерки
- Геофизични и геодинамични изследвания на зоната на рояка за установяване на причината за сеизмичното активиране, включително геофизични измервания на морето (гравиметрични, магнитометрични, дънна термометрия), дънна батиметрия, всички те за евентуално картографиране на магмени интрузиви, дайки, активни разломи. Геохимичен мониторинг на дълбочинни газове и др.

4. Заключение

Появата на сеизмични рояци в Европа – Санторини (Гърция), Кампи Флегрей (Италия) и на възможни други места, са заплаха за гъсто населените райони, навсякъде в европейските страни. Значението на планове за действие нараства и има поуки, които трябва да се научат. Горните казуси предлагат

възможност за допълнителни дейности и предлагат превантивни мерки, които трябва да бъдат разработени предварително. Създаването на универсална цялостна система за смекчаване на негативите от природни бедствия, предизвикани от домино-ефект, както се вижда, не е лесна задача. Темата е свързана и с възможности за българска роякова дейност. Наблюдавана е такава край Странджа планина няколко пъти в миналото (1909, 2001 г.) и за последен път през август 2001 г. [6] с най-силен трус М4.5 и повече от 105 по-слаби сеизмични събития.

Благодарности

Разработката е част от плана на Българската Академия на Науките и Изкуствата (BANI-<http://basa.bg/en/>) и Центъра по природни и инженерни науки <https://basa.bg/index.php/otdeleniq-na-bani/nauka/> и на Института за Космически изследвания и Технологии на Българската Академия на Науките..

ЛИТЕРАТУРА

- [1]https://www.emsc-csem.org/Files/event/1765158/OBSERVATIONS_AND_PRELIMINARY_RESULTS_v3_final.pdf
- [2] https://www.emsc-csem.org/Special_reports/?id=351
- [3]https://www.emsc-csem.org/Files/event/1765158/Santorini_Research_Report_English%20Version.pdf
- [4] Enomoto, Y., Yamabe, T. & Okumura, N. Causal mechanisms of seismo-EM phenomena during the 1965–1967 Matsushiro earthquake swarm. Sci Rep 7, 44774 (2017).<https://doi.org/10.1038/srep44774>;<https://www.nature.com/articles/srep44774>
- [5] Rangelov, B. The Santorini Seismic Crisis – A New Challenge for Seismology. Int J Phys Res Appl. 2025; 8(2): 026-028. Available from: <https://dx.doi.org/10.29328/journal.ijpra.1001109>
- [6] Dimitrova, S. The swarm seismic activity (August 2001) near Yambol city-Central East Bulgaria. - Geologica Balc., 2003, 33, 1-2; 95-109. https://www.geologica-balcanica.eu/sites/default/files/articles/GB%20%2833_1-2%29%20pp.%2095_109%20%28Dimitrova%29.pdf

ЗВЕЗДОТРЕСЕНИЯТА – ВИДОВЕ И СИЛА

Бойко Рангелов^{1,2}

¹ Дистанционни методи, Институт за космически изследвания и технологии, Българска Академия на Науките, София, e-mail: branguelov@gmail.com

²Център за природни науки, Българска Академия на Науките и Изкуствата

Резюме. Звездотресенията са нов клас събития, очаквани да стават върху флуидни звезди. Основен източник на информация са наблюдаваните слънцетресения, които имат типичен сеизмичен характер. Те се разпространяват като повърхностни вълни върху фотосферата на Слънцето и са предизвикани от слънчевите протуберанси. Не всички слънчеви изригвания са съпроводени със слънцетресения и това предизвиква основателен научен интерес. Измерването на силата на тези звездотресения представлява потенциален интерес за сравнителен анализ и възможни подходи за тяхната регистрация.

Ключови думи: звездотресения, видове, сила.

1. Увод

Първите слънцетресения са регистрирани в края на 20 век от сондата SOHO на НАСА. Явлението е изненадващо за астрофизиците, които до тогава не са забелязали сеизмични ефекти на видимата повърхност на слънцето. Наблюдаваните протуберанси се свързват основно със влиянието им върху Земята [1]. Използват се класическите методи на сеизмологията за определяне на т.н. магнитуд на слънцетресението и неговата сеизмична енергия, пренасяна от повърхностни сеизмични вълни. С развитието на все по-детайлни методи за наблюдение и изследване на далечния космос (напр. телескопът Джеймс Уеб) не е далеч времето, когато може би ще се наложи определянето на силата на звездотресения за други звезди от всемира [2,3]. Разгледани са видовете звездотресения, за които в момента има данни, като особено внимание е обърнато на флуидните звезди, поради сходството им със Слънцето, което може да послужи за калибриране и по-точно определяне на магнитуда на различните звездотресения. Предложена е магнитудна скала на звездотресенията според тяхната маса и температура.

2. Модел и подход за определяне на силата на звездотресения

Основен модел за определяне на магнитуда на звездотресенията ставащи върху флуидни звезди е използването на данните за слънцетресения, които са сравнително добре изучени [4]. Получените магнитудни оценки са трансформирани в енергия чрез известните формули. Обикновено се използват сложни модели за определяне на пълната енергия на дадено слънцетресение,

като освен сеизмичния ефект се включват и други параметри на енергията на слънчевите протуберанси – електронни потоци, протони, хелиеви ядра, фотони и др. В настоящата работа се разглеждат само сеизмичните явления, като тяхната сила е измервана в единици Джаули и се отнасят САМО за флуидни звезди. Изключени са такива гигантски енергетични явления като звездотресения свързани с неутронни звезди, пулсари, квазари, магнетари и т.н. компактни звезди, както и по-мощни космически явления, като сблъскване на черни дупки, двойни звезди и др. Повечето модели при определяне на магнитуда на звездотресенията върху флуидни звезди, използват класическата формулировка за магнитуд, която намира изключително приложение при оценка на енергията на сеизмичните повърхностни вълни, разпространяващи се на Земята. Основният подход при тези разглеждания е използването на силата на слънцетресенията като калибровка и последваща екстраполация за различните класове флуидни звезди – бели и кафяви джуджета, гиганти и свърхгиганти и др.

Фундаментален експеримент за определяне на магнитуд на слънцетресение е събитието от 7 юли 1966 г. когато за първи път е наблюдавано разпространението на повърхностни вълни върху повърхността на хелиосферата. Определен е магнитуд на това събитие – 11.3 и по съответните формули е изчислена енергията на това явление - 10^{23} Джаула – фиг.1.

За да бъдат съпоставени двата параметъра – магнитуд и енергия на слънцетресението с аналогични явления на Земята (напр.земецетръс) са сравнени размерите и периодите на видимите вълни на слънцетресението със същите от известни станали преди това земетресения. Елементарното сравнение на това слънцетресение със познато земетресение на Земята (напр. това в Турция от 6 Февруари, 2023 г. или това в Мянмар на 28 Март, 2025г.) показва сила на труса на слънцето 30 000 пъти по-голяма от магнитуда на труса в Турция (M7.8) или Мянмар (M7.7).

За определянето на магнитуд при земетресения се използва класическия метод на Рихтер:

$$M_S = \log (A/T)_{\max} + k \log \Delta + c \quad (1)$$

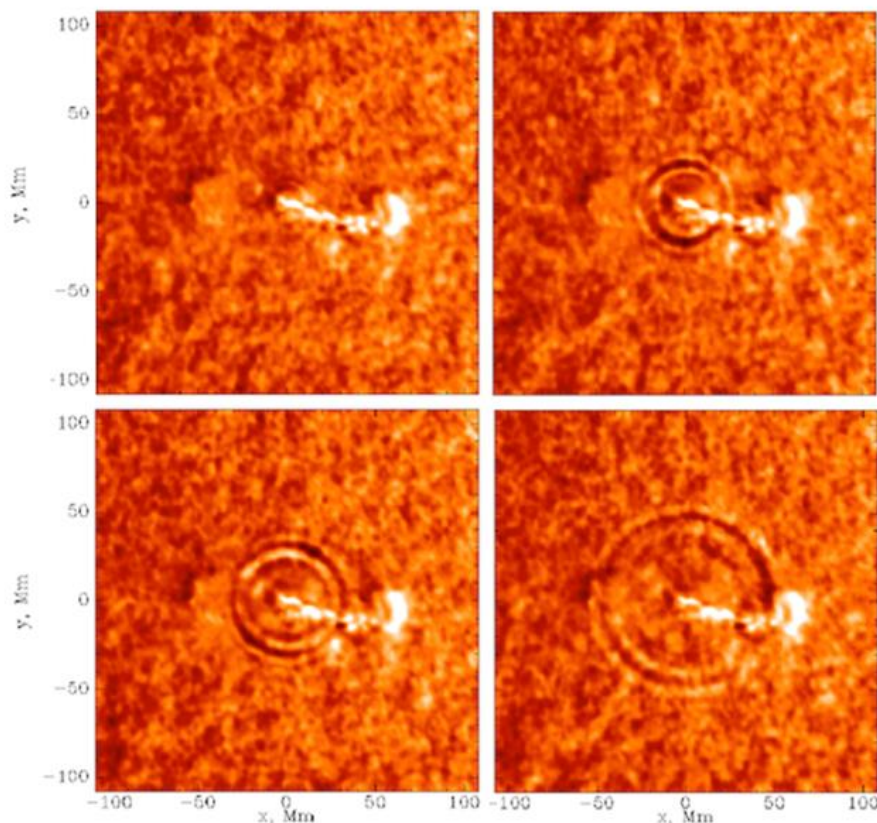
където: A-максимална амплитуда на сигнала, T- съответния ѝ период, k и c са емпирично определяни константи, а Δ е епицентралното разстояние.

Тогава E_S и M_e се наричат съответно сеизмична енергия и енергиен магнитуд.

