



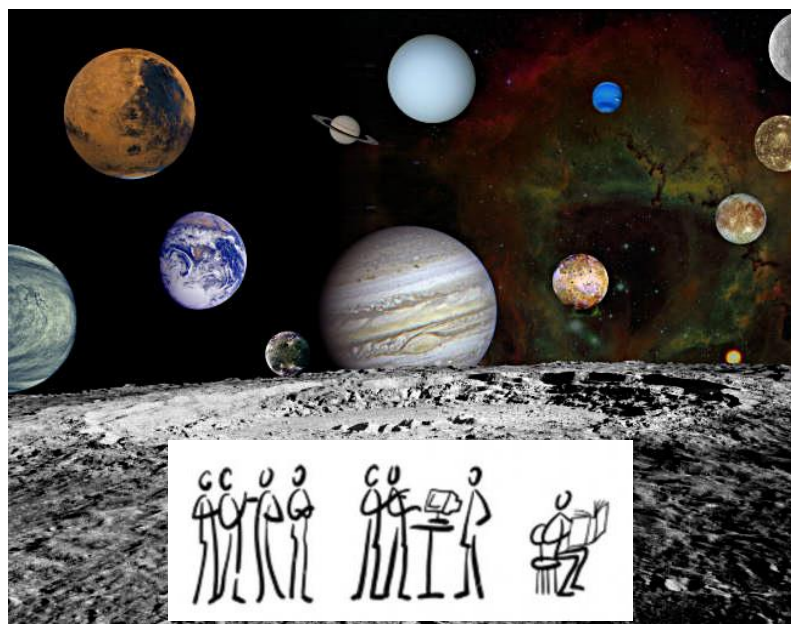
Технически университет София



Катедра Приложна физика

Сборник популярни и научни доклади

**Дни на физиката 2023
Том 15**



София, 6 - 8 Април 2023 г.

Дни на физиката 2023

Сборник популярни и научни доклади

Редактори: Е. Халова
С. Александрова
Н. Кожухарова

ИЗДАТЕЛСТВО НА ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

ISSN 1313-9576

Предговор

Провеждането на „Дни на физиката 2023“ се състоя в рамките на „Дни на науката“ в Технически университет – София и се организира от Катедрата по приложна физика към Факултета по приложна математика и информатика (ФПМИ). Тази година Дните на физиката бяха посветени на Международната година на фундаменталните науки за устойчиво развитие - 01.07.2022 до 30.06.2023 (IYBSSD2022), както беше обявена през 2022 г. в приета от Общото събрание на ООН резолюция. Настоящото издание на „Сборник популярни и научни доклади“ е петнадесети том от поредица, която е включена в електронната база данни на НАЦИД. Сборникът включва доклади, представени на “Дните на физиката”, които се проведеха от 6 до 8 април 2023г..

„Дните на физиката“ се проведеха в традиционния формат в зала на ТУ-София съпроводени с демонстрации на физични експерименти. Преобладаващото мнение на студентите е, че “Дните на физиката” са една добра възможност за придобиване на опит в излагането на научни проблеми и участие в научни дискусии.

Лекторите и тази година бяха студенти, преподаватели и учени от: ТУ–София, МГУ "Св. Иван Рилски" и БАН. Както всяка година докладите бяха посветени на интересни и актуални теми от различни области на тази модерната наука - физиката. Докладите бяха с фундаментален и приложен характер, както и теми от историята на физиката. Пред вид широка и разнообразна аудитория на научния семинар, докладите бяха представени оригинално и увлекателно, разбираемо за всички.

Читателите могат за се запознаят с носителите на Нобеловата награда по физика за 2022г и със странния свят на квантовите системи. Да си отговорят на редица въпроси. Труден ли е за разбиране квантовият свят, къде да търсим частиците в тази странна реалност? Има ли все още въпроси без отговор? Как историята на цивилизацията е свързана с развитието на средствата за въоръжаване? Какво знаем за великия учен Вилхелм Рънтген, откривателя на рентгеновите лъчи? Какви загадки ни представя нашата Вселена? Можем ли да предскажем климатичните промени и заметресениета? И много други.

В последния ден от “Дни на физиката” традиционно бе проведена научната сесия, която даде възможност за среща на учени и преподаватели, участници във форума. Представени и дискутирани бяха проблеми в съвременни научни области. Темите бяха от много различни области на физиката и нейните приложения, както и въпроси, свързани с обучението по физика на студентите от ТУ-София.

Както и в предишни години се проведеха традиционните демонстрации на физични явления и закономерности в зала на ТУ-София по много атрактивен начин от гл. ас. инж. Л. Георгиев и предизвикваха огромен интерес у

студентите и готуващите ученици от София, поради възможността им да се докоснат и обсъждат реални физични експерименти и изследвания.

В края на сборника е представена програмата на проведените „Дните на физиката 2023“. Всички представени статии са рецензирани от учени с познания и авторитет в съответната област.

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

Редакторите на сборника изказват благодарности на всички участници в „Дни на физиката - 2023“, както и на членовете на Организационния комитет и Ръководството на ФПМИ.

Организирането и провеждането на „Дните на физиката 2023“, както и издаването на настоящия сборник са съфинансирани по вътрешния конкурс на ТУ-София 2023 със средства от субсидията за научна дейност. От името на Организационния комитет, на студентите и всички участници изказваме благодарност за финансовата подкрепа на НИС към ТУ-София, а така също и на ФПМИ.

Благодарност и на „Завод за Оптика - АД“ за финансовата подкрепа, която за пореден път позволи представените доклади да бъдат публикувани в поредния том 15 на сборника в Университетското издателство.

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

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

И. Копринков, Нобелови награди по физика, 2022	6
С. Александрова, Как е устроена нашата Вселена	15
Р. Ташева и С. Александрова, Предсказуеми ли са климатичните промени	20
Т. Арабаджиев и И. Узунов, Влакнесто-оптичните комуникационни системи от гледна точка на физичният им фундамент	27
Б. Рангелов, Геофизичното оръжие – истина или лъжа	34
К. Атанасов, Аеродинамичен профил	46
К. Граматиков, Подводни експлозии	52
А. Брежников, И. Пенчева и В. Мурджев, Показване на вектори с „GeoGebra“	60
М. Занева, Метод на вторичното квантуване за бозе система	66
Е. Халова, Геният Вилхелм Рънтген открил рентгеновите лъчи	75

НАУЧНИ ДОКЛАДИ

В. Ranguelov and all, Algorithm for a kinematic early warning system of earthquakes for critical infrastructure	81
И. Копринков, Преразглеждане на квантовия принцип на суперпозицията	91
И. Стефанов и Н. Денев, Алтернативен подход за обработка на експерименталните данни на лабораторното упражнение „Определяне на отношението C_p/C_v по метода на Клемант и Дезорм”	103
Р. Адреева, Паралелизация на PIC/Монте Карло алгоритъм за моделиране на капацитивни разряди	111
И. Кацарска, Повърхностно излъчващ лазер с вертикален резонатор VCSEL	121

Авторски указател	127
Програма на Дните на физиката	128

НОБЕЛОВА НАГРАДА ПО ФИЗИКА 2022**Иван Копринков**

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

Резюме. Представени са основните физични идеи и етапи на тяхната реализация, за което е присъдена Нобеловата награда по физика за 2022 година на Ален Аспе, Джон Клаузър и Антон Цайлингер.

Ключови думи: Нобелова награда, квантови вълнения, неравенство на Бел, експериментални тестове, физическата реалност, нелокалност.

1. Увод

Нобеловите награди се присъждат ежегодно на хора за техния изключителен принос за развитие на човечеството чрез своите научни изследвания, открития и технологии или за забележителните им заслуги за утвърждаване в обществото на висши идеали и ценности в областите физика, химия, литература, мир и медицина или физиология. Нобеловата награда по физика за 2022 година бе присъдена (в тази последователност) на *Ален Аспе* (Alain Aspect, Université Paris-Saclay и École Polytechnique, Palaiseau, France), Джон Клаузър (John Clauser, Walnut Creek, CA, USA) и Антон Цайлингер (Anton Zeilinger, University of Vienna, Austria), "за експерименти с вpletени фотони, установяване на нарушаване на неравенствата на Бел и поставяне на началото на квантовата информатика" [1].



Фиг. 1. Носителите на нобеловата награда по физика за 2022 година, Джон Клаузър, Ален Аспе, Антон Цайлингер

Това високо научно признание може да се разглеждат като заключителен етап от един почти вековен дебат върху същността на квантовата механика. За негово начало може да приеме спора върху тази тема между Айнщайн и Нилс Бор, датиращ от времето на петия Солвеевски конгрес, 1927г, Брюксел. Тезата защитавана от Айнщайн е, че квантовата механика дава вероятности

предсказания в рамките на използвания от нея формализъм, но в рамките на определени, засега неизвестни, и затова наречени "*скрити параметри*", нейните предсказания могат да са напълно определени. Теорията на скритите параметри трябва да отговаря на условията за *локалност* и *реализъм*. Айнщайновото разбиране за локалност е, че взаимодействията се предават от точка към точка в пространството с крайна скорост, ненадвишаваща скоростта на светлината във вакуум. Айнщайновото разбиране за реализъм означава, че физичните величини характеризиращи даден квантов обект имат точно определена стойност, която не зависи от това дали върху него се извършва измерване или не. Точно противоположно е мнението на Н. Бор, съгласно който, квантовата механика е съществено вероятностна теория, физичните величини нямат определена стойност преди измерването и получават такава при самото измерване.

Съществен етап в този дебат представлява работата на Айнщайн, Подолски и Розен [2], чиято цел е да се покаже, че квантовата механика е непълна теория, като ограниченията които тя налага върху строгото динамично описание могат да бъдат заобиколени в термините на определени *скрити параметри*.

Ключово значение за изясняване на природата на квантовите явления има работата на Джон Бел [3]. На базата на изведеното от него *неравенство на Бел*, предсказанията на квантовата механика и теорията на скритите параметри могат да бъдат различени количествено и проверени експериментално.

Първият реален експеримент за проверка на теорията на скритите параметри и квантовата механика е предложен от Джон Клаузър и съавтори през 1969г. [4], а през 1972г. екипът на Джон Клаузър за пръв път наблюдава експериментално нарушаване на неравенството на Бел [5]. В постановката на експериментите обаче остават открити определени въпроси, тъй наречените "*вратички*", които поставят под съмнение еднозначните изводи от тях. През 1982г. *Ален Аспе* и съавтори потвърждават експериментално нарушаването на неравенството на Бел, като елиминират "*вратичката*" за локалност, осигурявайки времето за измерване да е по-кратко от времето за предаване на светлинен сигнал между мястото на измерване на двата вплетени фотона [6]. През 1998г. групата на Антон Цайлингер [7] за пръв път демонстрира нарушаването на неравенството на Бел изпълнявайки стриктно условието за локалност при напълно независими измервания върху параметрите на двата вплетени фотона. С това се утвърждава разбирането, че физическата реалност се подчинява на квантовата механика, а не теорията на скритите параметри в нейния локално реалистичен вариант, предложен от Айнщайн. Освен това, групата на Антон Цайлингер демонстрира експериментално съществуване на явлениято квантова телепортация.