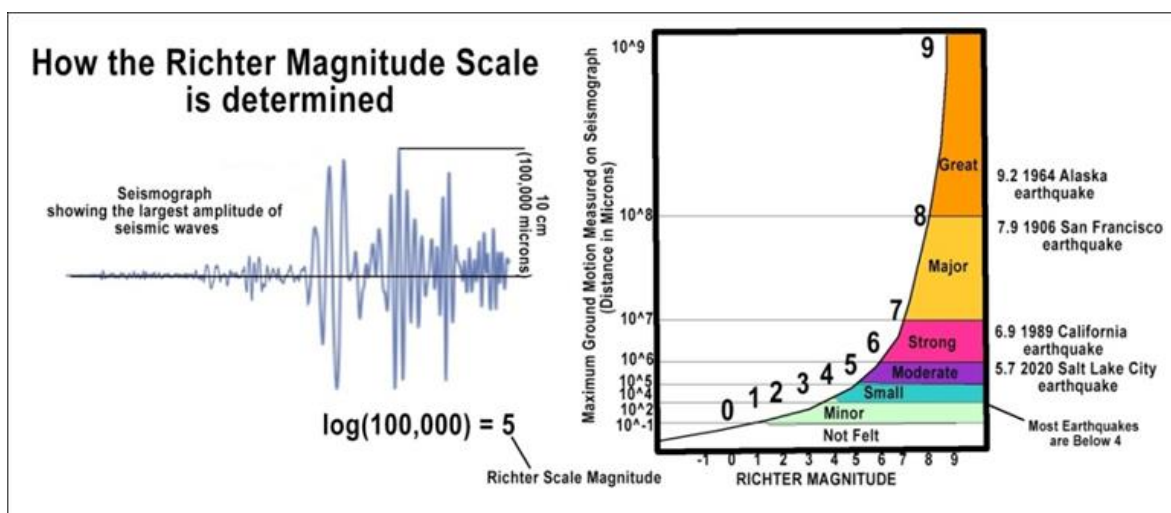
$$\log E_S = 4.4 + 1.5 M_e \quad (2)$$

и

$$M_e = (\log E_S - 4.4)/1.5 \quad (3)$$



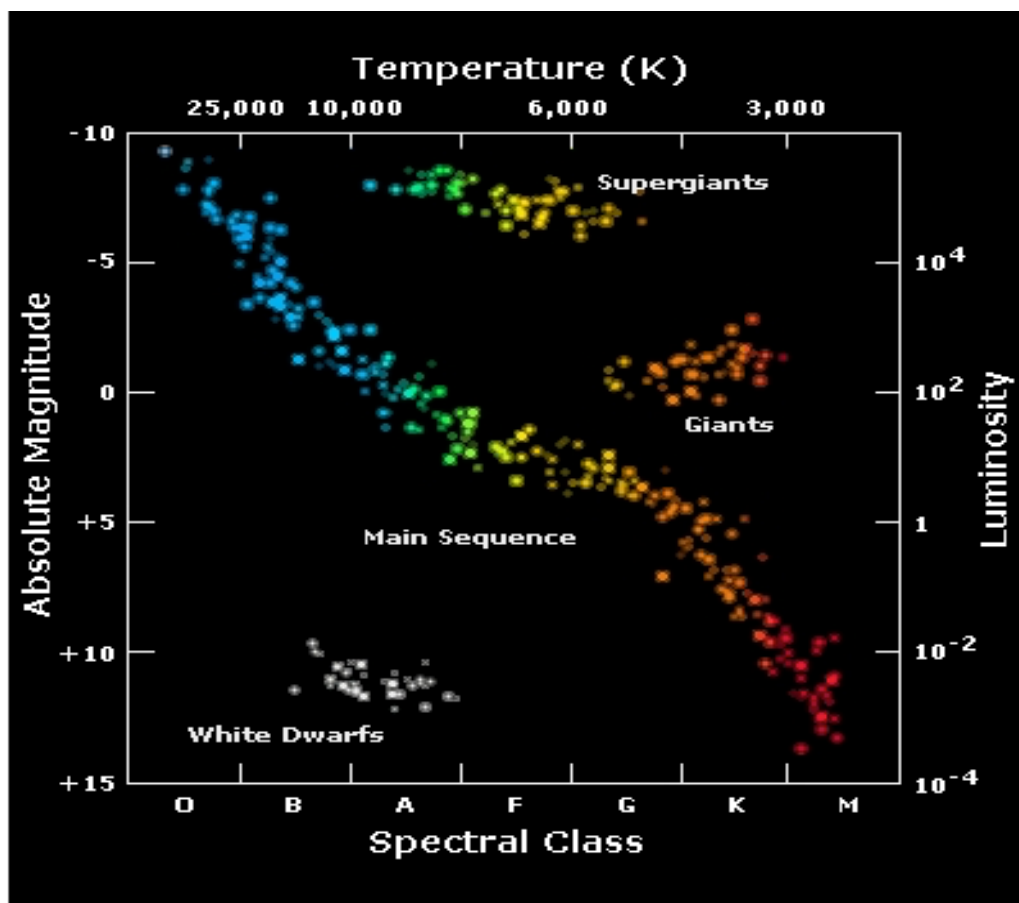
Фиг. 1. Повърхностни вълни върху Слънцето от слънцетресението на 9 Юли, 1996 г. от наблюдението на мисията SOHO[5].



Фиг. 2. Определяне на магнитуд на земетресение - чрез амплитуда и период на повърхностни вълни върху сеизмограма.

2. Видове звезди и звездотресения

Основното количество звезди в галактиката са т.н. флуидни звезди. Те се класифицират по своя вид – т.н. „основен ред“, гиганти и супергиганти, джуджета (бели и кафяви) - диаграма на Hertzsprung-Russell [6]. Освен флуидните звезди съществуват и пулсари, квазари, неутронни и магнетари – т.н. компактни звезди [7]. Тук ще се спрем само на флуидните звезди. Ще отбележим само, че най-значимото звездотресение е регистрирано на неутронна звезда и неговият магнитуд е определен на 33. За екстраполация на магнитуд на слънцетресенията към звездотресенията на флуидните звезди се използва диаграмата на Hertzsprung-Russell. Тя отразява подредбата на флуидните звезди по т.н. спектрален клас и съответния абсолютен звезден магнитуд, който е пряко свързан със яркостта. Трябва да се отбележи, че звездният магнитуд е мярка за яркостта на звездата и е логаритмична скала, като колкото е по-малка стойността на магнитуда, толкова звездата е по-ярка – фиг. 3.

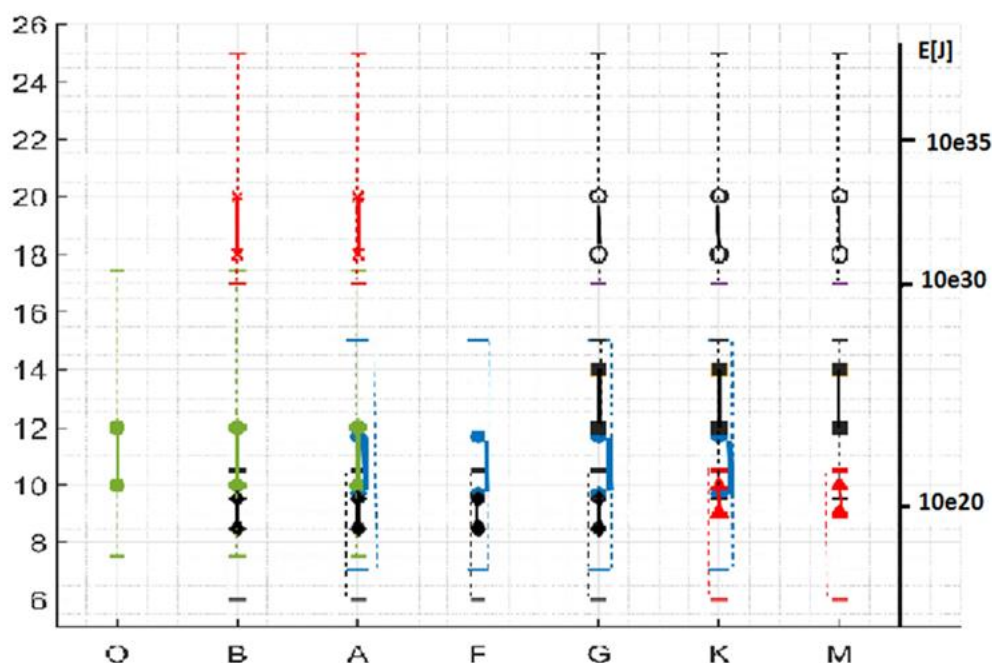


Фиг. 3. Диаграма на Hertzsprung-Russell - зависимост между звезден магнитуд, яркост и спектрален клас [6].

Температурата и големината на флуидните звезди се нормират към тези на Слънцето и тогава оценките на магнитуда и възможните му вариации се представят чрез таблицата – Таблица 1., която отчита както големината, така и възможните енергийни стойности на звездотресенията в джаули.

Таблица 1. Спектрални класове и диапазон на изменение на очакваните магнитуди за звездотресенията върху флуидните звезди.

Spectral Class	Average magnitude	Magnitude max	Magnitude min	Diapason	Type of stars
A-K	9,7-11.7	14.6-15.0	7.0-9.0	8 units	Main sequence
K-M	9.0-10.0	10.5-11.5	6.0-6.5	4.5 units	Main sequence R
O-A	10.0-12.0	15.0-17.5	7.5-8.5	10 units	Main sequence L
G-M	12.0-14.0	14.0-15.0	9,5-10.5	5.5 units	Giants
G-M	18.0-20.0	20.0-25.0	17.0-18.0	8 units	Red Super giants
B-A	18.0-20.0	20.0-25.0	17.0-18.0	8 units	Blue Super giants
B-G	8.5-9.5	10.0-10.5	6.0-6.5	4.5 units	White dwarfs



Фиг. 4. Диапазон на очаквания усреднен магнитуд (лява вертикална ос) на звездотресенията за различните спектрални класове и точност на определянето му. Приблизителната енергия е вдясно[2].

На фигура 4. са представени средните оценки (непрекъснатите цветни линии) с техните вариации на възможните магнитуди на звездотресенията по спектрални класове, нормирани към слънцетресенията. Показана е и точността на тези определения (с пунктир). Както се вижда долната граница на точността се определя по-точно, докато горната варира в много широк диапазон. Това се дължи на една особеност, която лимитира долната граница. Това е възможността да се наблюдават вълните върху Слънцето, която възможност изчезва, когато вълната достигне нивото на шума. Това ниво се определя от размерите на елементарните конвективни клетки на слънцето. Вълни с по-малка дължина от размера на тези клетки, не могат да се видят от наблюдателя. Друг важен елемент в определянето на енергията на звездотресенията е свързан с общия енергиен баланс на всяко събитие (протуберанс). Оценките дадени тук, се отнасят само до сеизмичната енергия пренасяна от повърхностните сеизмични вълни и не отчита приноса на електрони, протони, фотони и други енергетични частици отделяни при слънчевите (звездните) изригвания.

4. Резултати и обсъждане

Получените резултати се базират на хипотетичното предположение че звездотресенията на флуидните звезди ще са подобни на слънцетресенията. Така екстраполационните процедури са приложени за оценка на магнитуда им. Получените резултати са диапазонни – както за очакваните средни магнитуди зависещи от спектралния клас и вида на звездите, така и за точностите с които са направени тези оценки. Очакваните сеизмични енергии превъзхождат значително и най-силните земетресения, аналогията за които е приложена при този метод. Това показва, че възможните грешки при определянето могат да варират значително, но е по-добре да има поне някакъв приблизителен подход, вместо изследванията да се извършват „на сляпо“. В този смисъл получените резултати могат да се използват при планирането на измервания на силата на звездотресения, като имат предварителен оценъчен характер.

5. Заключение

Направена е хипотетична оценка за очакваните стойности на силата на звездотресения върху флуидни звезди. Стойностите са нормирани спрямо слънцетресенията, които се добре изучени и дават възможност за калибровка. По този начин бъдещите звездни мисии за изучаване на звездотресенията получават инструмент за приблизително определяне на силата им, чрез дистанционни методи (очакванията в развитието на астрономията са за телескопи с повишена разделителна способност). Перспективите за определяне на силата на други видове звезди – т.н. компактни звезди изискват различен подход за ефективна оценка на силата им.

Благодарности

Разработката е част от плана на Българската Академия на Науките и Изкуствата (BANI-<http://basa.bg/en/>) и Центъра по природни и инженерни науки <https://basa.bg/index.php/otdeleniq-na-bani/nauka/> и на Института за Космически изследвания и Технологии на Българската Академия на Науките..

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Рангелов Б., Слънчевата активност – опасности и прогнози. Сп. Изследовател., т.27, pp. 10-15, 2024.
- [2] Ranguelov B. Magnitude assessment for stellarquakes. Ann Math Phys.;8:009-017. 2025. file:///C:/Users/pc/Downloads/AMP-8-241%20.pdf ;
- [3] Ranguelov B., Space Seismology. Peer Rev J Sol Photoen Sys. 2(5). PRSP. 000547. 2024. <https://crimsonpublishers.com/prsp/pdf/PRSP.000547.pdf>
- [4] Kosovichev A., Sunquakes: helioseismic response to solar flares., "Extraterrestrial Seismology", Cambridge Univ. Press, 23 pp., 2014. arXiv:1402.1249v1
- [5] <http://soi.stanford.edu/press/agu05-98/press-rel.html>
- [6] <https://itu.physics.uiowa.edu/labs/advanced/hertzprung-russell-diagram-and-star-clusters/part-1-h-r-diagram>
- [7] Anderson, P. W., Itoh, N., Pulsar glitches and restlessness as a hard superfluidity phenomenon., Nature, Volume 256, Issue 5512, pp. 25-27, 1975. DOI:10.1038/256025a0

КЪДЕ И КАК СЕ РАЖДАТ ЗВЕЗДИТЕ

Любов Маринкова

Катедра Приложна Физика, ФПМИ, ТУ-София, бул. "Кл. Охридски" №8, София 1000
e-mail: ln@tu-sofia.bg

Резюме. Звездите се раждат в студената, плътна, молекулярна фаза на междוזвездната среда (МС), която е структурирана в кохерентни (тясно свързани), локализирани региони или облаци, наречени молекулярни облаци (МО). Физиката на тези МО е изключително сложна, преплитайки в себе си множеството процеси, които водят до раждането на звездите. Еволюцията на галактиките, звездните системи, образуването на планети в дисковете около протозвездите - всичко това е пряко свързано с живота на тези своеобразни родилни отделения на звездите. Ето защо изучаването и анализа на морфологията на звездообразуващите области е ключова за по-доброто разбиране на историята на Вселената като цяло.

Ключови думи: молекулярни облаци, звездообразуване

1. Увод

Изследванията в областта на звездообразуването са изключително интензивни през последните десетилетия и това не е случайно. Тази научна област е с централно значение за астрофизиката. Превръщането на междוזвездния газ в звезди определя строежа на галактиките и тяхната еволюция. Чрез преобразуване на ядрената енергия на газа, останал след Големия взрив, този процес определя светимостта на галактиките и има съществен принос в рейонизацията на Вселената. Огромната част от химичните елементи – включително тези, от които е изградено нашето тяло – са се синтезирали в звездите. Също така, процесът на звездообразуване е неразривно свързан с възникването и ранната еволюция на планетните системи.

Днес може да се каже с увереност, че звездообразуването е повсеместно явление и е протичало практически през цялата еволюция на Вселената – разполагаме с огромен брой наблюдателни потвърждения. Ето какво показват данните към момента:

- Звездообразуването е започнало много скоро след Големия взрив. Макар че не можем да наблюдаваме първото поколение звезди, второто постепенно става достъпно.

- Звездите винаги възникват в галактики и в протогалактики. При това се наблюдава корелация между областите на звездообразуване и динамиката на големи скали: в дисковите галактики звездообразуването е съсредоточено в спиралните ръкави. Понякога е обусловено от приливна пертурбация от близка галактика.

- Глобално, в галактиките звездообразуването корелира добре с разпределението на молекулярния водород (H_2) и не толкова добре – с разпределението на атомния водород.

- Локално, звездите възникват в молекулярни облаци (МО) (видимо обособени съгъстявания от H_2), често в групи (купове). Моделирането показва, че процесът на възникване на звезди е бърз (от порядъка на динамичното време на средата).

- Обратното въздействие от нововъзникналите звезди е много важно за определяне на параметрите на процеса: ефективност, скорост и т.н.

Когато говорим за звездообразуване, неминуемо първо трябва да се спрем на междузвездната среда (МС), в която протичат всички тези процеси. МС е първичният резервоар на галактиките, в който се раждат звездите и в който те внасят енергия, импулс и химически обогатен материал. Така тя играе ключова роля в цикъла на материята и, оттук, за изграждането на една съгласувана картина на образуването и еволюцията на галактиките.

МС наричаме веществото и лъчението, изпълващи пространството между звездите и звездните системи в Галактиката. МС се състои от газ (99% от общата и маса) в йонизирана, атомна или молекулярна форма, както и от прах (1% от общата и маса), магнитни полета и космични лъчи, като всички тези компоненти са в тясна взаимовръзка. Газът взаимодейства по разнообразни начини с фотони от междузвездното радиационно поле. В общи линии МС става все по-разредена с отдалечаване от Галактичната равнина и плавно преминава в междугалактична. В нашата Галактика на МС се падат около 10-15% от масата на видимото вещество.

Химичният състав на МС в Млечния път е с преобладаващо количество на водорода (91%) и хелия (8,9%), а съдържанието на по-тежките елементи е 0,1%. Количествата на водорода и хелия са резултат главно от космологичния нуклеосинтез, докато обогатяването с по-тежки елементи е станало в хода на Галактичната еволюция.

Следва да си изясним какво всъщност представляват звездите? Това са нагрети сфери от плазма (90% от материята във Вселената), съставени са предимно от H и He, които за дълги периоди от време са стабилни, т. е. не променят структурата си и не се разпадат. (напр. Слънцето, през последните ~ 4.5 млрд. г.). Основна феноменология:

- “Раждане на звезда” означава формиране на равновесен обект, който излъчва за сметка на собствени източници.
- Светимост – мери се в звездни величини. Колкото по-голяма е една звезда, толкова по-ярка е тя, колкото по-топла, толкова по-ярка.
- Спектър – светлината, която звездата излъчва или поглъща. Спектърът е различен за всеки елемент и може да ни даде информация от какво е съставена звездата, колко далеч е, колко бързо и накъде се движи/върти.
- Цвят – пряко свързан с температурата на звездата. Примери: червена 3 500 K, оранжева 5 000, жълта 6 000, бяла 10 000, синя 15 000.

Звездната еволюция описва промяната на физичните характеристики на звездите с времето. Всяка звезда преминава през три стадия – протозвезда, стабилна фаза (звезда от Главната последователност), мъртва звезда.

Времето на еволюцията на звездите е огромно $\sim 10^6 - 10^{10}$ г. Не цялата еволюция обаче може да бъде изследвана пряко, ето защо се използват различни звездни модели, които ни помагат да изучим и анализираме всички предпоставки за възникването на звездите.

- “Смърт на звезда” е необратимото нарушаване на равновесието, което води до образуването на изроден обект, гравитационен колапс или унищожаване на звездата. В зависимост от масата на звездата и нейният състав тя умира като бяло джудже, неутронна звезда или черна дупка.

Звездите са структурирани в галактики или можем да кажем, че галактиките са гравитационно свързани звездни системи.

- Галактики – видове: Най-общо галактиките се разделят на четири основни класа – елиптични (25%), спирални ($>50\%$), лещообразни (12-15%) и неправилни (5-10%).

Ще се спрем по-подробно на спиралните галактики (каквато е нашият Млечен път), където още протича активно звездообразуване.

- Компоненти: Двойно-изпъкнал диск с централно струпване, наречено балдж; От него към периферията на диска се очертават спирални ръкави; А дискът от своя страна, е потопен в слабоизлъчваща сфероидална структура, наречена хало.

Звездообразуването продължава и в нашата епоха, но само в плоската компонентата на диска, където междוזвездната материя е с достатъчно висока плътност.

2. Области на звездообразуване, изследване и анализ на техните структури.

Молекулярният газ в галактики, които са богати на атомен газ, е организиран в дискретни, облачни структури. Тези образувания са съставени от газ и прах, като водородът в тях е предимно под формата на молекули. От тук идва и наименованието им: молекулярни облаци. Най-големите образувания от този тип се наричат гигантски молекулярни облаци (ГМО) и са открити още през 70-те години на миналия век (Wilson et al., 1970; Penzias et al., 1972) [1].

ГМО съдържат по-голямата част от масата на междוזвездната среда, като типичните им маси са $\sim 10^5$ - $10^6 M_{\odot}$, а размерите ~ 20 -50 pc. Съответно МО са с размери ~ 2 -20 pc, маси $\sim 10^2$ - $10^6 M_{\odot}$, средна плътност $\sim 100 \text{ cm}^{-3}$ и температури ~ 10 -30 K (Bergin & Tafalla, 2007) [2]. Те имат сложна морфология и строеж, като разпределението по маса е неравномерно и се съсредоточава най-вече в по-разредените области. Благодарение на сложното съчетание между гравитационни сили и турбулентни движения, в режима на по-големите

плътности в МО се образуват влакнести структури и съгъствания с типични размери $\sim 0.1\text{-}2$ pc и плътности $\sim 10^3 \text{ cm}^{-3}$. Анализът на изображения с по-голяма резолюция показва, че плътността в тези съгъствания нараства до $10^5\text{-}10^7 \text{ cm}^{-3}$ и повече, докато масата им е едва няколко слънчеви маси. Тези образувания се наричат ядра (cores) и представляват непосредствени предшественици на младите звезди или техни групировки. Ядрата се отличават по сфероидалната си морфология, а скоростите в тях са най-често субзвукови, за разлика от ГМО, където преобладават свръхзвукови скорости.

За да започне звездообразуването обаче е нужен пусков механизъм, който да наруши равновесието на облака. Основните такива механизми са: ударна вълна от гравитационните плътностни вълни в МС (които формират спиралните ръкави); ударна вълна, последваща избухването на свръхнова; ударна вълна от интензивен звезден вятър.

Силите, които действат на една кондензация са:

- турбулентност на различни мащаби
- гравитация – стреми се да свие облака
- налягане – работи за предотвратяване на колапс
- магнитни полета - работят за предотвратяване на колапс

Минималната маса, която кондензацията трябва да има, за да надее гравитацията над налягането се нарича маса на Джинс (Jeans, 1902) [3].

След веднъж стартирано свиване на газово-праховия комплекс, той започва да се дели на все по-малки самогравитиращи нееднородности. Първоначалния гигантски молекулярен облак, с маса стотици слънчеви маси и диаметър десетки слънчеви години, постепенно фрагментира на такива с диаметър по-малък от една светлинна година и маса от една до десетки слънчеви маси. Именно от тези части, които в последствие също колапсират, въртят се, стават все по-плоски, се формират и звездите.

Наблюденията показват многообразие от области на звездообразуване според тяхната активност (Schneider et al., 2022) [4] обобщено те могат да се разделят така: Области с малка маса от $10^3\text{-}10^4 M_{\odot}$ и размери до няколко десети от парсека са МО, в които обикновено се зараждат маломасивни звезди (пример Taurus или Perseus); и области с голяма маса от $10^5\text{-}10^6 M_{\odot}$ и размери ~ 100 pc, наречени ГМО и типични места, където се раждат звезди с голяма маса и клъстери (Cygnus). Някои облаци попадат между гореизброените категории за простота ги класифицираме като области със средна маса. Следват облаци без активно звездообразуване и накрая разредени облаци, изградени от атомен водород. Това е “моментна снимка” на зоните на звездообразуване в различен еволюционен етап. Числените симулации ни дават възможност да видим тези етапи в тяхната последователност.

Ако звездообразуването се контролира от турбулентността, звездни купове трябва да възникват в области без достатъчна турбулентна поддръжка или със задвижване на турбулентността само на големи скали. Без задвижване,

турбулентността в МО дисипира за по-кратко време от времето на свободно падане и тогава последното се явява характерно време за образуване на гъсти купове. Но дори наличието на едромасшабно задвижване не може да предотврати съществен колапс в рамките на няколко времена на свободно падане. Гъстите ядра, които колапсират бързо, са предшественици на звездни обекти. При скалиране към ниски плътности и температури ($\sim 10^2 \text{ cm}^{-3}$ и $\approx 10 \text{ K}$), глобалното време на свободно падане е около 3 Myr. В гъсти области с $n \sim 10^5 \text{ cm}^{-3}$ и при същите ниски температури, динамичната еволюция протича много по-бързо и времето на свободно падане пада до 0.1 Myr.

Глобалната ефективност на звездообразуването в нормални МО се оценява обикновено на няколко процента, а самият живот на облаците – на няколко турбулентни характерни времена, т.е. на няколко милиона години.

Има все още доста неясноти какво обуславя спиране на процесите на звездообразуване на скали на отделни области на звездообразуване. Има три основни възможности:

- Обратното въздействие от възникналите звезди под формата на йонизиращо излъчване и звездни изтичания може да нагрива и разбърква околния газ до такава степен, че да предотврати по-нататъшни колапс и акреция.
- Акрецията може да престане напълно, когато всичкият гъст, гравитационно неустойчив газ се засмуче от отделните звезди или, след един динамичен период на конкурентна акреция, остатъчният газ се разсее от фоновите турбулентни потоци.
- Фоновете потоци могат да отвеят и разрушат облака; по идентичен начин на първоначалното му съгъстяване. Вероятният източник на фоновата турбулентност са свръхнови от полето, поне в областите на звездообразуване в галактиките.