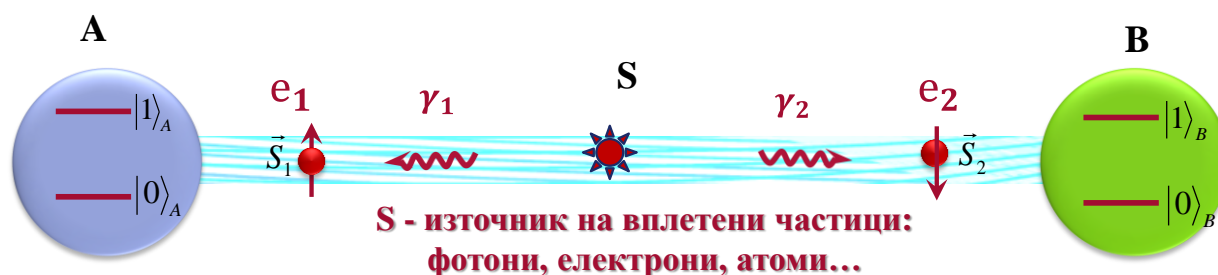
Научните изследвания на *Ален Аспе*, Джон Клаузър, Антон Цайлингер имат не само фундаментално значение за изясняване на природата на квантовите явления, но въвеждат напълно нови технологии като квантовата информатика, квантови компютри, квантова криптография, квантова телепортация и др.

2. Развитие на физическите идеи за същността на квантовите явления

В този раздел ще бъдат разгледани по-подробно етапите на развитие на проблема за същността на квантовите явления.

2.1 Пълнота на квантовата механика, скрити параметри, вплетени състояния.

Вероятностният характер на предсказанията на квантовата механика дават основание на редица физици, сред които и Айнщайн, да поставят въпроса за нейната пълнота. В знаменитата си статия Айнщайн, Подолски и Розен [2] предлагат мислен експеримент и анализ, целящ да се покаже, че квантовата механика е непълна теория, но в рамките на определени *скрити параметри*, поведението и параметрите на квантовите обекти могат да бъдат предсказани точно. Мисленият експеримент разглежда система от две контактни в началото частици, които след разделяне си и отдалечаване една от друга продължават да формират система, за която са в сила законите за запазване независимо от разстоянието между тях. Измерването на параметрите на едната частица "моментално" повлиява на резултата от измерването на другата частица, независимо че за времето на измерване никакъв сигнал разпространяващ се със светлинна скорост не може да се предаде между двете частици - "*парадокс на Айнщайн, Подолски, Розен*". Подобно предаване на взаимодействието със свръхсветлинна скорост противоречи на принципите на специалната теория на относителността, нарушавайки принципа за локалност, и Айнщайн го нарича *призрачно действие от разстояние* ("*spooky action at a distance*"). Това представлява един от аргументите на Айнщайн срещу квантовата механика.



Фиг. 2. Вплетена квантова система с две състояния/нива.

Такива системи от частици са наречени по-късно *вплетените квантови системи*, а свързаните с тях квантови състояния се наричат *вплетени квантови състояния*. Вплетените квантови системи притежават следните свойства:

◆ Това е система от частици, която е създадена и съществува като единно цяло и за която законите за запазване са в сила за системата като цяло.

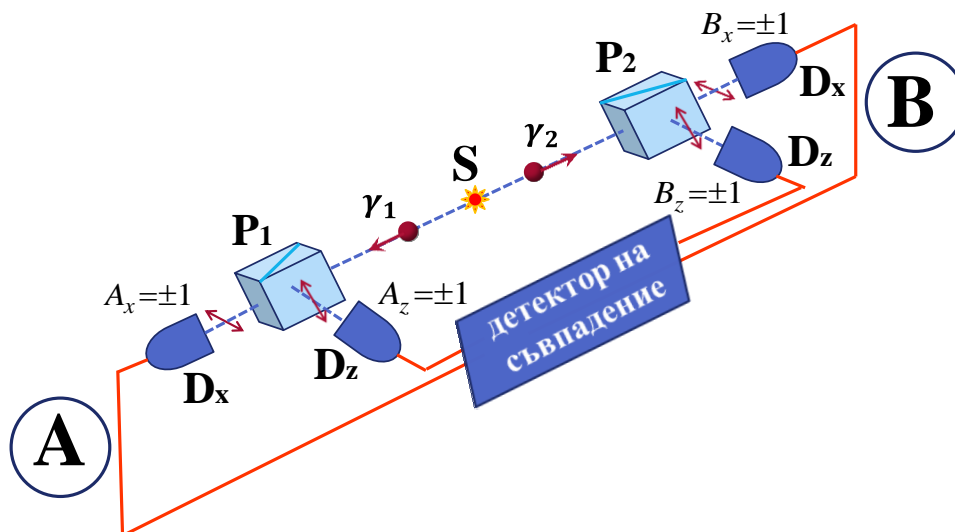
◆ Частите на системата не могат да се описват независимо една от друга, а са взаимно *корелирани*.

◆ Състоянието на вpletената системата е сума от произведение от съответните състояния на подсистемите (частите, частиците) на системата.

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

2.2 Неравенства на Бел

Ключова роля в изясняване на същността на квантовата механика има ирландският физик Джон Бел. Бел показва [3], че предсказанията на теорията на скритите параметри и тези на квантовата механика могат да бъдат количествено разграничени и това подлежи на експериментална проверка. Една примерна схема на фиг.3 илюстрира извода и тестването на неравенството на Бел. Два вpletени кръгово поляризирани фотона γ_1 и γ_2 попадат върху двуканални поляризатори P_1 и P_2 на две измерителни станции (експериментатори) А и В. Кръговата поляризация може да се разглежда като суперпозиция от две взаимно перпендикулярни (подходящо дефазирани) линейни поляризации. Когато такъв фотон попадне върху някой от поляризаторите, той или изцяло преминава (примерно, с хоризонтална поляризация) или изцяло се отразява (примерно, с вертикална поляризация, при така избраната позиция на поляризаторите, фиг.3) и се регистрира от съответния детектор D_x или D_z . Подобно е поведението и на другия вpletен фотон. При други реализации, ориентацията на поляризаторите може да се върти по произволен начин от експериментаторите А и В. За да се



Фиг. 3. Примерна схема за тестване на неравенството на Бел.

детектират само вплетени (а не и случайни) фотони, отчитат се само резултати в рамките на определено време на съвпадение. Тъй като имаме бинарни величини ("детектира се фотон" или "не се детектира фотон" от даден изход), то резултатите от детекция може формално да се означат като $A_x=\pm 1$, $A_z=\pm 1$, $B_x=\pm 1$, $B_z=\pm 1$, фиг.3. Приемайки една определена комбинация (не единствена) от бинарните величини и усреднявайки по голям брой измервания, за тази усреднена комбинация, при хипотеза за *валидност на локално-реалистичната теория на скритите параметри*, се получава следната гранична (отгоре) стойност:

$$S \equiv [\langle A_x B_x \rangle + \langle A_x B_z \rangle + \langle A_z B_x \rangle - \langle A_z B_z \rangle] < 2 \quad (1)$$

Горното съотношение представлява един вариант на неравенството на Бел, известно като неравенство на Clauser, Horne, Shimony, Holt (CHSH), или още неравенство CHSH-Bell.

Същата величина, усреднена от голям брой измервания, при хипотезата за *валидност на квантовата механика* дава следната гранична стойност:

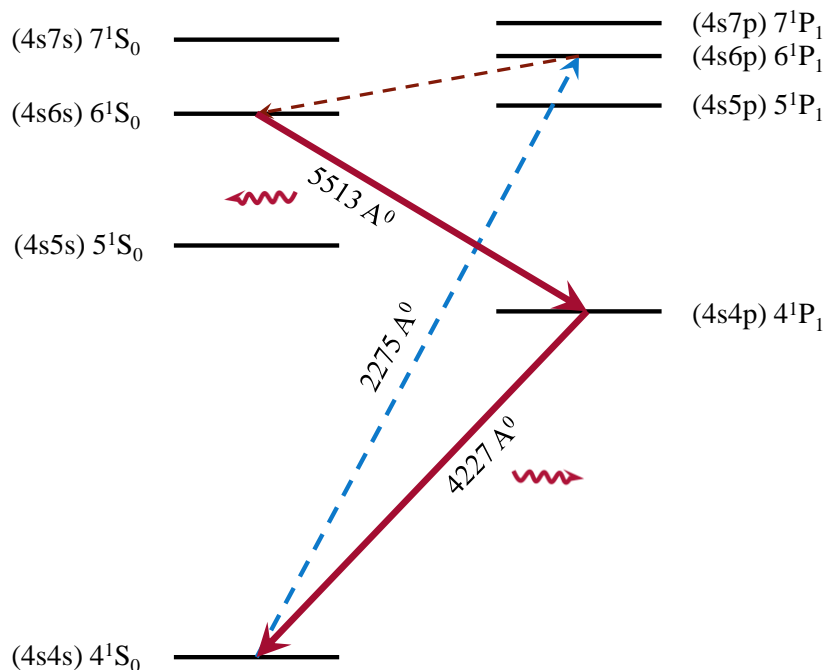
$$S < 2\sqrt{2} \quad (2)$$

Известни са редица варианти на неравенството на Бел, Бел-тип неравенства. Изобщо, неравенствата на Бел се изпълняват ако е в сила локално-реалистичната теория на скритите параметри и се нарушават ако е в сила квантовата механика. Неравенствата на Бел имат абстрактен смисъл и не са свързани с конкретна локално-реалистичната теория на скритите параметри.

2.3 Експериментална проверка на неравенствата на Бел

Експерименти на Джон Клаузър и съавтори

Джон Клаузер и съавтори предлагат реалистичен експеримент [5] за тестване на неравенството на Бел. За създаване на вплетени състояния се използва двустъпален каскаден преход в калциев атом. Сноп от калциеви атоми се възбужда от основно ниво 4^1S_0 на високо лежащо ниво 6^1P_1 с лъчение от деутериева лампа на дължина на вълната 2275\AA^0 и след междинен преход (показани с пунктирани стрелки на фиг.4) се заселва горното ниво 6^1S_0 на каскадния преход. От него тръгват каскадните преходи $6^1S_0-4^1P_1$ и $4^1P_1-4^1S_0$ (показани с непрекъснати стрелки на фиг.4), които излъчват фотони на дължина на вълната 5513\AA^0 и 4227\AA^0 , съответно. Тези фотони се излъчват последователно в рамките на даден каскаден преход и се считат вплетени и корелирани. От законите за запазване на момента на импулса следва, че тези два фотона имат противоположна кръгова поляризация, дясна и лява. Този с



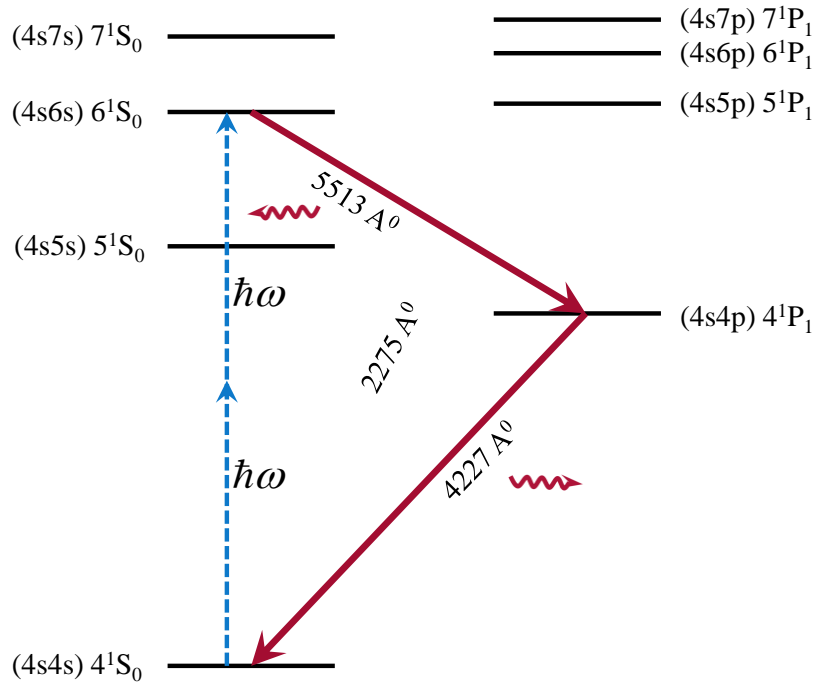
Фиг. 4. Вплетени фотони се генерират от двустъпален каскаден преход в калциев атом (непрекъснатите стрелки) при възбуждане с фотони на 2275A° (пунктираната стрелка) излъчен от деутериева лампа.

дясна поляризация има ориентация на спина по посоката на импулса, а този с лява поляризация има ориентация на спина обратна на посоката на импулса. Двата каскадни фотона са вплетени по поляризация. Клаузер и съавтори за пръв път показват експериментално нарушаване на неравенството на Бел.

Експерименти на Ален Аспе и съавтори

При експериментите на Ален Аспе вплетени състояния се създават посредством същия каскаден преход в калциев атом, както при експериментите на Джон Клаузер. Разликата е, че горното ниво на този каскаден преход се възбужда чрез двуфотонно поглъщане (показан с пунктирани стрелки) от основното ниво 4^1S_0 директно на горното ниво 6^1S_0 . От него тръгват каскадните преходи $6^1S_0-4^1P_1$ и $4^1P_1-4^1S_0$ (показани с непрекъснати стрелки на фиг.5).

При експериментите на Джон Клаузер остават отворени някои "вратички", които правят дискуссионни заключенията от тях. Ален Аспе и съавтори поставят експеримент, с който да затворят вратичката "локалност". В модифицирана експериментална схема те пренасочват фотоните към поляризаторите така, че пренасочените вече фотони не могат да обменят информация (взаимодействие) за времето за което достигат до детекторите. Това се прави с периодично синусоидално превключване и пренасочване на вплетените фотони към поляризатори с различна ориентация. Такова превключване обаче е предвидимо и би могло по принцип да повлияе на независимостта на измерванията.

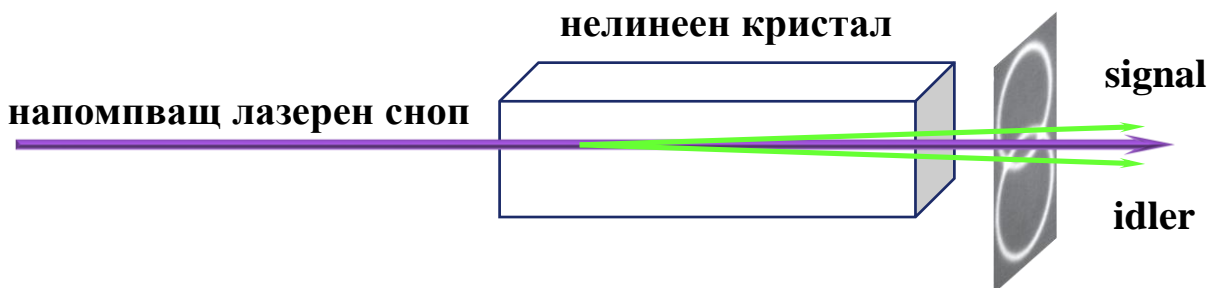


Фиг. 5. Вплетени фотони се генерират от двустъпален каскаден преход в калциев атом (непрекъснатите стрелки) при двуфотонно възбуждане (пунктирните стрелки) на горното ниво на каскадния преход.

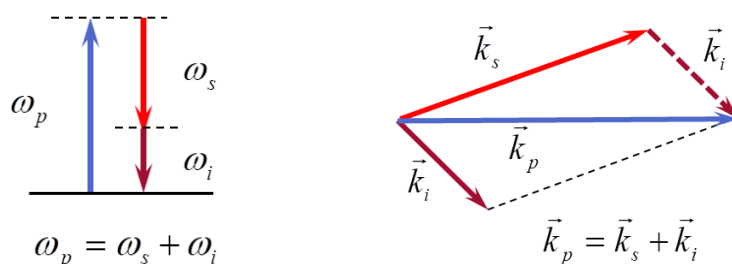
Експериментите на Алан Аспе и съавтори също потвърждават нарушаване на неравенството на Бел.

Експерименти на Антон Цайлингер и съавтори

При експериментите на Антон Цайлингер, вплетени квантови състояния се създават чрез трифотонна параметрична генерация в нелинеен кристал, фиг.6. Това е процес при който един лазерен фотон се унищожава и едновременно с това се раждат други два фотона, сигнален и "халостен" (idler). Процесът се подчиняват на законите за запазване на енергията и импулса, представени на фиг.7 чрез честотата ω и вълновият вектор \vec{k} на фотоните. Двата фотона са вплетени по поляризация.



Фиг. 6. Генерация на вплетени фотони чрез спонтанна трифотонна параметрична генерация (spontaneous parametric down conversion)



Фиг. 7. Графично представяне на законите за запазване на енергията (а) и импулса (б) при трифотонна параметрична генерация

Групата на Антон Цайлингер за пръв път потвърждава нарушаването на неравенството на Бел при стриктно елиминиране на "вратичката" локалност [7]. При подобен на Алан Аспе подход, те превключват поляризаторите по статистически случаен начин, така че за времето на прелитане на фотоните до детекторите двата фотона не могат да обменят информация (взаимодействие) помежду си, разпространяваща се със скорост ненадвишаваща тази на светлинна. За целта двете измервателни станции са на разстояние 400 метра една от друга, а вплетените фотони достигат до тях по оптични влакна. С последното се поставя началото на създаването на квантовите мрежи. Антон Цайлингер и съавтори за пръв път демонстрират експериментално съществуването на явлението *квантова телепортация*. То е свързано с възможността за предаване на квантово състояние (но не и на материя!) на разстояние. Един от вариантите на квантовата телепортация се изразява в следното: частици 1 и 2 са вплетени и се отдалечават в противоположни посоки, като, впоследствие, частица 2 се вплита с трета частица 3. Тогава, частицата 3 може да предаде вплетения параметър на частица 1, без те някога да са имали контакт и без възможност за конвенционално физическо взаимодействие.

3. Теорема на Бел

От направените експерименти може да се формулира следната *теорема на Бел*: *никая локално реалистична теория на скритите параметри не може да възпроизведе предсказанията на квантовата механика, като последните се съгласуват с експеримента.*

4. Заключение

Изследванията върху вплетените квантови състояния налагат разбирането за нелокалния характер на физическата реалност и може да се формулира следното заключение:

♦ *Физическата реалност е нелокална и се описва от квантовата механика.*

Тези изследвания, обаче, не изключват възможността за нелокална теория на скритите параметри и можем да формулираме още и следното заключение:

◆ *Физическата реалност е нелокална и се описва от нелокална теория на скритите параметри.*

Окончателният извод за истинската същност на физическата реалност е въпрос адресиран към бъдещето.

Експериментите по проверка на неравенството на Бел имат не само фундаментално значение за физиката, но и отварят пътя за нови квантови технологии като: квантова информатика, квантови мрежи, квантова криптиране, квантови компютри, квантова телепортация и др. Въпреки, че не е известно какъв механизъм стои зад нелокалността на квантовите явления, свързаните с това квантови технологии работят успешно и разкриват широки перспективи за тяхното реално приложение. От друга страна, тези експерименти повдигат нови фундаментални въпроси касаещи механизма на предаване на взаимодействие или информация между квантовите обекти, отношението на тези резултати към специалната теория на относителността и др.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] The Nobel Prize in Physics 2022, Press release, NobelPrize.org.
- [2] A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen, Phys. Rev., **47**, 777 (1935)
- [3] J. S. Bell, Physics, **1**, 195 (1964)
- [4] J.F. Clauser, M.A. Horne, A. Shimony and R.A. Holt, Phys. Rev. Lett. 23, 880 (1969)
- [5] S.J. Freedman and J.F. Clauser, Phys. Rev. Lett. 28, 938 (1972).
- [6] A. Aspect, J. Dalibard and G. Roger, Phys. Rev. Lett. 49, 1804 (1982)
- [7] G. Weihs, T. Jennewein, C. Simon, H. Weinfurter and A. Zeilinger, Phys. Rev. Lett. 81, 5039 (1998)

КАК Е УСТРОЕНА НАШАТА ВСЕЛЕНА

Сашка Александрова

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

***Резюме.** В настоящата статия се разглеждат подходите към изучаването на строежа на нашата Вселена. Чрез редукионизма достигаем до най-малките градивни елементи. Но достатъчно ли е това за получаване на общата картина на Вселената? Според привържениците на антиредукионизма науката има йерархична структура и всяко ниво се характеризира със собствени закони.*

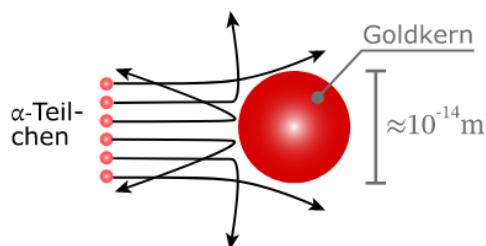
Ключови думи: редукионизъм, възникване, материя.

1. Увод

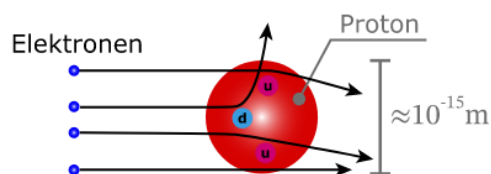
Още от зората на човечеството хората са искали да опознаят заобикалящата ги природа. Древногръцките философи ни предоставят картина на Вселената времена въз основа на наблюдения, разсъждения и мисловни конструкции, някои от които звучат съвсем съвременно. Един от тях, когото тачим и досега – Демокрит – предполага, че има много светове, като някои във възход, а други се разпадат; някои са без слънце или луна, други с по няколко. Той смята, че всеки свят има начало и край и че един свят може да бъде унищожен от сблъсък с друг свят. Всичко се състои от малки частици, които нарича „атоми“, които са неделими и неразрушими и винаги движение. Тези идеи са развити по-нататък от модерната наука на основа на прилагане на научния подход чрез експерименти и формиране на научни теории.