Вероятно истинската причина за спиране на звездообразуването е някаква комбинация от изброените три.

3. Заключение

От това кратко въведение в областта на звездообразуването ние се убеждаваме, че описанието на процеса отправя към изследователите редица предизвикателства от наблюдателно и теоретично естество.

Необходимо е детайлно познаване на физиката на хладната междузвездна среда, в която възникват звездите и чиито свойства определят подходите за регистрирането на различните еволюционни стадии. Тази среда е също така много динамична – в нея има свръхзвукови турбулентни потоци, различни типове неустойчивости; започват локални или глобални гравитационни колапси; нововъзникнали звезди оказват мощно въздействие чрез звездни ветрове; избухват свръхнови. Тези процесите протичат на различни пространствени и времеви мащаби и за разбирането им са ни необходими познания от различни

научни дисциплини като квантова физика и химия, магнитохидродинамика, физика на плазмата и гравитационна динамика.

Изучаването и анализа на морфологията на звездообразуващите области е ключова за по-доброто разбиране на историята на Вселената като цяло.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Wilson, R., Jefferts, K., Penzias, A., 1970, ApJ, 161L, 43
- [1] Penzias, A., Solomon, P., Jefferts, K., Wilson, R., 1972, ApJ, 174, L43
- [2] Bergin, E., Tafalla, M., 2007, ARA &A, 45, 339
- [3] Jeans, J. H., 1902, Phil. Tr. RAS, 199, 1
- [4] Schneider, N., Ossenkopf-Okada, V., et al. 2022, A &A, 165, 52

СПОСОБНОСТИТЕ НА ЧЕРНИТЕ ДУПКИ

Габриела Ганчева и Емил Петров

Факултет по транспорта, ТУ-София, бул. „Кл. Охридски“ №8, София 1000,
email: ggancheva@tu-sofia.bg emipetrov@tu-sofia.bg

Резюме. Настоящият доклад разглежда хипотезата за съществуване на кухи планети и прави тунели, образувани от малки примитивни черни дупки. Той е подкрепен с илюстрации и примери с материали от ежедневието. Включена е и идеята за построяване на структури около такива черни дупки и са дадени примерни конструкции и техните характеристики.

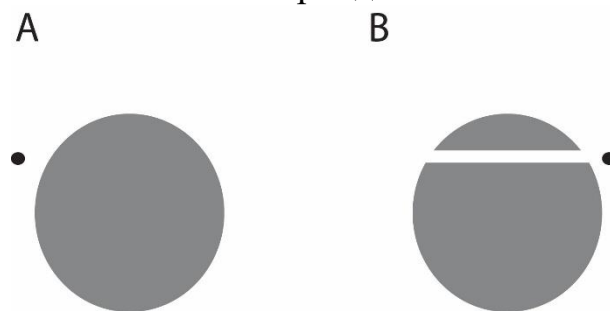
Ключови думи: първична черна дупка, повърхностно напрежение, якост на натиск, куха структура, прав тунел

1. Въведение

Може би едни от най-интересните обекти във Вселената са черните дупки. Конкретно, малките първични черни дупки (ПЧД), създадени при раждането на Вселената, които могат да обяснят някои загадъчни феномени. Има теории, че те изграждат тъмната материя [1] и дори, че въртящи се ПЧД могат да причиняват гравитационните вълни [2]. В този доклад ще разгледаме взаимодействията между ПЧД и различни обекти, като резултатите са подкрепени с уравнения от релативистичната физика. Като малки ПЧД определяме главно черни дупки с маса в интервала $10^{17} \text{ g} - 10^{24} \text{ g}$.

Има хипотези за наличието на малки ПЧД в сърцевината на някои звезди [3]. Те са попаднали вътре при формирането на звездата или когато тя преминава от една фаза в друга, като така газът в тези звезди може да бъде бавно изчерпван от ПЧД. Същото важи и за взаимодействията с планети и астероиди.

Друга възможна ситуация е бърза малка ПЧД да премине през солиден обект и да остави малък прав тунел в него (фиг. 1). Тъй като говорим за малки ПЧД с радиус на Шварцшилд, много по-малък от самото тяло, през което минава, структурата ще може да издържи удара и ще остане цяла. Затова и един от главните методи за търсене на доказателства за съществуването на ПЧД може да бъде следене за появата на прави тунели в плътни тела тук, на Земята.



Фиг. 1 Сблъсък между бърза черна дупка (черната точка) и твърд астероид (сивия кръг). (А) Преди взаимодействието черна дупка - астероид. (В) Получения прав тунел след сблъсъка

2. Възможно ли е съществуването на кухи тела?

Идеята за кухи небесни тела, образувани от първични черни дупки (ПЧД)(,) набира популярност сред учените. Според последни изследвания малки ПЧД може да са се „скрили“ в различни небесни тела като звезди, планетоиди и астероиди, бавно поглъщайки вътрешния им материал.

Ако едно такова небесно тяло има течна сърцевина (например желязно ядро) и твърда външна кора (от силикатни минерали или метали), малка черна дупка, попаднала в него, може да изяде цялата му вътрешност в рамките на седмици или месеци. В резултат остава куха структура – обект с твърда обвивка, но без плътно ядро (фиг. 2).

За да докажем възможността за съществуване на кухи тела, използваме релятивистични уравнения и тензор a на Айнщайн. От тях получаваме уравнения с параметри τ – за повърхностно напрежение и λ – за повърхностна плътност на тялото. Полученото отношение между τ и λ се изразява с формулата:

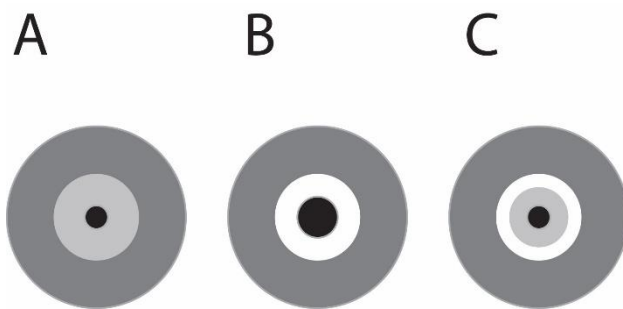
$$\left| \frac{\tau}{\lambda} \right| = \frac{M}{2(r_0 - 2M)}$$

Получената формула може да се използва за сравняване на различни материали и възможността те да поддържат куха структура. За да е възможно това, трябва повърхностното напрежение на материала да е по-малко от повърхностната му плътност.

2.1. Как можем да открием кухи тела?(без въпродителна)

Изследователите Де-Чанг Дай и Деян Стойкович са изчислили, че материали като гранит могат да поддържат кухи структури до радиус, равен на $0.1R_{\oplus}$. Това означава, че астероиди, малки луни и планетоиди с необичайно ниска плътност могат да бъдат кандидати за такива кухи тела. Ако масата и радиусът на даден обект показват по-ниска от очакваната плътност, това може да означава, че той някога е бил „изяден“ отвътре от ПЧД.

Друга възможност за доказателство е откриването на микротунели, възникнали след преминаването на ПЧД. Ако една малка черна дупка мине през твърд материал като скала, тя ще остави дълъг, прав тунел с радиус около



Фиг. 2. (А) Планета улавя черна дупка. (В) Течното ядро бавно се поглъща от ПЧД. При правилни условия се получава кухо тяло. (С) Ако течното ядро се втвърди, преди да бъде напълно погълнато от черната дупка, ще се образува кухня между външния слой и сърцевината.

$0.1\mu m$ (за ПЧД с маса $10^{23}g$). Въпреки че тези черни дупки притежават огромна енергия, те депозират твърде малко в материала, през който преминават – дори ако ПЧД премине през човешкото тяло, човек няма да усети нищо, защото напрежението в тъканите е твърде ниско.

За да потвърдят съществуването на ПЧД, учените предлагат:

1. **Наблюдение на планетоиди, астероиди и луни** – анализ на тяхната маса и радиус, за да се определи дали имат необичайно ниска плътност.
2. **Изследване на микротунели в материали като стъкло, скали или метали** – ако се открият правилни, прави тунели с микроскопични размери, това може да е знак за преминаване на ПЧД.
3. **Изграждане на специални детектори** – големи, изолирани плочи от полиран метал, които да засекат всяка промяна в структурата си, ако ПЧД премине през тях.

2.2. Връзка с други теории

ПЧД са интересен кандидат за тъмната материя – мистериозната субстанция, която съставлява около 85% от Вселената, но не излъчва светлина и не може да бъде засечена пряко. Освен това, ПЧД могат да бъдат източник на първични гравитационни вълни и други астрофизични явления.

Теорията, че първичните черни дупки могат да се намират в недрата на звезди, е предложена още от Стивън Хокинг и се подкрепя от нови изследвания. Например, силни гама-лъчения в тъмната материя на Млечния път могат да бъдат знак за изпаряващи се ПЧД.

Макар че все още няма пряко потвърждение за съществуването на тези черни дупки, предложеният метод за търсене чрез кухи тела и микротунели е евтин и лесен за прилагане. Ако бъде успешен, това може да даде революционни отговори на някои от най-големите загадки в космологията.

3. Правите тунели – доказателство за малките черни дупки

При взаимодействие между бързо движеща се малка ПЧД и плътно тяло може да се образува прав тунел там, откъдето е преминала черната дупка. Тунелът ще има напречно сечение, сравнимо с това на радиуса на Шварцшилд. Например, черна дупка с маса $10^{-10}M_{\odot}$ трябва да остави тунел с радиус около $0.1\mu m$. Следователно, поради малките си размери, този тунел ще има пренебрежимо влияние върху по-големи тела и няма да наруши целостта им.

За такива тела могат да се смятат както солидни астероиди, така и плътни плочи на Земята. Това може да се използва като метод за доказване на съществуването на малки ПЧД. Експериментът ще представлява наблюдение за внезапна поява на прави тунели в определени плочи или просто търсене на такива в стари скали и стъкла, използвани в сгради.

Ако приемем, че тъмната материя е изградена от ПЧД, следва че можем да изчислим потокът на ПЧД през дадена площ. Тъмната материя около Слънцето е $\rho_d = 0.43 \text{ GeV}/\text{cm}^3$ [4], докато скоростта му спрямо Млечния път е 220 km/s . Потокът на частици на тъмната материя се задава чрез

$$n_d v_d \quad (2)$$

където n_d е числената плътност на частиците, докато v_d е скоростта им. Ако цялата тъмна материя се състои от ПЧД с маса $m_d = 10^{14} \text{ g}$, тогава потокът на ПЧД през плоча с площ от 1 m^2 на година ще бъде около $\rho_d / m_d v_d \sim 10^{-16}$. С други думи, през тази плоча за една година ще преминат 10^{-16} ПЧД, което е твърде малко число за наблюдаване в реално време, но ако вземем скала на милиарди години с площ от 10 m^2 , би трябвало да са се случили 10^{-6} преминавания на малки черни дупки. Това число също е доста малко, но факта че търсенето на такива тунели не изисква скъпо оборудване и дълга подготовка, означава, че проверяването на множество такива скали, може да даде положителни резултати.

4. Структури около черна дупка

Черните дупки не са само обекти, които поглъщат материя – те също могат да бъдат източници на енергия. С правилно разположени структури около тях е възможно да се извлича енергия както от Хокинговата радиация, така и от акреционния диск на въртяща се черна дупка.

В случай на стационарна черна дупка може да се използва механизмът на Хокинговото излъчване за генериране на енергия. Това явление описва постепенното изпаряване на черната дупка чрез квантови ефекти. За да бъде значителен потокът от енергия, черната дупка трябва да бъде изключително малка. Ако съществува технология за стабилно задържане на такава микроскопична черна дупка, околна структура би могла да събира енергията, която тя излъчва, и да използва за полезни цели.

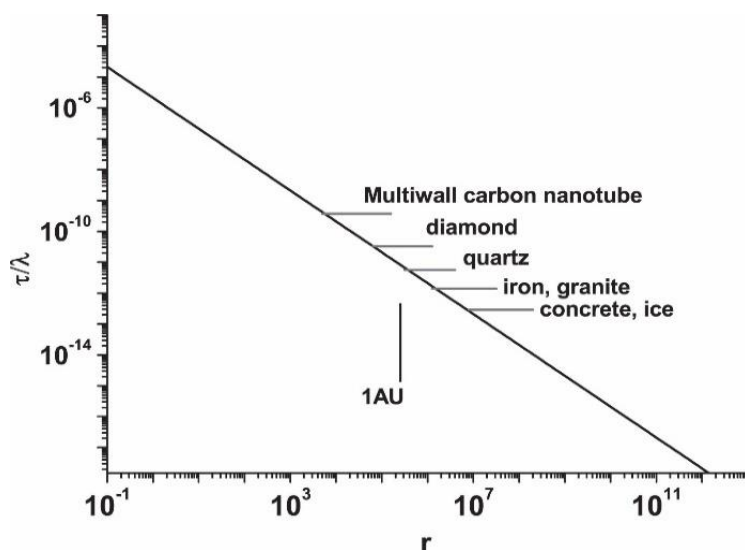
Освен това, за да бъде ефективно събирането на енергия от Хокингова радиация, трябва да има механизъм за преобразуване на излъчените частици (главно фотони, неутрино и други квантови частици) в използвана форма, като електричество или топлинна енергия. Един от възможните подходи е използването на сферична обвивка от високоефективни абсорбиращи материали, която да улавя излъчената енергия и да я преобразува.

4.1. Структури за улавяне на енергия от акреционния диск

Ако черната дупка се върти, около нея се образува акреционен диск – свръхнагрят газ и плазма, които излъчват огромно количество енергия. Тази енергия може да бъде уловена чрез орбитална структура, разположена на

безопасно разстояние. Изчисленията показват, че въпреки че използваме метрика за стационарна черна дупка, порядъкът на величината на безопасното разстояние не се променя съществено при въртяща се черна дупка.

Освен това, ако черната дупка се върти, тя създава ефекта на **влачене на инерциални системи** (познат и като ефект на Лензе-Тиринг), което означава, че пространството-времето около нея също се завихря. Това може да доведе до образуването на **ергосфера** – регион, в който материята не може да остане в покой спрямо далечен наблюдател. В този случай е възможно да се използва **механизмът на Пенроуз**, при който частици, навлизащи в ергосферата, могат да бъдат разпаднати така, че една част да падне в черната дупка, а другата да излети с по-голяма енергия от първоначалната си.



Фиг. 1 Отношението $|\tau/\lambda|/|\tau/\lambda|$ на масивна обвивка (от уравнение (1)). Задаваме масата на централната черна дупка да бъде $1M_{\odot}$. Хоризонталните линии представят максималната стойност на отношението $|\tau/\lambda|$ за съответния материал. Вертикалната линия представя радиус от $1 AU = 1.4 \times 10^{11} km$ (разстоянието от Земята до Слънцето). Единиците на хоризонталната

Основната причина за това е, че оптималната структура за събиране на енергия ще бъде разположена далеч извън ергосферата на черната дупка – областта, където пространството-времето се „завлича“ от нейното въртене. Въпреки това, ако цялата структура орбитира около черната дупка, тя може да бъде разположена по-близо, използвайки допълнителната енергия от въртенето на самата черна дупка.

На фиг. 3 са показани необходимите стойности за изграждане на масивна обвивка около черна дупка с маса, равна на тази на слънцето $M_{\odot} = 3.955 \times 10^{30} kg$ и гравитационен радиус от около $3 km$. Най-здравият материал, с който разполагаме в момента, е многослойната въглеродна нанотръба. Дори този материал не може да издържи на гравитацията на черната

дупка при $1R_{\odot}$ и обвивката трябва да бъде изградена на разстояние по-голямо от $10^4 R_{\odot}$.

4.2. Потенциални конструкции

1. **Сфера на Дайсън около черна дупка** – система от панели, които биха събирали излъчената енергия от акреционния диск или Хокинговата радиация.

2. **Орбитална платформа за събиране на енергия** – масив от сателити, позиционирани така, че да поглъщат максимално количество излъчване, без да бъдат привлечени от черната дупка.

3. **Динамична структура в близост до ергосферата** – механизъм, който би могъл да използва ефекта на Пенроуз за извличане на ротационна енергия от черната дупка.

5. Изводи

Малките първични черни дупки представляват изключително интересна тема за изследване, която има потенциала да разшири разбирането ни за Вселената и да допринесе за научно-технологичния напредък на цивилизацията. Въпреки че все още не са открити и потвърдени, съществуват сравнително достъпни и икономически изгодни методи за тяхното доказване. Например, наличието на кухи планети или астероиди може да доведе до революционни промени в нашите представи за физиката, докато малките прави тунели, преминаващи през твърди тела, биха могли да служат като индикатори за съществуването на такива черни дупки. Освен това, структури, които досега се смятаха за футуристични или дори фантастични, като изграждането на обекти в близост до черни дупки, се оказват теоретично постижими дори с днес наличните материали и технологии.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] <https://scipost.org/SciPostPhysLectNotes.48/pdf>
- [2] <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1475-7516/2016/10/034>
- [3] <https://arxiv.org/abs/2312.07647>
- [4] <https://arxiv.org/abs/1003.3101>
- [5] <https://r.notohost.com/tiny-black-holes-inside-asteroids>
- [6] <http://large.stanford.edu/courses/2011/ph240/nagasawa2/>
- [7] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212686424002449>
- [8] <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1973A%26A....24..337S/abstract>

ИСТОРИЧЕСКИ ПОДХОД В ОБУЧЕНИЕТО ПО ФИЗИКА ЧРЕЗ МЕТОДА „НАУЧНО ЕСЕ“

Георги Малчев

Катедра Приложна Физика, ФПМИ, ТУ-София, бул. “Кл. Охридски” №8, София 1000

e-mail: g_malchev@tu-sofia.bg

Резюме: Разглежда се същността на историческия подход и неговите приноси, заради които е предпочитан в обучението по физика. Представя се научното есе като един от методите, с които подходът може да се осъществи на практика. Посочват се етапите, през които преминава създаването на есе, неговата структура и критерии за оценяване. Предлагат се по 3 примерни теми на научни есета за VIII, IX, и X клас. Обобщава се, че реализирането на подхода, чрез научното есе, развива познавателните и творческите умения у учениците, улеснява ги в разбирането на учебното съдържание и им позволява да осъзнаят еволюцията на природонаучните знания.

Ключови думи: исторически подход, научно есе, обучение по физика.

1. Увод

Педагогическата практика показва, че днешните ученици, за които физика и астрономия е общообразователен предмет в училище, са все по-малко мотивирани да го изучават. За тях той е един от най-трудните, понеже подготовката им изисква интелектуални усилия и концентрация за разбиране на физичната материя.

„Поколението на дигиталната епоха“, както определят психолозите настоящите младежи на XXI век, е с нагласи за лесен и бърз успех с минимални усилия. В обучението обаче е налице разминаване между желанията на учениците и необходимостта от полагане на съответния интелектуален труд. Ето защо всеки учител по физика е необходимо да подходи адаптивно, като приложи подходящи методически комбинации и съвременни образователни технологии, с които да стимулира ученическите изяви. На преден план трябва да е самостоятелната познавателна и творческа дейност, с краен резултат, който носи удовлетворение на обучаемите.

Подобен пример е креативния „поглед“ върху историческата страна на учебното съдържание. Историята на физиката винаги предизвиква интерес у учениците – кога за първи път е наблюдавано дадено явление, кога и по какъв начин е направено дадено откритие, кога и от кого е формулиран даден закон и т.н. Разсъждавайки в исторически аспект, те формират и аргументирано отстояват лична позиция. По този начин осмислят по-лесно физичните понятия и разбират по-добре учебния материал. Ето защо историческият подход е много ценен мотивационен „инструмент“, с който всеки учител може да направи по-ефективен учебно-възпитателния процес.

2. Същност на историческия подход

Във философията съществува цяло направление, което е посветено на проблемите за произхода на науката и за периодизацията на развитие на научното знание. Всъщност историята на науката е обединение от ситуации на конкретни научни открития и на иновации, които обогатяват системата от знания в дадена област от научното познание.

„Историзъм“ в най-общ смисъл означава „историзиране“. Можем да тълкуваме това като признаване на случило се събитие, включително научно откритие, за исторически факт.

В педагогиката са известни много концепции, чийто акцент е историята на науката. Една от водещите е „принципът за историзъм в обучението“. Той се фокусира върху съдържателната и процесуалната страна на този образователен процес. Двама шведски учени – Lena Hansson и Lotta Leden – считат, че за да бъде изпълнен принципа, в учебното съдържание трябва по подходящ начин да се представи историята на значимо за науката събитие – откритие, изобретение или иновация. А от гледна точка на процеса на учебното познание е необходимо системно да се създават проблемни ситуации, свързани с важни събития от историята на конкретната наука [1].

Реализирането на двете изисквания на принципа става с помощта на два специфични метода. Единият е така наречения „исторически разказ“, с който се представят данни за исторически събития в науката, а другият е биографичният метод, който представлява описание на жизнения и професионален път на учен, със значим принос в развитието на тази област [2].

Прилагането на споменатите два метода в обучението осъществява на практика познатия в педагогиката исторически подход. Негова основна цел е формиране и развиване на природонаучна грамотност, включително обогатяване на научната картина на света и на научния светоглед на учениците, както и повишаване на тяхната мотивация и познавателен интерес към природните науки, и в частност към физиката, когато визираме обучението по този учебен предмет.

Според израелския учен Igal Galili историческият подход в обучението по физика е за предпочитане, заради четирите си съществени приноса [3]:

1. *Създаване на условия за разбиране в дълбочина на изучаваните физични явления, закономерности и теории.* Това естествено мотивира учениците, прави ги по-любопытни и спомага за развиване на техните познавателни умения.

2. *Получаване на съответствие (подобие) между индивидуалното натрупване на знания (онтогенезис) и растежа на колективното научно знание (филогенезис).* В тази връзка учителите могат да изтъкват неправилните представи, възникнали у учениците, като посочват подобни заблуди, съществували у учените в хода на развитие на физичната наука.

3. *Разкриване на същността на науката физика.* Учениците осъзнават начина, по който се добиват знания и се прави наука. Разбират как се провеждат

научни изследвания. Оценяват ролята на експеримента и на логическите правила като основа на концепциите и на философските идеи. Освен това, осмислят ролята на математиката, на законите, на принципите и на моделите във физиката.

4. *Формиране на „култура“ на физиката.* При изучаване на тази наука чрез историческия подход учениците се запознават с идеологията, убежденията и вярванията на поколения бележити физици и астрономи. По този начин започват да приемат физиката не само като фундаментална наука, но и като вид култура на човешката цивилизация за опознаване на материалния свят.

Всеки учител по физика може да използва исторически подход в своята преподавателска дейност. С подбрани методи той трябва да мотивира учениците и да породи у тях интерес към познанието чрез историята на физиката. Един такъв метод, познат от хуманитарните науки, с който се провокират интелектуалните и творческите им способности, е научното есе.