2. Редукионизмът, като подход за изучаване на природата

Как си е представял Демокрит атомите? Разсъждавал е, че ако вземем например един камък и се опитаме да го разрушим на по-малки парченца, ще достигнем до най-малките, които не могат да се делят по-нататък – атоми, от “ἄτομος” (атомос): $\acute{\alpha}$ - (отрицателна частица “не”) и $\tau\acute{\epsilon}\mu\nu\omega$ (“режа”). С течение на времето учените намериха начини да продължат процеса на разделяне чрез опити по разсейване, насочвайки високоенергични частици към изследвана мишена (фиг. 1). Към началото на ХХ-ти век става ясно, че атомите всъщност не са неделими – те могат да бъдат разделени на още по-малки единици, наречени субатомни частици – електрони, протони и неутрони, като кварките остават най-малките градивни елементи на материята (фиг. 2).

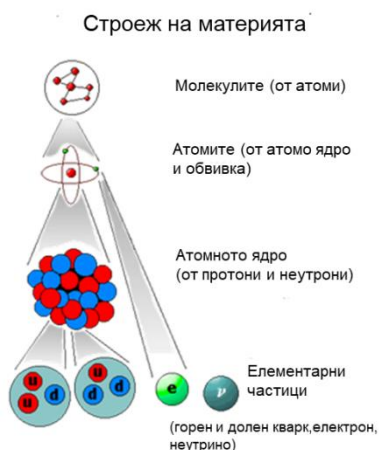


Фиг. 1. а. Разсейване на алфа-частици от ядро на златен атом



Фиг. 1. б. Разсейване на електрони от кварките на протона

Понастоящем стандартният модел на физиката на елементарните частици с три поколения кварки и фермиони и векторните полета, свързани с калибровъчните групи, са най-фундаменталните съставни части на материята, които познаваме.



Фиг. 2. Градивни частици на материята

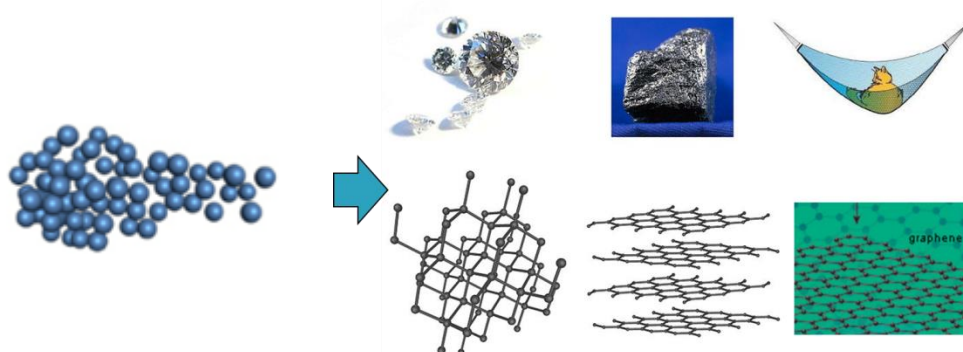


Bausteine. Aus: www.badener-auktionshaus.de (18.3.2007)

Фиг. 3. Вселената като лего игра

Можем ли да използваме тези известни градивни частици, подобно на лего кубчета, да сглобим всичко във вселената (фиг. 3)? Оpozнaването на света във физиката на елементарните частици се основава на така наречения редуционизъм. Според него като традиционен подход във физиката, се разглеждат най-простите системи и да се изучават в най-големи подробности. Този подход се фокусира върху елементарните градивни елементи, които изграждат материята. Тогава възниква въпросът как макроскопичното поведение възниква от микроскопичните свойства. Така на пример как можем да си обясним твърде различните свойства на графита, диаманта и графена (фиг. 4), след като знаем, че всички те са съставени от въглеродни атоми, чиито свойства са добре известни?

По-общо погледнато редукионизмът е философска или научна доктрина, съгласно която една система се определя изцяло от нейните отделни компоненти („елементи“). Това означава пълна проследимост на теориите до наблюденията,



Фиг. 4. Въглеродни атоми (ляво) и трите алотропни форми – диамант, графит и графен.

на концепциите към нещата или на законовите взаимовръзки с причинно-детерминистичните събития.

Развитието на физиката в средата на ХХ век води до появата и развитието на нов раздел във физиката – физиката на кондензираната материя, в основата на която стои взаимодействието на градивните елементи и колективните им свойства. Така можем да разберем поставеният въпрос за различните свойства на алотропните форми на въглерода от фиг. 4.

3. Антиредукионизъм

Основна роля за развитието на физиката на кондензираната материя изиграва Филип Андерсън, носител на Нобелова награда заедно със сър Невил Мот и Джон ван Флек за 1977 г. „за фундаментални теоретични изследвания на електронната структура на магнитни и неподредени системи“. Ф. Андерсън публикува през 1972 г. в Science статия с интригуващото и трудно преводимо заглавие „More is Different: Broken symmetry and the nature of the hierarchical structure of science“. Първата част на заглавието („More is Different“ е перифраза на „More is Better“ – рекламен израз по онова време) означава, че свързването на множеството градивни елементи води до нови свойства на цялата система, които не са просто сума от свойствата на отделните елементи. При този антиредукионистичен подход се стига и до йерархичната структура на науката (Табл. 1). Йерархията на науките не означава, че наука X се базира само на наука Y. Така например не можем да сведем молекулярната биология просто до химия или да разберем социалните явления на базата на психологията. На всяко ниво са необходими изцяло нови закони, концепции и обобщения. Появяващите

се свойства или вещества възникват от по-фундаментални същности и въпреки това са нови или не могат да се редуцират по отношение на тях. Така се стига до идеите за възникване (emergence). Способността да се сведе всичко до прости фундаментални закони, не предполага способността започвайки от тези закони, да се реконструира вселената.

Таблица 1. *Йерархия на науките*

Наука X	Наука Y
Физиката на твърдите тела и на многочастичните системи	Физика на елементарните частици
Химията	Физика на многочастичните системи
Молекулярната биология	Химия
Клетъчната биология	Молекулярна биология
*	*
*	*
*	*
Психологията	Физиология
Социалните науки	Психология

Сред физиците отдавна възниква въпросът за обясняване и разбиране на процесите в живите организми на базата на физичните и химичните закони. През 1944 г. Ервин Шрьодингер, носител на Нобелова награда по физика за 1933 г., публикува книгата „Какво е животът?“. През 2018 г. тя се появи и на български език. Книгата се базира на лекциите му в Тринити Колидж. В нея той стига до заключението, че живата материя, въпреки че не заобикаля законите на физиката, вероятно включва и други закони, които формират неразделна част от нейната наука. Андерсън е съгласен с Шрьодингер, че живата материя се подчинява на законите на физиката.

Функционирането на цялата жива и нежива материя, за която имаме повече или по-малко подробни познания, се управлява от един и същ набор от фундаментални закони на физиката. Представата на Андерсън за възникването е достатъчно радикална, така че включва изрично редуционизма. Проблемът е, че този аргумент за фундаменталност се използва десетилетия, за да се повиши престижът на физиците на високи енергии и да се оправдаят големите претенции за искане на държавни средства за планиране, изграждане и поддръжка на големите ускорители на частици, необходими за тяхната работа.

Останалите научни области като физиката на кондензираната материя често не получават толкова внимание и се оказват в по-неблагоприятни условия, а на тяхната база е изградена цялата съвременна информационна система. Активната позиция на Андерсън представлява предупреждение за увлечението по редукционизма.

4. Заключение

Редукционисткият подход означава описание на едно сложно явление на базата на неговите прости или фундаментални съставни части. От физична гледна точка това означава, че всичко съществуващо в природата, трябва да съответства на известните свойства на елементарните частици. Поведението на сложни системи от много частици обаче не може по никакъв начин да бъде извлечено от законите на физиката на елементарните частици. За напредъка на науката са важни както редукционизмът, така и концепцията за възникването.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] P. W. Anderson, *Science*, **177**, 393, 1972
- [2] A. Zangwill, *Physics Today*, **75**, 28, 2022; doi: 10.1063/PT.3.4960
- [3] D. Gentile, <http://dx.doi.org/10.1063/1.2195298>
- [4]<https://www.leifiphysik.de/kern-teilchenphysik/kernphysik-grundlagen/grundwissen/streuexperiment>
- [5]<https://www.yumpu.com/de/document/read/2101448/bald-higgs-suche-am-lhc-desy>

ПРЕДСКАЗУЕМИ ЛИ СА КЛИМАТИЧНИТЕ ПРОМЕНИ- НОБЕЛОВИ НАГРАДИ ПО ФИЗИКА 2021

Радостина Ташева и Сашка Александрова

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

***Резюме:** Разгледани са Нобеловине награди по физика за 2021 година и приносите на Джордо Паризи, Сакуро Манабе и Клаус Населман.*

***Abstract:** Nobel prizes for 2020 in physics are under consideration and contributions of Sucuro Manabe and Klaus Haselman are discussed.*

Ключови думи: сложни системи, климат, време, парников ефект

Нобеловата награда по физика за 2021 година е поделена между трима лаурети и е свързана с техните изследвания за моделиране на хаотични и случайни явления. Сюкуро Манабе и Клаус Хаселман полагат основите на разбирането за климата на Земята и влиянието на човешката дейност върху него. Те получават половината от Нобеловата награда по физика за 2021 година за „Физично моделиране на климата на Земята, количествено определяне на изменчивостта и надеждно прогнозиране на глобалното затопляне“. Джордо Паризи е награден за неговия революционен принос към теорията на хаоса и случайните процеси. Той получава своята част от наградата за „Откриване на безпорядъка и флукуациите във физичните системи от атомни до планетарни мащаби“. Двете части на наградата за 2021г, на пръв поглед толкова различни, са обединени от техния фокус върху изследването на безпорядъка и флукуациите в сложни системи.

Сюкуро Манабе е японско-американски метеоролог, специализирал в областта на климатологията. Роден е на 21 септември 1931 година в Шингу, префектура Ехиме, Япония. Защитава докторантура в Токийския университет през 1958 година и заминава за САЩ, за да работи в лабораторията по геофизична флуидна динамика на Националната агенция на океанските и атмосферни изследвания до 1997 година. От 1997 година до 2001 година работи като директор на Отдела за изследване на глобалното затопляне в Япония. През 2002 година се завръща в САЩ като гостуващ научен сътрудник по Програмата за атмосферни и океански науки на Пристънския университет

Сюкуро Манабе демонстрира как повишените нива на въглероден диоксид водят до увеличаване на температурата на повърхността на Земята. През 1960 година той започва разработване на физични модели на климата на Земята и е първия който разглежда връзката между радиационния баланс и вертикалното движение (конвекцията) на въздушни маси. Неговата работа създава основата на съвременните модели на климата.