3. Методът „научно есе“

Думата „есе“ (на фр. *essai*) произхожда от глагола „опитвам“ (на фр. *essayer*) и има смисъла на опит да бъде сътворен кратък авторски текст. Всъщност есето е кратко писмено съчинение, в което се излагат собствени мисли и възгледи по даден проблем.

Научното есе е посветено на проблем от областта на науката. С този вид есе се демонстрира способността да се мисли критично и самостоятелно, да се интерпретират научни факти и да се аргументира лична позиция. В творбата ученикът образно коментира, съпоставя, търси отговори, прави изводи и заключения. Така научната информация, изпълнена с логически връзки, се превръща в трайно знание [4].

Британските учени Peter Redman и Wendy Maples посочват двата етапа, през които минава създаването на научно есе [5]:

1. *Подготовка.* Анализират се вложените в темата мисли и се избира гледна точка, от която те ще се интерпретират. Уточнява се целта на написване на есето и се събират и подреждат по важност научна информация и идеи във връзка с темата.

2. *Писане.* Във втория етап е същинската част от дейността на ученика, когато той трябва да напише есето, търсейки и разсъждавайки върху причинно-следствените връзки между научните факти и явления. Необходимо е да ги съпостави и/или противопостави, да даде житейски, исторически и научни примери, да цитира мисли на известни учени, пословици, поговорки и т.н.

Редица автори се обединяват около идеята, че научното есе трябва да има обем между 3 и 5 ръкописни страници и да бъде със следната структура [6 – 8]:

1. *Увод* – състои се от няколко изречения, които въвеждат читателя в темата. Чрез него се определя дали есето да бъде критично и да доказва, че авторът му не е съгласен с даден научен проблем, дали да защити още по-категорично

твърдението, включено в заглавието, или да представи на читателя аргументи, защитаващи и двете тези – за и против, и така да предложи на аудиторията сама да избере коя от двете да подкрепи.

2. *Теза* – в нея се състои основното научно твърдение, върху което ще се развие аргументацията (изложението). Затова тя е най-важната част от есето. Тезата трябва да бъде сбита (2-3 изречения), да съдържа личното мнение на пишещия за проблема и да няма подробности, разсъждения и примери. Тяхното място е в аргументацията.

3. *Аргументация* – в нея се излагат аргументите (разсъжденията и доказателствата), с които се подкрепя научната теза. Необходимо е авторът да развие аргументите последователно, като ги поднася ясно и логично, за да са разбираеми. Важно е да се извлекат най-подходящите факти и данни, които подкрепят тезата.

4. *Заклучение* – включва няколко изречения, които обобщават идеята на научното есе и представят сбито и кратко изводите, до които авторът е стигнал. След като са изложени всички доказателства, следва да се обобщи тяхното значение. Някои заключения оставят отворен финал, други загатват бъдещи проблеми, които могат да възникнат на основата на направените наблюдения.

Оценяването на научното есе става по предварително зададени критерии. Учителят трябва внимателно да проследи в текста дали са спазени всички изисквания, за да бъде авторското съчинение научно есе.

Колектив от видни педагози, с участието на Ивайло Тепавичаров и Нели Христова, предлага да се използват следните критерии за оценяване по отношение на [9]:

- *теза* – оценява се ясното и точно формулиране и дали тя изразява личното мнение на ученика като резултат от собствената му познавателна активност;
- *аргументираност* – оценяват се логическата стойност на аргументите, понятийната яснота, предметната определеност и дали тези доказателства са изградени върху фактически вярна информация;
- *представяне на други гледни точки по проблема* – оценява се степента на познаване на основните литературни, научни и технически източници по въпроса;
- *език и стил* – оценяват се езиковата култура, научният стил на изложението на ученика и правилното използване на научната терминология;
- *структура* – оценява се наличието на задължителните структурни елементи в текста (увод, теза, аргументация и заключение);
- *обем* – оценява се дали текстът е между 3 и 5 ръкописни страници.

4. Създаване на научно есе по физика

Американските учени Bob Tierney и John Dorroh считат, че при написване на кратко научно съчинение по физика е необходимо ученикът да осмисли самостоятелно и творчески проблем от областта на тази наука. Той трябва да

представи ясно, аргументирано и логично отношението си към него със структуриран текст, в който задължително да включи физични понятия. Така при прочитане на есето учителят по физика може да проследи мисълта на ученика и да му постави съответната оценка, съгласно предварително известни критерии [10].

Както при създаването на всяко научно есе, така и при това по физика, се преминава през два етапа. Те са описани от американските учени Carl Wenning и Rebecca Vieyra [11]:

1. *Подготовка.* Анализира се вложеният в темата смисъл и се избира гледна точка, от която ще се интерпретира. После се уточнява целта, събира се научна и научнопопулярна информация по темата и се подрежда според представата на автора за нейната важност. След това се обмисля подходящ композиционен вариант и се съставя план на текста.

2. *Писане.* Търси се и се разсъждава върху причинно-следствени връзки между факти и физични явления. Освен това те се съпоставят или противопоставят, дават се житейски, практически, исторически и научни примери, правят се цитати на мисли на известни физици, споменават се пословици, поговорки, сентенции и се задават реторични въпроси, за да се засили убеждаващото въздействие на есето.

Учениците могат да създават научни есета по време на писмено изпитване в час по физика, да ги пишат за домашна работа или в училищен клуб за занимания по интереси. С подобни творби те имат възможност да участват в регионални и национални ученически конкурси.

5. Реализиране на историческия подход чрез написване на научно есе по физика

При обучението на учениците по своя преценка учителят по физика може да даде задание за написване на научни есета на различни теми. Наложително е обаче той да се съобрази с учебното съдържание в съответния клас, така, че темата, по която учениците ще пишат, да съответства на изучавания от тях материал.

В педагогическата практика историческият подход най-често се осъществява чрез метода „научно есе“ в общообразователната подготовка на учениците от 8. до 10. клас (Табл. 1.).

Идеята е всеки ученик да създаде авторски текст, в който в историко-научен аспект да изрази аргументирано личната си позиция. Необходимо е анализиране на историческите факти, съпоставяне и обобщаване на значението на споменатия в темата проблем за науката, техниката и технологиите, за живота и за цивилизацията като цяло.

Таблица 1. *Примерни теми на есета за реализиране на историческия подход в общообразователна подготовка*

Клас	Теми на научни есета
8.	Откри ли Нютон истината в науката и в Бога?
	Еволюция на знанията ни за движенията
	Перпетуум мобиле – създаден с надежда, но обречен във времето
9.	Георг Ом – със силата на знанието за силата на тока
	Какъв е бил животът без ток преди и какъв ще е без ток сега?
	Резонансът вчера, днес и утре
10.	Да вярваш в успеха! Да бъдеш Фарадей!
	Ядреният век – иновация в Чикаго, скръб в Хирошима и Нагасаки
	Ще отворим ли заключените досега „врати“ на микросвета?

6. Заключение

Написването на есе по физика, с исторически акцент, се оказва ефективно средство за развиване на познавателните и творческите умения у учениците, както и за формиране на познавателен интерес към науката. За тях физиката може и да е абстрактна и „далечна“, но винаги става интересна, щом учителят поднесе любопитни исторически факти. Този подход директно провокира ученическата мисъл. Разсъждавайки върху историята на явленията, закономерностите, откритията и изобретенията, учениците постепенно променят нагласите си към учебния предмет (че е труден) и към физиката (че е неразбираема) като наука. Нещо повече – започват да осмислят по-лесно изучаваната материя и да осъзнават по-добре еволюцията на научните знания. Това ги убеждава, че самото знание е сила и, че тази сила води човечеството от древността до наши дни. Ще го прави и занапред в търсене на истината за природата и за Вселената!

ЛИТЕРАТУРА

- [1] L. Hansson, L. Leden, working with the nature of science in physics class: turning ‘ordinary’ classroom situations into nature of science learning situations, *Physics Education*, **51** (2016)
- [2] Н. Хуторская, Биографическият метод в обучении физики, *Физика в школе: Методика. Обмен опытом*, **4** (2017)
- [3] I. Galili, Promotion of Cultural Content Knowledge Through the Use of the History and Philosophy of Science, *Science & Education*, **21** (2012)
- [4] М. Бейнова, *Моето есе – примерни разработки за ученици от 7. до 12. клас на СОУ*. Скорпио, София. (2011)
- [5] P. Redman, W. Maples, *Good Essay Writing*. Thousand Oaks and New Delhi: SAGE Publications, London. (2006)

- [6] К. Христова, З. Драгостинова, *Рецепта за есе*. Модулор-ОКУ, София. (2005)
- [7] Л. Велкова, *Методическо пособие за разработване на есе, реферат и курсова работа*. ВА Г. С. Раковски, София. (2015)
- [8] Н. Высоколян, *Методические рекомендации по написанию эссе*. Ухтинский медицинский колледж, Ухта. (2013)
- [9] И. Тепавичаров и колектив, *101 идеи за иновативни учители*. Абагар, В. Търново. (2006)
- [10] B. Tierney, J. Dorroh, *How to Write to Learn Science*. NSTA Press, Arlington VA. (2004)
- [11] C. Wenning, R. Vieyra, *Teaching High School Physics, II*. National Academies Press, Washington DC. (2015)

СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА УРОК ПО ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ ЗА IX КЛАС И ПРЕДЛОЖЕНИЕ ЗА ИНТЕРДИСЦИПЛИНАРЕН УРОК

Гергана Целова

спец. "Педагогика на обучението по математика, физика и информатика", ФПМИ, спец. "Инженерна екология", ФИТ, ТУ-София, бул. "Кл. Охридски" №8, София 1000,
e-mail: gpelova@tu-sofia.bg

Резюме: Докладът представя сравнителен анализ на урока „Хармонично трептене“ в три различни учебника по физика и астрономия за IX клас. Разгледани са основните точки, силните и слабите страни на уроците, като са анализирани подходите за представяне на темата, графичните визуализации и включените примери. Направени са критични забележки и предложения за подобрене, като акцентът е върху яснотата на структурата, разнообразието от примери и по-добрата дефиниция на ключови понятия.

Ключови думи: анализ, урок, STEM, хармонично трептене

1. Въведение

Трептенията и вълните са фундаментални явления в природата, намиращи приложение в редица области на физиката и техниката. Темата "Хармонично трептене" е първият урок от раздела "Механични трептения и вълни" в IX клас. Тя поставя основите за разбирането на периодичните движения, които играят съществена роля както в класическата механика, така и в електромагнетизма, оптиката, квантовата механика и астрономията.

Хармоничното трептене е модел, който описва движение под въздействието на възстановяваща сила, пропорционална на отклонението от равновесното положение. Този тип движение се среща в различни системи – от махала и пружини до електромагнитни вълни и квантови частици. Разбирането на хармоничните трептения е ключово за усвояването на по-сложни концепции в природните науки и инженерството.

В рамките на този урок учениците се запознават с основните характеристики на трептенията, начините за тяхното математическо описание и връзката им с реални физични системи. Ще бъдат разгледани понятия като амплитуда, период, честота и фаза, както и графичното представяне на хармоничните трептения. Особено внимание ще се обърне на Закона на Хук и връщащата сила, които са в основата на механичните трептения.

Нагледността играе важна роля в усвояването на тази материя. Може да се направят множество нагледни експерименти с махала, пружини и компютърни симулации, които да илюстрират поведението на хармоничните трептения. В допълнение използването на математически модели и компютърни симулации

(напр. с Python или PHET симулации) позволява на учениците да експериментират с различни параметри и да изградят по-добро разбиране за явлението.

Този урок също така предоставя възможност за интердисциплинарни връзки с математиката, информатиката и техническите науки. Познанията, придобити в тази тема, ще бъдат основа за бъдещото изучаване на механичните и електромагнитните вълни, акустиката, оптиката и други свързани области. Развиването на умения за анализ и моделиране на физични явления е важна част от обучението по физика, а темата за хармоничните трептения е ключова стъпка в този процес.

2. Учебници и съдържание на уроците

В настоящия анализ ще бъдат разгледани три учебника по физика и астрономия за IX клас, които представят темата "Хармонично трептение" по различен начин. Тези учебници са издадени в различни периоди и отразяват както традиционния, така и модерния подход към преподаването на физичните концепции. На фигура 1 са представени кориците на трите учебника.



Фиг. 1. Корици на анализираните учебници [1][2][3]

Учебник №1

- Физика и астрономия за 9 клас – профилирана подготовка
- Авторы: Максим Максимов, Георгиус Христукидис
- Издателство: Булвест 2000
- Година на издаване: 2001г.

Този учебник представя темата чрез по-задълбочен теоретичен подход, включвайки детайлни математически изводи и формулировки. Включени са многобройни примери, илюстрации и задачи, които подпомагат разбирането на материала. Основният фокус е върху класическите методи за анализ на механични трептения [1].

Учебник №2

- Физика и астрономия за 9 клас – при интензивно изучаване на чужд език
- Авторы: Максим Максимов, Ивелина Димитрова
- Издателство: Булвест 2000

- Година на издаване: 2024г.

В този учебник се акцентира върху нагледното представяне на хармоничните трептения. Използвани са множество графики, схеми и таблици, които онагледяват процесите, свързани с трептенето. Освен традиционните физични примери в него са включени и междупредметни връзки, които улесняват разбирането на учениците чрез съвременни методи [2].

Учебник №3

- Физика и астронимия за 9 клас – при интензивно изучаване на чужд език
- Авторы: Елка Златкова, Георги Дянков, Каролина Янакиева
- Издателство: Анубис
- Година на издаване: 2024г.

Третият учебник представя темата по начин, който съчетава както теоретични, така и експериментални подходи. Разгледани са различни видове механични трептения включително математическо и пружинно махало. Графичното представяне на резултатите е един от основните му акценти, като включва и методи за цифрово моделиране и анализ чрез съвременни технологии [3].

Съдържанието на уроците в тези три учебника предоставя възможност за анализ на различни методики за преподаване. Разликите между тях ще бъдат разгледани в следващите точки от доклада, като се акцентира върху силните и слабите страни на всеки подход.

3. Основни точки на уроците

Уроците са разделени на няколко точки. Във всеки учебник урокът е разделен на различни по брой и наименования точки, представени в таблица 1.

Таблица 1. Основни точки на уроците

Учебник 1	Учебник 2	Учебник 3
Характеристики на трептенията	Характеристики на трептенията	Периодични движения
Хармонично трептение	Хармонично трептение	Хармонично трептение
Закон на Хук	Въпроси и задачи	Графично представяне на хармонично трептение
Връщаща сила		Въпроси и задачи
Въпроси и задачи		

4. Силни страни на уроците

Всяко логическо разделение и представяне на уроците има своите предимства. Те са представени в таблица 2.

Таблица 2. Силните страни на уроците

Учебник 1	Учебник 2	Учебник 3
Направено е добро въведение в темата.	Много добро изобразяване на трептението във времето представено на фиг. 3 и фиг. 4	Направено е добро въведение в темата.
Много добро изобразяване на трептението във времето представено на фиг. 44-2 и фиг. 44-4.	Решена е примерна задача и са показани още шест задачи подходящи за работа в клас и домашна работа.	В опит 1 е направена съпоставка на хармонично трептение и с пружинно и с математическо махало.
Решена е примерна задача и са показани още пет задачи подходящи за работа в клас и домашна работа.		Силна страна е добавената точка за „Графично представяне на хармонично трептение“. Помага за лесното усвояване на материала.

5. Слаби страни и критичен анализ на уроците

Всяко логическо разделение и представяне на уроците има своите недостатъци. Те са представени в таблица 3.

Таблица 3. Слаби страни и критичен анализ на уроците

Урок от учебник 1	Урок от учебник 2	Урок от учебник 3
Неподходящо място за въвеждане на Закона на Хук и Върщащата сила. Това е редно да се изведе в друг урок и да се замести с общи характеристики и изобразяване на хармонични трептения.	Редно е втората точка да се преименува Графично описание на хармонични трептения и да се акцентира на това.	Във втората точка Хармонично трептение се обяснява за Закон на Хук и върщаща сила и дори не се споменава, че става въпрос за Закон на Хук. Тази точка няма място тук, а в урок за пружинно махало.
Примерите са акцентирани единствено върху пружинно махало. Редно е в такъв случай да се опишат и други примери, за да се направи анализ на общите характеристики на харм. трептения.	Липсва извадка на общите характеристики на хармонични трептения на различни механизми – напр. пружинно и математическо махало.	Опит 2 е неподходящ. Сложен в точка, в която се описват съвсем различни понятия.

6. Предложение за подобряване на темата

Подходящо е в този урок да се въведе понятието за функцията $\sin(x)$, която е в основата на описанието на хармоничните трептения. Други предложения могат да бъдат:

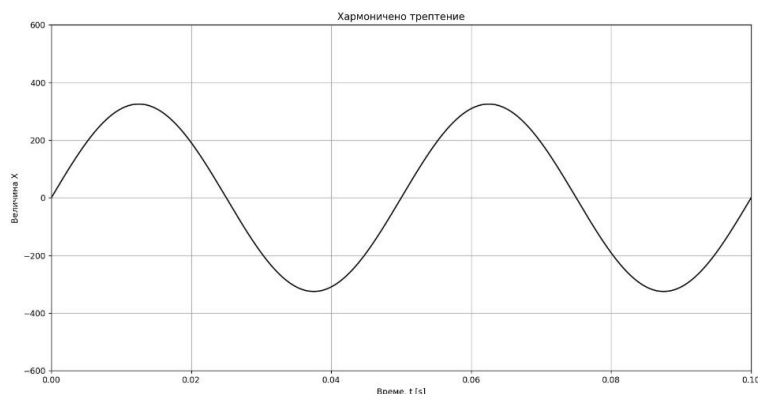
- да се направи интердисциплинарна връзка с предмета математика;
- да се дадат повече примери за хармонично трептение ;
- да се въведат всички понятия;
- да се въведе допълнително параметъра начална фаза;
- да се онагледят примерите макети на математическо, пружинно и физическо махало;
- да се използват симулации, в които да се онагледят основните параметри;
- да се онагледи графично използването на хармоничната функция чрез използването на програмния език Python и да се направи междупредметна връзка с предметите от направление информатика.

Примерна структура:

Тема: „Хармонично трептение“

- **Въведение в хармоничните трептения**
 - Описание на периодични движение в природата
 - Основни характеристики
 - Хармоничните трептения в различни области
- **Математическо описание на периодичните трептения и основни характеристики**
 - Функция $\sin(x)$. Измерване на ъгъл чрез радиани
 - Аналитично представяне на функцията
 - $x(t) = X_m \sin(2\pi f t + \varphi_0)$
 - $f = \nu = \frac{1}{T}$ – честота [Hz]
 - T – период [s]
 - φ_0 – начална фаза [rad]
- **Практически примери и симулации**
 - Демонстрация с махала
 - Компютърни симулации

- Въпроси и задачи за самостоятелна и домашна работа



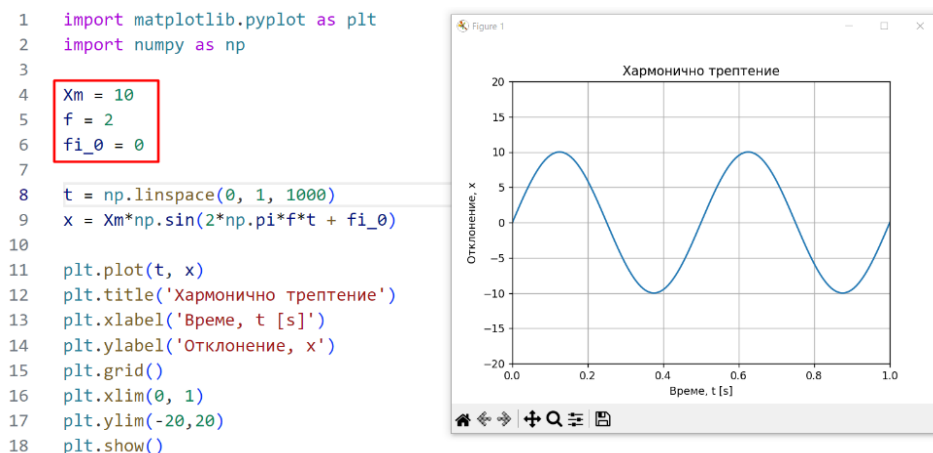
Фиг. 2. Графично представяне на синусоидална функция

За да се подобри онагледяването на урока, учителят с участието на учениците може да направи демонстрации за хармонично трептение с на различни видове махала, да се използват лабораторни макети, които са представени на фиг. 3. В случай че училището не разполага с лабораторни макети, създаването на тези махала може да се направи с подръчни средства и са лесни и евтини за изработка.



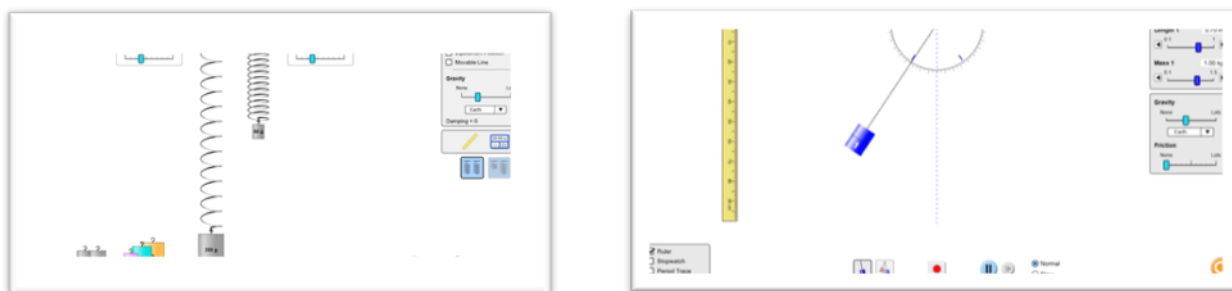
Фиг. 3 Макети на различни видове махала

На фигура 4 е показана разработката на програма на програмния език Python, чрез която учениците могат по-лесно да усвоят основните параметри на хармоничната функция.



Фиг. 4. Python програма за хармонично трептение [5]

В допълнение могат да бъдат използвани безплатните онлайн симулации от университета в Колорадо – PhET, представени на фиг. 5.



Фиг. 5. Уеб базирани компютърни симулации на физични величини от университета в Колорадо [4]

7. SWOT анализ на предложеното подобрене

За да се оцени ефективността на новото предложение за урок по физика, е необходимо да се анализират както неговите силни страни, така и потенциалните предизвикателства, свързани с неговото прилагане. В този контекст е изготвен кратък SWOT анализ, представен в таблица 4, който систематично разглежда ключовите фактори, влияещи върху успешната му реализация.

Таблица 4. Слаби страни и критичен анализ на уроците

Силни страни - Strengths	Слаби страни - Weaknesses
- Създаване на интердисциплинарни връзки с математика и информатика - Прилагане на STEM концепция	- Повече учебен материал - Изисква повече усилия при преподаване и използване на интерактивни подходи
Възможности - Opportunities	Заплахи - Threats
- Получаване на интердисциплинарни знания - Даване на по-абстрактен модел, който учениците ще могат да прилагат в различни уроци	- Учениците, които са слаби по математика и информатика, да не усвоят добре материала. - Учителите, които не са запознати с програмирането, да не успеят да покажат и направят примерите с Python или друг програмен език - Липса на материална база, за да се покажат демонстрации и да се направят симулации

Чрез този анализ се очертават възможностите за подобряване на учебния процес и потенциалните рискове, които трябва да се вземат предвид, за да се гарантира максимална ефективност и устойчивост на урока в рамките на учебната програма.