Няколко години след първите работи на Манабе Клаус Населман създава модел който свързва времето и климата и отговаря на въпроса защо климатичните модели са надеждни, независимо че времето е променливо и хаотично. Клаус Населман е роден на 25 октомври 1931 година в Хамбург в семейство на журналист-социалдемократ, който през 1934-1948 година живее като политически емигрант в Англия. След завръщането си в Германия Хаселман завършва през 1955 година физика и математика в Хамбургския университет, а през 1957 година защитава докторат по физика в Гьотингенския университет. Работи в Хамбургския университет (1957-1961, 1966-1975) и Калифорнийския университет – Сан Диего (1961-1961). През 1975 година основава Института за метеорология „Макс Планк“, който оглавява до 1999 година. Известен е със своя модел на климатичните промени, обясняващ така наречения „червен шум“ в климатичните данни.

Преди около 200 години френския физик Жозеф Фурие изследва радиационния баланс между пристигащата към земната повърхност слънчева радиация и трансформираната и преизлъчена от Земята обратно към атмосферата радиация, която той нарича „тъмна топлина“. Тази топлина се абсорбира от атмосферата и води до нейното нагриване. Ефектът носи названието „парников ефект“, защото атмосферните газове играят ролята на стъклото на парника, което задържа топлината вътре в него. Естествено, процесите са доста по-сложни и за обяснението на влиянието на парниковия ефект върху времето и климата са разработени редица модели.

Метеорологичното време представлява комплексът от атмосферните явления и стойностите на метеорологичните елементи за кратък период от време над конкретен район. Метеорологичните елементи са величините които характеризират физичното състояние на атмосферата – температура, атмосферно налягане, плътност, влажност, вятър. Атмосферните явления създават качествена представа за състоянието на атмосферата. Климат е получената по многогодишни стандартни наблюдения представа за най-вероятното състояние на времето, характерно за даден район и определен период от годината и изразена чрез метеорологични елементи и явления. За характеристики на климата се използват средните месечни, сезонни или годишни стойности на метеорологичните елементи, изчислени по данните от регулярните наблюдения в конкретния район за период от 30 години. Следователно прогнозата за месец април например няма да ни каже какво ще бъде времето в определен ден от месеца, ще ни насочи какви температури и средни валежи да очакваме.

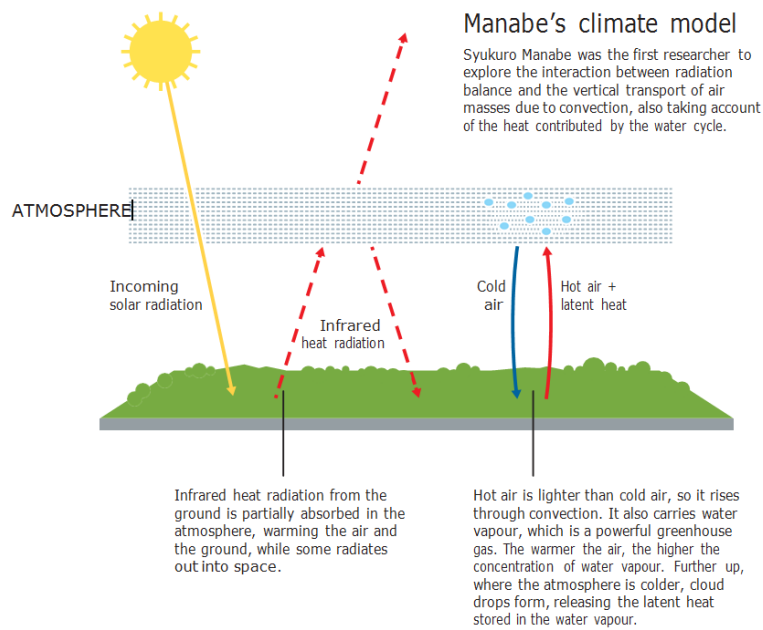
Парниковия ефект е съществен за живота на Земята защото от него зависи температурата на атмосферата. Парниковите газове – въглероден диоксид, метан, водни пари и др. първо поглъщат инфрачервената земна радиация и след това я излъчват, затопляйки атмосферата и земната повърхност. Те са малък процент от атмосферните газове – въглеродния диоксид е само 0,04%, Водната пара е най-мощния парников газ, но нейното количество освен е променливо и не е възможно да

бъде контролирано, за разлика от количеството на въглеродния диоксид. Когато количеството на въглеродния диоксид расте, температурата на атмосферата се повишава и нараства количеството водна пара, която се съдържа в нея. Това увеличава парниковия ефект и води до още по-голямо нарастване на температура. Ако нивата на въглероден диоксид намаляват част от водната пара кондензира и температурата пада.

Важно значение за изследването на ролята на въглеродния диоксид идва от работата на шведския изследовател и Нобелов лауреат Сванте Арениус. Той разбира физиката която стои зад парниковия ефект – че излъчвана радиация е пропорционална на четвъртата степен на абсолютната температура и че колкото по-топло е тялото, толкова по-къса е дължината на вълната. Слънцето има повърхностна температура на излъчващата повърхност – фотосферата приблизително 6000°C и максимумът на излъчването му е във видимата част на спектъра. Земната повърхност има средна температура 15°C и излъчва в инфрачервената част на спектъра. Ако атмосферата не абсорбираше тази радиация, нейната температура щеше да е не повече от -18°C . Арениус се опитва да разбере каква е причината за ледниковите епохи. Той стига до заключението [1], че ако нивата на въглеродния диоксид се намалят наполовина, Земята ще започне нова ледникова епоха. Обратно – ако количеството на въглеродния диоксид се удвои, това ще увеличи температурата с $5-6^{\circ}\text{C}$, което е близо до съвременните оценки.

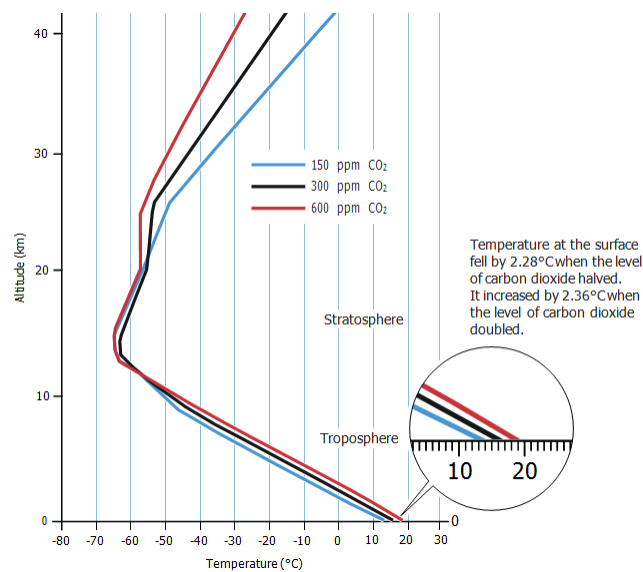
През 1950 година метеорологът Сюкуро Манабе е един от младите и талантиливи изследователи, които напускат опустушената от войната Япония и продължава своите изследвания в САЩ. Негова цел е същата като на Арениус – да покаже как увеличените нива на въглероден диоксид водят до увеличаване на температурата. Обаче, докато Арениус се фокусира върху радиационния баланс, Манабе през 1960 година започва разработка на физични модели, които да съвместят вертикалните движения на въздушните маси заради конвекцията и отделянето на скрита топлина на изпарение. Манабе и Уедералд [2] третираат атмосферата като вертикална колона с една размерност, простираща се до височина 40 километра. Тя има даден профил на относителна влажност и определена концентрация на парникови газове. Даже при тези условия са необходими стотици часове да се тества модела чрез вариране на нивата на газовете в атмосферата.

Оказва се, че кислородът и азотът имат пренебрежим ефект върху повърхностната температура, но когато нивата на въглеродния диоксид се удвояват, глобалната температура нараства с 2°C . Моделът потвърждава че затоплянето е резултат от нарастването на нивата на въглероден диоксид защото предсказва повишаване на температурата в близост до земната повърхност, докато високата атмосфера става по-студена. Ако вариациите в слънчевата радиация е отговорна за повишаването на температурата, цялата атмосфера щеше да повиши температурата си с една и съща стойност.



Фиг. 1. *Моделът на Манаб*

Преди 60 години компютрите са сто до хиляда пъти по-бавни отколкото сега и така този модел е относително прост, но той включва ключовите черти на съответните процеси в атмосферата. По-нататък Манаб



Фиг. 2 . *Температурни изменения и нива на CO₂. Температурата на повърхността пада с 2,28°C, когато нивата на въглеродния диоксид се намалят наполовина. Тя нараства с 2,36 °C когато нивата на въглеродния диоксид се удвоят*

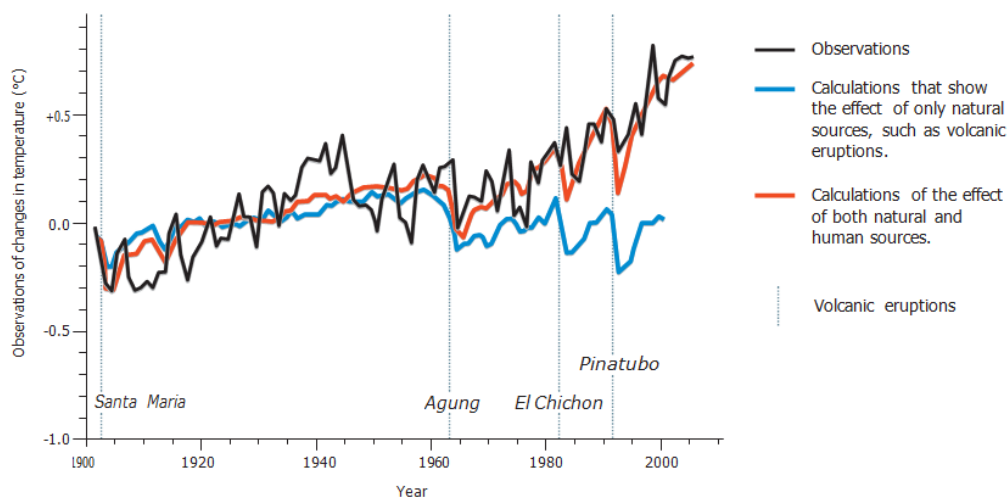
Около 10 години след Манаб

много динамично заради непрекъснатото изменение на слънчевата радиация както във времето, така на различните географски ширини. Заради сферичната форма на Земята слънчевите лъчи падат под различен ъгъл на различните географски ширини и като резултат високите географски ширини получават по-малко слънчева радиация от по-ниските. Наклонът на земната ос спрямо плоскостта на орбитата ѝ води до сезонни изменения на попадащата върху Земята слънчевата радиация. Разликите в плътността на топлия и студения въздух води до пренос на топлина между различните географски ширини, между океана и сушата, между по-ниските и по-високите въздушни маси на една и съща географска ширина.