8. Заключение

От направения анализ на учебник от преди 25 години и съвременени такива няма съществена разлика в начина на поднасяне на материала. В съвременното обучение е необходимо да се наблегне върху междупредметните връзки, интердисциплинарното обучение и STEM подход. Необходимо е да се използват повече компютърни технологии, симулации, програмиране и изкуствен интелект за по-лесното усвояване на сложни физични и математически концепции.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] М. Максимов, Г. Христакудис, Физика и астрономия за 9 клас – профилирана подготовка, стр. 142-144, 2001 г.
- [2] М. Максимов, И. Димитрова, Физика и астрономия за 9 клас – при интензивно изучаване на чужд език, стр. 34-35, 2024 г.
- [3] Е. Златкова, Г. Дянков, К. Янакиева, Физика и астрономия за 9 клас – при интензивно изучаване на чужд език, стр. 160-161, 2024 г.
- [4] <https://matplotlib.org/> (посетен на 21.02.2025)
- [5] <https://phet.colorado.edu/> (посетен на 21.02.2025)

„Завод за оптика“ АД

Дизайн на метално покритие

„Завод за оптика“ АД е международна оптична компания, съсредоточена върху производство на прецизни и висококачествени оптични компоненти и опто-механични продукти по спецификация на клиента. Предприятието предлага на своите клиенти дизайн и инженеринг на оптични продукти и системи и доставка на оптични елементи. Производството се базира на доказано оборудване, напреднали оптични технологии и опит от 1971 г. насам и се управлява от интегрирана система за контрол и управление на качеството.

Оптичното покритие е важна технология в областта на оптичното производство. Отнася се до нанасяне на тънки слоеве от различни материали върху оптични елементи, за да подобри техните свойства. Основната цел на оптичното покритие е да контролира взаимодействието между светлината и оптичните компоненти са от съществено значение за намаляване на нежеланите отражения, увеличаване на количеството светлина преминаваща през повърхността и други. Антирефлексните покрития са едни от най-разпространените видове оптични покрития, използвани за намаляване на повърхностното отражение и отблясъци.



Оптичните покрития са внимателно проектирани, за да отговарят на точните спецификации, изисквани за оптичните системи. Силно отразяващите метални покрития са от съществено значение за производството на отразяващи телескопни огледала за постигане на най-висока отразяваща способност, с широка спектрална честотна лента. Сред металните материали, подобрените покрития на основата на сребро, могат да осигурят по-висока отразяваща способност в спектралния диапазон от 400nm до 900nm.

За съжаление в обкръжаващата среда има молекули на водни пари, азотни оксиди, серен диоксид и др., които водят до влошаване на качеството на филма получен само от сребро.

Чистото сребро потъмнява във въздуха-дължи се главно на реакцията на сероводорода във въздуха със среброто и образуване на сребърен сулфид, който абсорбира светлина във видимата област.

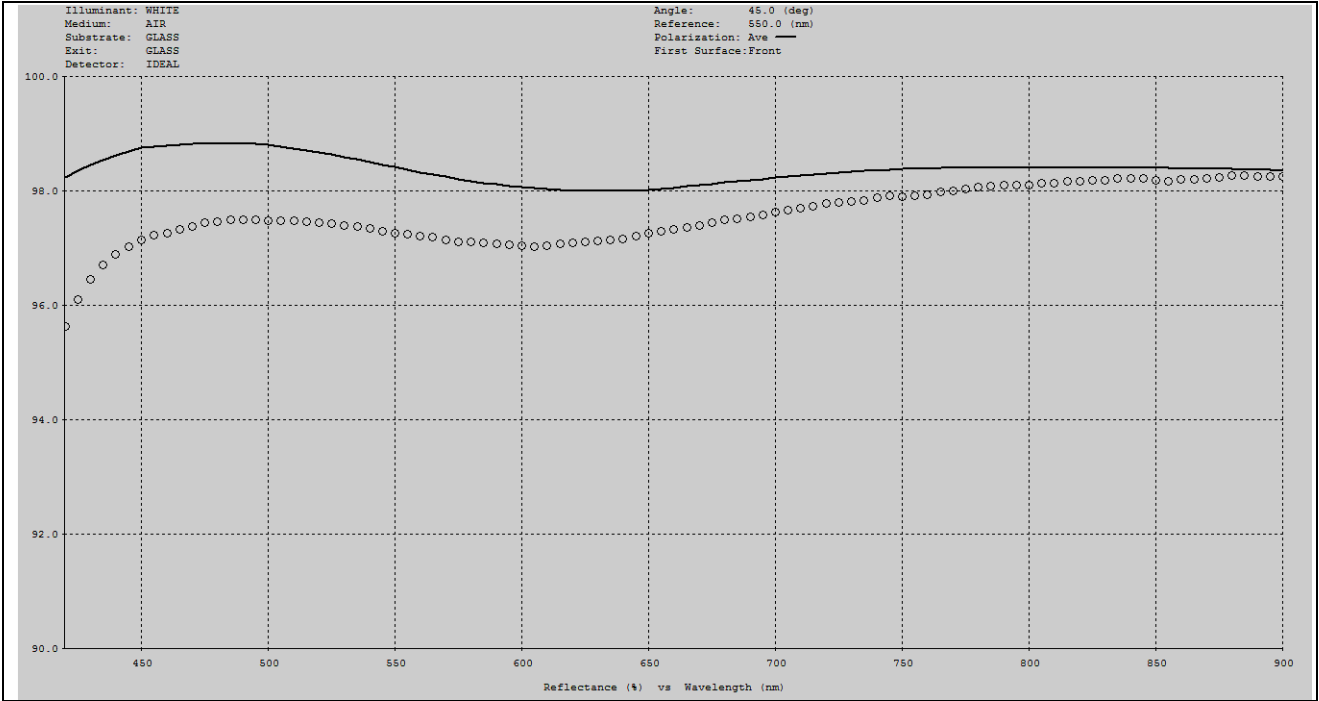
Добавянето на допълнителни адхезионни слоеве между среброто и субстрата и защитни слоеве върху среброто, ще доведе до получаване на здраво покритие и подобряване на отражателната способност на среброто в синия спектър.

Дизайнът и начина на конструиране на покритието се проектира след серия опити, за да се постигне съгласуваност между моделирането и експерименталните резултати. Чрез изследване на оптичните индекси на пречупване на материалите и накрая дебелините бяха проектирани и подпомогнати от софтуер за конструиране на оптичен тънък филм.

Дебелината на сребърния слой се определя експериментално, след измерване на отражателната способност. При дебелина под 100 nm отражателната способност намалява, освен това тънките сребърни филми са силно абсорбиращи във видимата област. Добавянето на тънък слой от алуминиев оксид между субстрата и среброто подобрява адхезията на сребърния слой.

За увеличаване на отражателната способност на среброто се добавят защитни диелектрични слоеве. Колкото е по-голяма разликата между двата индекса на пречупване на материалите, толкова е по-голяма отражателната способност.

От графиката се вижда разликата между теоретично проектирано покритие (черна непрекъсната линия) и действително полученото.



Авторски указател

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

Ангелов Виктор, студент, ЕИС, ФЕТТ, Технически Университет – София

Андреева Росица, гл. ас., д-р, КПФ, ФПМИ, Технически Университет – София

Бучков Кръстьо, доц. д-р, ИФТТ-БАН

Ганчева Габриела, студент, ФТ, Технически Университет – София

Карлов Любомир, студент, ТК, ФТК, Технически Университет – София

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

Кожухарова Невена, гл. ас., д-р, КПФ, ФПМИ, Технически Университет –
София

Маринкова Любов, гл. ас., д-р, КПФ, ФПМИ, Технически Университет –
София

Пелова Гергана, студент, ПМИ, Технически Университет – София

Петров Емил, студент, ФТ, Технически Университет – София

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

Терзиева Станимира, гл. ас., д-р, КПФ, ФПМИ, Технически Университет –
София

Търнев Христо, доц. д-р, КПФ, ФПМИ, Технически Университет – София

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

ПРОГРАМА НА ДНИ НА ФИЗИКАТА 2025г.**10.04. четвъртък**

Доклад	Автор(-и)	Час
„Квантовата Механика като динамична и статистическа теория едновременно“	Проф. д-р Иван Копринков, КПФ	16:00
„Квантови изчисления – новата технологична реалност: теория на всичко или теория на нищото“	доц. д-р Десислава Иванова, ФПМИ	16:20
„Методите Монте Карло: как да решаваме задачи със случайни числа“	доц. дн Христо Търнев, гл. ас. д-р Росица Андреева, КПФ	16:40
„Квантовата механика и възходът на полупроводниковата ера“	Проф. дн Сашка Александрова, КПФ	17:00
Демонстрации	гл. ас. инж. Любомир Георгиев, КПФ	17:20
„Инвестиции и развитие на свръхпроводниците: Път към един устойчив свят“	гл. ас. д-р Станимира Терзиева, КПФ, Кръстьо Бучков, ИФТТ-БАН,	18:00
„Предизвикателства и перспективи за силнотокowi приложения на свръхпроводими материали“	Кръстьо Бучков, ИФТТ-БАН, гл. ас. д-р Станимира Терзиева, КПФ, Любомир Карлов, студент, ТК, ФТК, 2 курс, Виктор Ангелов, студент, ЕИС, ФЕТТ, 2 курс	18:20
Студентска инициатива „Авиационно-космически апарати и инструменти“	Филип Андонов, Боян Радев, студенти, КСИ, ФКСТ	18:50

ПРОГРАМА НА ДНИ НА ФИЗИКАТА 2025г.**11.04. петък**

Доклад	Автор(-и)	Час
„Звездотресения – видове и сила“- популярен	Проф. Бойко Рангелов, Институт за космически изследвания и технологии - БАН.	16:00
„Къде и как се раждат звездите“	гл. ас. д-р Любов Маринкова, КПФ	16:20
„Способностите на черните дупки“	Габриела Ганчева, Емил Петров, АТТ, ТФ, 1 курс	16:40
„За описание на вълновите функции и котката на Шрьодингер“	гл. ас. Невена Кожухарова доц. д-р Елена Халова, КПФ	17:00
„Хайзенберг и принципът за неопределеност в квантовата механика“-популярен	доц. д-р Елена Халова гл. ас. Невена Кожухарова, КПФ	17:20
Демонстрации	гл. ас. инж. Любомир Георгиев, КПФ	17:40

ПРОГРАМА НА ДНИ НА ФИЗИКАТА 2025г.**12.04. събота**

Доклад	Автор(-и)	Час
„Случаят Санторини – сценарии и поуки“-популярен	Проф. Бойко Рангелов, Институт за космически изследвания и технологии – БАН.	10:00
„Квантова революция - история на уравнението на Шрьодингер“	гл. ас. д-р Валентин Копчев, КПФ	10:30
„Термодинамика на флуидните елементи в турбулентен и самогравитиращ газ“	доц. д-р Сава Донков, доц. д-р Иван Стефанов, гл. ас. д-р Валентин Копчев, КПФ	11:00
„Експериментално определяне на индуктивността на соленоид чрез измерване на магнитната индукция“	доц. д-р Тодор Арабаджиев, КПФ	11:30
„Сравнителен анализ на урок по физика и астрономия за IX клас: тема "Хармонично трептение“	Гергана Пелова, магистър ПОМФИ, 1 курс	12:00
Кафе пауза		
„Исторически подход в обучението по физика чрез метода „научно есе“- популярен	гл. ас.д-р Георги Малчев, КПФ	13:30
„Опасности, очакващи самолетите при излитане и кацане“	гл. ас. д-р Радостина Ташева, КПФ	14:00
Закриване		14:30