Както добре знаем, да се направи надеждна прогноза за времето за повече от десет ден е истинско предизвикателство. Преди двеста години, известния френски учен Пиер Симон Лаплас издига идеята за детерминизма – ако знаем позицията на скоростта на всички частици във Вселената, ние можем да предскажем какво ще се случи и да обясним какво се е случило във всеки момент в нашия свят. Този принцип е в сила за макротелата, които се подчиняват напълно на трите принципа на Нютон. Те обаче не са в сила за системи от частици с ансамблово поведение, за които случайните процеси са водещи. Атмосферата е една такава система и като резултат точно предсказване на времето не е възможно. Това е така отчасти защото не е възможно да се получат данни за температура, налягането и плътността на въздуха във всяка точка на атмосферата, както и за посоката и скоростта на вятъра. Предсказанията се правят на базата на така наречените уравнения на времето, които са нелинейни – уравнение за непрекъснатост, уравнение за притока на топлина, уравнение на движението на въздушна частица. Дори малки изменения в началните данни води до еволюиране на времето в съвършено различна посока. Това откритие е направено през 1960 година от американския метеоролог Едуард Лоренц, който поставя основите на съвременната теория на хаоса.

Около 1980 година Клаус Хаселман демонстрира как хаотично изменящото се време може да се опише като бързо изменящ се шум и така поставя дългосрочните прогнози за времето на сериозна научна основа. Нещо повече – той създава методи за идентифициране на влиянието на човешката дейност на наблюдаваните глобални температури. Като млад доктор по физика по физика в Хамбург, Германия през 1950 година, Хаселман работи в областта на динамиката на флуидите и започва да развива наблюдателни и теоретични модели за океанските вълни и течения. Той се премества в Калифорния и продължава да се занимава с океанография. Там той се среща с Чарлз Кийлинг, известен с дългосрочните изследвания на атмосферния въглероден диоксид в обсерватория Мауна Лоа в Хаваите, започнали през 1958 година. В по-нататъшните си изследвания Хаселман използва именно кривата на Кийлинг, получена при тези изследвания, която показва измененията на нивата въглероден диоксид.

Създаването на модел на климата от зашумените данни за времето може да бъде илюстрирано ако разглеждаме разхождането на куче: кучето се дърпа от каишката, напред и назад, наляво и надясно и около вашите крака. Как можете да използвате траекторията на кучето за да разберете дали вървите или сте неподвижни? Или дали се движите бързо или бавно? Частите на траекторията описва от кучето са измененията на времето, и вашето движение е предсказания климат. Дали е възможно да се направят изводи за дългосрочните тенденции в климата използвайки хаотични и зашумени данни за времето? Една допълнителна трудност е, че флуктуациите влияещи на климата се много променливи с времето – някои са много бързи, като измененията на скоростта на вятъра или температурата на въздуха или много бави като топенето на ледниците и затоплянето на океаните. Например, за да се повиши температурата на океаните с един градус са нужни хиляди години, но за затоплянето на атмосферата по същия начин ще са нужни седмици. Решаващата идея тук е разглеждането на бързите изменения във времето в изчисленията като шум и демонстрацията че този шум влияе на климата. Хаселман създава стохастичен климатичен модел, използвайки теорията на Айнщайн за Брауновото движение. Той създава модел на океанския климат, в който времето е „шум“, а климатът е неговото средно състояние[3]. Използвайки тази теория Хаселман демонстрира, че изменящата се атмосфера може да предизвика бавни изменения в океана.



Фиг. 3. Сравнение между измененията [4] в средната температура в сравнение със средната за 1900 – 1950 година (°C). Най-долната крива отчита само естествени причини, например вулканични избухвания. Средната крива отчита и човешките и естествените фактори. Горната крива е наблюдаемата

Когато моделът на климатичните изменения е завършен, Хаселман разработва методи за разпознаване на човешкото влияние върху климатичните системи. Той установява че моделите, заедно с наблюденията и теоретичните оценки съдържат адекватна информация за свойствата на шума и сигнала.

Например, измененията в слънчевата радиация, вулканичните частици или нивата на парниковите газове оставят уникални сигнали, отпечатъци които могат да бъдат изолирани. Този метод за идентифициране на отпечатъците може също да бъде приложен към ефекта който човешката дейност има върху климатичните системи. Хаселман демонстрира това на примера на голям брой независими наблюдения. Климатичните модели вече са значително подобрени с помощта на сателитни наблюдения. Моделите ясно показват засилващ се парников ефект – от средата на 19 век нивата на въглероден диоксид са нараснали с 40%. Съответно, температурните измервания показват че светът се е затоплил с 1°C за последните 150 години.

Сюкуро Манабе и Клаус Хаселман полагат солидни основи на нашите познания за климата на Земята. Ние вече знаем, че климатът на Земята се променя. Земята е затопля и причината е нарасналото количество парникови газове. Това нарастване не може да се обясни само с естествени фактори – то е резултат от човешката дейност .

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Arrhenius A, Phil. Mag. 41, 237,(1896)
- [2] Manabe and Wetherald, *Journal of the atmospheric sciences*, Vol. 24, Nr 3, (1967)
- [3] Hasselmann, *Rev. Geophys* 4, 1,(1966)
- [4] Hegerl and Zweis, *WIREs Climate Change* (2011)

ВЛАКНЕСТО-ОПТИЧНИТЕ КОМУНИКАЦИОННИ СИСТЕМИ ОТ ГЛЕДНА ТОЧКА НА ФИЗИЧНИЯТ ИМ ФУНДАМЕНТ

Тодор Арабаджиев^{1*} и Иван Узунов^{1,2}

¹ Катедра Приложна Физика, ФПМИ, ТУ-София, бул. "Кл. Охридски" No8, София 1000

² Институт по механика, БАН, ул. Акад. Г. Бончев, бл. 4, София, 1113

*e-mail: tna@tu-sofia.bg

***Резюме.** Представени са фундаменталните концепции за светлината по пътя към влакнестите комуникации в последователността на тяхното възникване. Представен е кратък хронологичен обзор на най-важните технологични открития направили възможно съществуването на съвременните влакнесто-оптични комуникационни системи (ВОКС).*

Ключови думи: влакнесто-оптични комуникационни системи, оптика

1. По пътя на светлината – от фундаменталните концепции до ВОКС

Бихме могли да използваме различни по дълбочина и обхват теории за да анализираме разпространението и преобразуването на светлината във ВОКС. На първо място ще изброим добре известните и широко употребявани концепции за светлината, подредени по обхват: геометрична теория, вълнова теория, електромагнитна теория и квантова теория. Ще имаме в предвид хронологията на тяхното възникване и ще обсъдим докъде се простират техните възможности.

Геометричната теория за светлината е най-старата концепция описваща светлината като „лъч“ с начало и край, който се разпространява по права линия и за него важат известните още от древността закони за отражение и пречупване. През 1621 г. датският астроном и математик Willebrord Snell (Снелиус) успява математически да запише известният днес закон на Снелиус. Този факт за първи път е споменат през 1690 г. в „Трактат за светлината“ на неговия известен сънародник астроном и математик Кристиан Хюйгенс. В този си труд Хюйгенс за първи път описва светлината като сферична вълна с твърдението че всяка точка от вълновия фронт става източник на вторична сферична вълна (secondary wavelet) разпространяваща се във всички посоки, като тези вторични вълни имат честотата и скоростта като оригиналната вълна (за описанието на това свойство по-късно се въвежда понятието „кохерентни вълни“) а суперпозицията на вторичните вълни формира новият вълнов фронт. Известното днес понятие и съответен физичен процес „интерференция“ се въвежда за да бъде описан математически резултата от суперпозицията на две кохерентни вълни. Този принцип става известен като принцип на Хюйгенс. През 1819 г. френският физик Augustin-Jean Fresnel (Френел) използва принципа на Хюйгенс за да опише явлениято дифракция или интерференцията

на повече от две вълни, а принципа на Хюйгенс се превръща в добре известния днес принцип на Хюйгенс-Френел. В съвременна интерпретация на вълновата теория, казваме че вълните - оптични или еластични (в материална среда) се описват с хармонична функция – скаларна функция представляваща решение на т.нар. вълново уравнение. Това се интерпретирано като периодично повтарящо се (хармонично) трептене, което се разпространява в пространството (вълна), то може да бъде характеризирано с параметри като амплитуда, период, дължина на вълната, честота, скорост. Какво се случва обаче когато светлината се разпространява в материални среди? Тогава трябва да отчетем взаимодействието между светлината и материалната среда – изградена от атоми и молекули проявяващи електрични или магнитни свойства. В този случай, светлината трябва да се разглежда като векторна хармонична функция, описваща съвместното действие на променливо електрично и магнитно поле. Как си взаимодействат тези полета? Отговорите идват чрез откритията на цяла плеяда учени най-известните от които са на британците Майкъл Фарадей (1831 г. открива електромагнитната индукция), и на Джеймс Кларк Максуел, който през 1864 г. успява да запише математически в четири уравнения механизмите на взаимодействие на електричното с магнитното полета, както и взаимодействието им с електричните и магнитните свойства на средите. Тези фундаментални уравнения стават основа на т. нар. електромагнитна оптика т.е. светлината като електромагнитна вълна, която си взаимодейства със средата в която се разпространява.

И как тези теории се допълват? Ако се опитаме да обясним явленията интерференция и дифракция посредством геометричната теория няма да успеем, но с помощта на вълновата няма проблем. Как двете теории геометричната и вълновата описват разпространението на светлината в оптичните влакна? Геометричната успява да го направи по изключително опростен начин базирайки се на явлението пълно вътрешно отражение. Взаимодействието на диелектричното стъклено оптично влакно със светлината би могло да доведе до процеси като дисперсията на груповите скорости, зависимост на показателя на пречупване от интензитета (фазовата самомодулация), нелинейни явления в рамките на т.нар. нелинейна оптика. В този случай ще трябва да използваме и електромагнитната теория за светлината основана на уравненията на Максуел.

Корпускулярната теория за светлината на Нютон от 17 век, представлява светлината като поток от материални частици - корпускули дори доминирала в научната мисъл до началото на 19 век. Опитите на Томас Юнг за интерференция на светлината от 1802 г. послужили като безспорен аргумент в полза на вълновата теория, която получила един нов старт. В началото на 20-ти век в опити да се обяснят явления недостъпни за класическата физика, като топлинното излъчване, външният фотоэффект, дискретните спектри на атомите, наблюдаваме появата на квантовата физика (част от които са квантовата механика и квантовата оптика). Вследствие на откритията на Макс Планк, Луи

Дьо-Бройл, Алберт Айнщайн, Артър Комптън, Нилс Бор, Вернер Хайзенберг, Ервин Шрьодингер и други светлината отново се превръща в частица, но в нов квантов контекст, като фотон, квант или порция енергия. Окончателно във физиката се налага принципа на корпускулярно-вълновия дуализъм, според който за обяснението на едни явления, светлината трябва да се разглежда като хармонична вълна, а за обяснението на други е необходимо да се разглежда като частица.

През 1916 г. в статията си „On the quantum theory of radiation” [3], Айнщайн извежда формулата на Планк за топлинното излъчване, при което допуска възможността молекулите не само да поглъщат но и да излъчват порции енергия под формата на спонтанно или стимулирано излъчване. За да определи вероятностите на този тип процеси разработва и съответната математическа методика. По-късно, развитите в тази статия идеи и методи стават фундамента за създаването и обяснението на лазерите и оптичните усилватели.

И така, квантовата физика успешно обяснява действието на лазерите, оптичните усилватели, полупроводниковите устройства, и прави възможно технологичното развитие довело до съвременните високоскоростни ВОКС.

2. Справка за някои основни открития свързани с ВОКС.

Нашата кратка историческа справка за развитието на ВОКС ще започне от 1966 г., когато инженерите от Standard Telephones and Cables (днес Nortel) в Харлоу Англия, Чарлз Као и Джордж Хокъм, изследват възможността за използване на диелектрични влакна за водене светлинното излъчване за нуждите на комуникациите. Тогава за първи път е представен факта, че фундаменталният праг на загубите в стъклените влакна, дължащ се на примеси, е значително под установената тогава стойност от 20 dB/km и че възможният информационен капацитет на оптичните диелектрични вълноводи значително надвишава възможностите на съществуващите по това време коаксиални кабелни и радио комуникации [4,5]. За пионерските си идеи и приноси в областта на влакнестата оптика Чарлз Као е удостоен с ½ част от Нобеловата награда през 2009 г. а другата ½ част успоредно на него получават Willard Boyle и George Smith за откритието им от 1969 г. - “for the invention of an imaging semiconductor circuit - the CCD sensor“.

Отново през 60-те години на 20 век е измината и друга важна крачка способстваща за развитието на влакнесто-оптичните комуникации, а именно разработката на подходящи оптични източници в честотните области в които могат да бъдат използвани стъклените оптични влакна. Такъв източник е полупроводниковият лазер. През 1958 г. Charles Townes и Arthur Schawlow, публикуват идеята за мазера [6], по която Townes работи от 1951. Gordon Gould патентова концепцията, като добавя понятието „Лазер“ [7]. По същото време по идеята за мазера работят Александър Прохоров и Николай Басов от Физическия институт „П. Н. Лебедев“ в Москва [8].

За тези си идеи Townes, Прохоров и Басов получават Нобелова награда през 1964. На основата на идеите за мазера и лазера през 1960 г, Theodore H. Maiman от Hughes Research Laboratories в Малибу, на основата на рубидий конструира първият работещ твърдотелен лазер [9]. През 1962 г. Робърт Холл изобретява полупроводников лазер с р-п преход излъчващ в инфрачервената област [10]. Когато Чарлс Као публикува пионерската си работа за оптичните влакна [4] през 1966, той разглежда току що разработеният полупроводников лазер на основата GaAs, като оптичен източник в близката инфрачервена област. През 1963 г. Rudolf Kazarinov and Zhores Alferov [11] от института „Йофе“ в Ленинград и успоредно на тях Herbert Kroemer [12] от Калифорнийският университет в Санта Барбара, предлагат идеята за полупроводников лазер с хетеро-структурен дизайн. За тази си идея те получават Нобелова награда през 2000 г.

Алтернатива на лазерните диоди като оптични източници в комуникациите са полупроводниковите инжекционни светодиоди (LED) работещи на основата на явлението електро-луминесценция т.е. в LED възникването на светлинно излъчване е в резултат на рекомбинация на електрони и дупки в р-п прехода под действие на електричното поле. Електро-луминесценцията е наблюдавана за първи път в парче силициев карбид през 1907 г. от английският учен Хенри Д. Раунд. През 1920 г. руският учен Олег В. Лосев забелязва същото явление и го описва в научна публикация, която обаче остава незабелязана в следващите десетилетия. През 1961 г. Biard и Pittman случайно откриват инфрачервено излъчване от право свързан GaAs тунелен диод конструиран с друга цел. На основата на тяхното откритие, на 26 Октомври 1962 г., Texas Instruments представят първият комерсиален инфрачервен LED. През 1962 г. Ник Холоняк колега на Р. Холл в лабораторията по електроника на General Electric в Сиракуза Ню-Йорк, на основата на GaAsP разработва първия червен LED във видимата област, по късно се появяват и светодиоди с други цветове - зелен през 70-те и син цвят през 90-те за който японците Исаму Акасаки, Хироши Аmano и Шуджи Накамура получават Нобелова награда през 2014. Светодиода със син цвят в схемата червено-зелено-синьо, проправя пътя за получаването широкоспектрни източници на бяла светлина.

Друго основно устройство използвано широко за детекцията на оптично излъчване в комуникациите е полупроводниковият фотодиод. Той работи на основата на добре известният фотоелектричен ефект т.е. възникването на свободни токоносители и съответно на фототок в подходящо свързания р-п преход е в резултат основно на светлината падаща върху р-п прехода. Базовата технология на р-п фотодиодите започва развитието си през 40-те години на 20-век а края на 50-те се появяват и по-съвършените PIN фотодиоди.

60-те години на 20-век стават фундаментални по отношение на развитието на базовите компоненти на ВОКС - появяват се оптичните влакна и полупроводниковите лазери. Последващите развития в компонентна база следват следния път: разработват на подходящи за различните спектрални

прозорци източници и приемници на светлина, снижават се загубите във влакната до 0.2 dB/km, появяват се влакна с отместена нула на дисперсията, появяват се т.нар. „сухи“ влакна (с премахнат пик на загубите дължащ се на съдържанието на вода), появяват се оптичните усилватели (полупроводникови, влакнести и раманови). С появата си оптичните усилватели премахват бариерата в бързодействието установена от старите електронни регенератори и правят възможно дължината на предавателните линии да достигне междуконтинентални разстояния.

Революционният пробив свързан с увеличаване на капацитета за предаване на информация идва с разработването подходящ за прозореца с най-малки загуби във влакната (1550 nm) влакнест усилвател с широка лента на усилване. Такива усилватели се създават чрез легиране в оптичното влакно на йони на редкоземни елементи като erbium (Er^{3+}) или thulium (Tm^{3+}). Поради голямото усилване - до 50dB, ниския шум ~5dB, широката спектрална лента на усилване 1525-1570 nm във ВОКС се е наложил Легирания с Ербий (Er^{3+}) Влакнест Усилвател (Erbium Doped Fiber Amplifier-EDFA). За усилване на сигналното излъчване в легираното с ербиеви йони влакно е необходимо, чрез процес на оптично напомпване, да възбудим ербиевите йони така че да получим инверсна населеност между дългоживущото (~10ms) метастабилно ниво и основното енергетично ниво. Наличието на инверсна населеност означава, че всеки пристигнал сигнален фотон предизвиква стимулиран преход съпроводен с излъчването на втори фотон идентичен с оригиналния т.е. налице е оптично усилване на сигналната честота. Оптичното напомпване се извършва от напомпващ лазер с работна дължина на вълната 980 или 1480 nm и мощност ~30-150 mW. Налице са и спонтанни преходи, отговорни за шума от спонтанната емисия.

Широката спектралната лента на уеднаквено (плоско) усилване на EDFA дава уникалната възможност за едновременно усилване на множество информационни канали които са равно-отместени един от друг по честота и уплътнени в една предавателна линия (Dense Wavelength Division Multiplexing - DWDM) [13].

Хронологично EDFA се ражда през 1987 г., когато за него публикуват резултатите си две групи изследователи - първата от университета в Саутхямптън, Великобритания, състояща се от David N. Payne, R. Mears, I. M Jauncey and L. Reekie [14], и втората от AT&T Bell Laboratories и включва E. Desurvire, P. Becker и J. Simpson [15].

Неотдавна е докладван резултат с рекорден капацитет на предаване на информация от над 319 Tb/s по оптично влакно с 4 сърцевини на разстояние 3001 км [16]. Всичко това би било немислимо без фундаменталните открития във физиката създали почвата за технологичният пробив довел до съвременните високоскоростни влакнести комуникации.

3. Заключение

В хронологичен ред е описано възникването и приложението на фундаменталните концепции за описание на светлинните явления. Отново в хронологичен ред са описани най-важните технологични открития довели до възникването на съвременните ВОКС.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Енциклопедия Британика: www.britannica.com
- [2] Bahaa E. A. Saleh, Malvin Carl Teich, Fundamentals of Photonics, Wiley-Interscience, 2nd edition (March 9, 2007)
- [3] Einstein, A. On the Quantum Theory of Radiation, СРАЕ, The collected papers of Albert Einstein, Edited by J. Stachel et al., Vols. 1-12, Princeton University Press, 1987–2010; Vol. 6, Doc. 38: <https://einsteinpapers.press.princeton.edu/vol6-trans/>
- [4] К.С. Као and G.A. Hockham, Dielectric-fibre surface waveguides for optical frequencies, Paper was originally published in the Proceedings IEE, July 1966, IEE Proceedings, Vol. 133, Pt. J, No. 3, June 1986.
- [5] Chinlon Lin, In memory of Charles Kao, Nature Photonics, vol 12, December 2018, 715–717.
- [6] Schawlow, Arthur; Townes, Charles (1958). "Infrared and Optical Masers". Physical Review. 112 (6): 1940–1949. doi:10.1103/PhysRev.112.1940.
- [7] Gould, R. Gordon (1959). "The LASER, Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation". In Franken, P.A.; Sands R.H. (eds.). The Ann Arbor Conference on Optical Pumping, the University of Michigan, 15 June through 18 June 1959. p. 128. OCLC 02460155
- [8] N. G. Basov and A. M Prokhorov, Theory of the Molecular Generator and Molecular Power Amplifier, JETP, Vol 3, Number 3, October 1956, P. N. Lebedev Physical Institute, Academy of Sciences, USSR
- [9] Maiman, T. H. (1960). "Stimulated optical radiation in ruby". Nature. 187 (4736): 493–494.
- [10] Hall, Robert N.; G. E. Fenner; J. D. Kingsley; T. J. Soltys; R. O. Carlson (November 1962). "Coherent Light Emission from GaAs Junctions". Physical Review Letters. 9 (9): 366–369
- [11] Zh. I. Alferov, R.E. Kazarinov, "Semiconductor laser with electric pumping", Soviet Union Patent, Author's Certificate N181737, Application N950840 with priority from 30 March 1963.
- [12]. H. Kroemer, "A proposed class of heterojunction injection lasers," Proc. IEEE 51 (12), 1782–1783, (1963).
- [13] United States Patent Office #5696615; "Wavelength division multiplexed optical communication systems employing uniform gain optical amplifiers.", 2002

[14] R.J. Mears, L. Reekie, I.M. Jauncey and D. N. Payne: "Low-noise Erbium-doped fiber amplifier at 1.54 μm ", *Electron. Lett.*, 1987, 23, pp.1026–1028

[15] E. Desurvire, J. Simpson, and P.C. Becker, High-gain erbium-doped traveling-wave fiber amplifier," *Optics Letters*, vol. 12, No. 11, 1987, pp. 888–890

[16] <https://www.nict.go.jp/en/press/2021/07/12-1.html>

ГЕОФИЗИЧНОТО ОРЪЖИЕ – ИСТИНА ИЛИ ГОЛЯМА ЛЪЖА

Бойко Рангелов

Минно-геоложки Университет, София, e-mail: branguelov@gmail.com

***Резюме.** Популярно изложение на дискусийна тема за разработването и използването на геофизични, климатични, тектонични, геохимични и подобни на тях оръжия. Медииното внимание към подобен вид разработки, беше отново активно засилено след силните земетресения в Турция на 6 Февруари, 2023 г. Има ли разработени подобен вид оръжия, или това са само медиини спекулации? За какво служат ХАРИП, СУРА, ЕЙСКАТ и други, подобни на тях системи? В популярен вид са изложени физическите основи на такива системи, разгледани са и сеизмичното, гравитационно, и други подобни изкуствени въздействия върху Земята, магнитното ѝ поле и промените в климата.*

Ключови думи: Геофизични оръжия, теория и практика, климат, системи, въздействия.

1. Увод

Бури (Азия, САЩ, Западна Европа), наводнения (Китай, Япония, Бангладеш...), жеги (цяла Западна Европа), пожари (Гърция, Калифорния), земетресения (Турция, Индонезия), вулкански изригвания (Хавай, Чили, Мексико, Филипините), свлачища и много разрушения и човешки жертви – и не само това..., този списък може да бъде доста удължен, ако трябва да се направи статистика на аномалиите през последните години. Гадатели, екстрасенси, прорицатели, псевдоучени и истински такива - кой ли не предупреди, че навлизаме в период на бедствията. Всъщност какво става? Природата ли се побърка, или човечеството с неразумното си отношение я предизвика? Отговорите на тези въпроси – не са от най-лесните...защото както винаги – между истината и лъжата, трудно се откриват разликите – особено за незапознатите с основни физични закони и фундаментални геофизични закономерности.

2. Конспирации, спекулации, манипулации

Покрай поредицата от бедствени явления, представени ни от масмедиите доста атрактивно (дроновите и сателитите имат несъмнена заслуга за това), се появиха и активизираха отново конспиративните теории за геофизичните оръжия – инструменти с които (както се подозира) най-развитите в технологично отношение страни, могат да въздействат на метеорологичното време, да предизвикват бури, урагани, дъждове и градушки с невиджани размери, жеги и торнада, някои казват дори – земетресения и цунами.

Земетресенията в Турция от 6.2.2023г. с магнитуд 7.8 и 7.2, убиха над 50 000 души, раниха близо 2 пъти по толкова, разрушиха над 30 000 сгради и съоръжения, засегнаха над 1.5 милиона, предизвикаха щети за над 30 млрд. долара (само преки загуби от разрушения), отново поставиха въпроса за сеизмичната безопасност на АЕЦ „Акую“ – (фиг. 1).



Фиг. 1. Планирани (на север) и изградена АЕЦ „Акую“ – близо до земетресението от 6 Февруари, 2023[1].

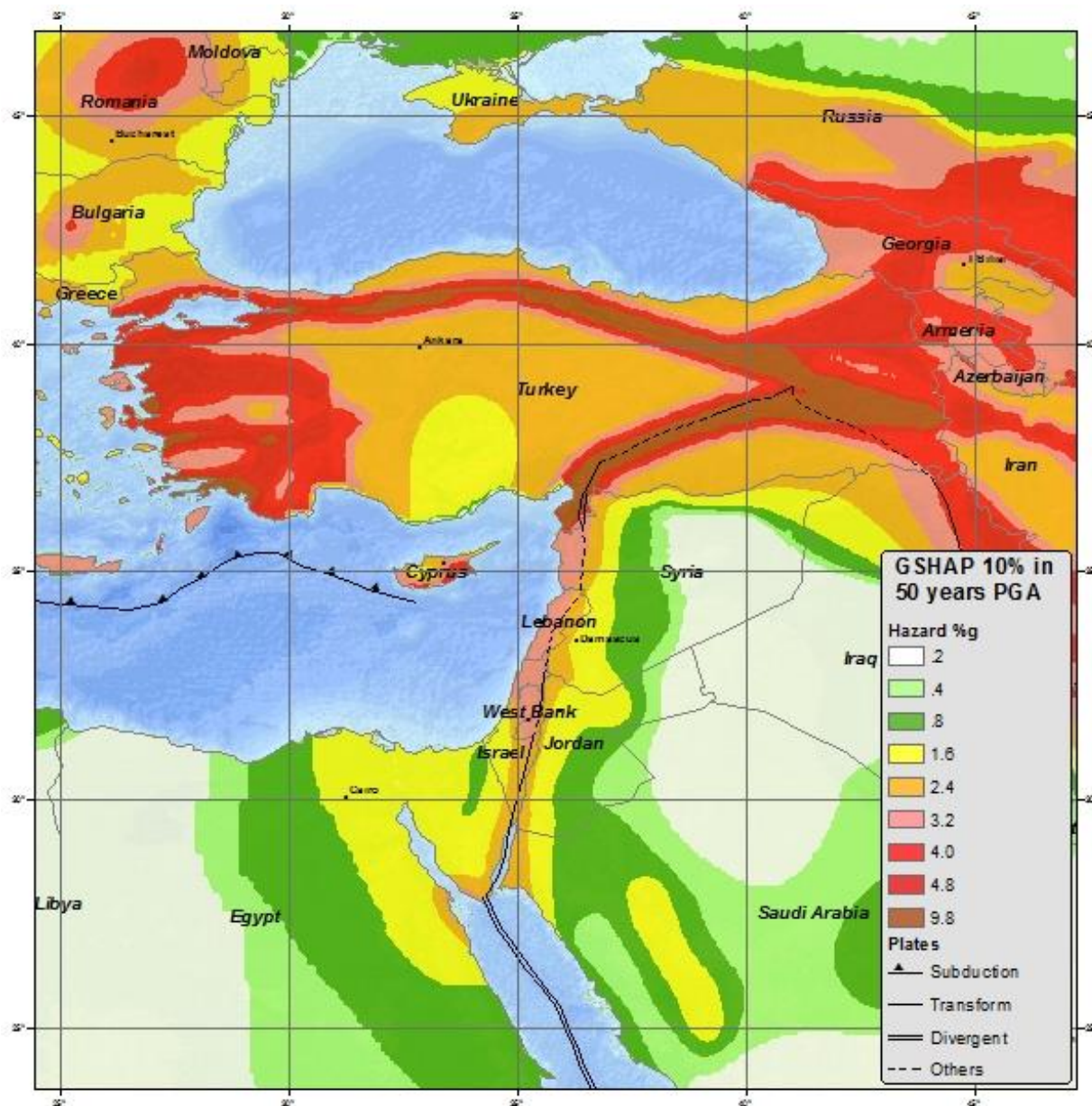
Сериозни политически анализатори у нас и в чужбина заподозряха изкуствен произход на тези трусове, най-често обяснявани като наказание за „независимата“ политика на Турция.

3. Какво казва науката по повод на тези хипотези за земетресения, цунами и вулкани:

В отчетите на проекти „Вулкан“, Меркурий“ и т.н. се твърди: „Закономерните аномални и изменения преди земетресения на високочестотните сеизмични шумове (микросеизми),...и натрупаният теоретичен и експериментален материал позволи да се разработи методика за активни въздействия, включващи тип, мощност, периодичност и времетраене на определени въздействия в зависимост от конкретните състояния на средата с цел активиране на динамични процеси...и възможността за създаване на странични канали за прехвърляне на енергия в нужния район (отдалечен от антропогенното тригерно въздействие на стотици, понякога над хиляда километра)...и активиране на неактивна моментна разломна система.“

В края на 80-те години на миналия век у нас излиза книгата на Иван Порталски „Геофизичното оръжие“. В нея авторът обяснява принципите на действие на подобни оръжия и там прави разграничението – геофизични са всички оръжия, в които се ползват като теоретична основа познанията на човечеството по геофизика. Един подраздел е тектоничното оръжие, което предизвиква процеси в тектоносферата – тази област от земната кора, в която

протичат всички геодинамични процеси в твърдата земна кора – земетресения, разломяване, „бавни или бързи” движения на тектонските елементи (плочи, блокове, разломни повърхности и др.).



Фиг. 2. Карта на сеизмичната опасност за Турция и околностите

Макар да не съм имал достъп до военна документация, аз самият имам известен личен опит с геофизични оръжия. През 2000 година група учени посетихме Университета в Краснодар в Русия. Ректор на университета, който организира тази среща и пое разходите на 30-ина учени от цял свят, беше по това време почти неизвестният 30-ина годишен академик Бабешко. Той представи теорията за предизвикване на земетресения на много далечни разстояния. Като специалист мога да потвърдя, че теорията беше безукорна.

Схемата се състои в това, че няколко свръхтежки вибратора (това са масивни платформи), вибриращи под действието на ексцентрик, задвижван от електромотор, се включват да работят в синхрон. Вибрациите им се насочват

към другия край на Земята (има такъв способ наречен в геофизиката „групирание на източниците“), най-често към сеизмоактивна зона, в която от природата е подготвено свръхсилно земетресение.

Под въздействието на интерфериращите и фокусирани доста слаби трептения в точката на даден хипоцентър на труса и вследствие на минималното добавяне на енергия, подготвеното огнище се активира и генерира силен трус.

Беше ни демонстрирано действието на 20-тонен вибратор, който така разтресе земята под краката ни, че поставена на стол чаша с вода, се разплиска до дъно. Обясниха ни, че в Новосибирск е изграден 200-тонен вибратор със същата цел. Няколко години по-късно при едно посещение в Новосибирск успях да зърна и това чудовище. Планирани са били още три 1000 тонни вибратора...

Поради скъпо струващата поддръжка и големия разход на енергия обаче, този вид разработки в Русия са били изоставени по време на т.н. „конверсия“. Оказва се, че средно мощна атомна бомба е много по-ефективно средство за постигането на същата цел.

Огромни вълни цунами, достигнали до брега свисочина над 10 метра, са предизвикани при френските ядрени изпитания в Тихия океан (Нова Каледония) и атола Муророа от САЩ през 60-те години на миналия век. В Русия през 80-те години в района на Гарм (Узбекистан) в полигона за предсказване на земетресения, проф. Уломов, използва магнитохидродинамичен генератор за изпращане на електромагнитни импулси до мантията на Земята. Дали изпитанията са имали и други цели, не е известно. Но се знае, че към президента на САЩ, има специален орган, който следи за поведението на супервулкана Йелоустоун. Смята се, че той може да бъде активиран чрез насочено въздействие от ядрено оръжие и може да предизвика тежки поражения на територията на САЩ. Ефектът от неговото изригване би се отразил на атмосферата, което ще промени метеорологичното време и дори би могло да предизвика „вулканична зима“ на Земята.

Всички тези експерименти се основават на „ефекта на пеперудата“, при който, малки въздействия върху неустойчиви нелинейни системи, могат да предизвикат значителни ефекти в поведението на цялата система. Тук се отличава ролята на т.н. „медиатор“ (устройството (или средата) което пренася енергията от изтъчника към неустойчивата система).

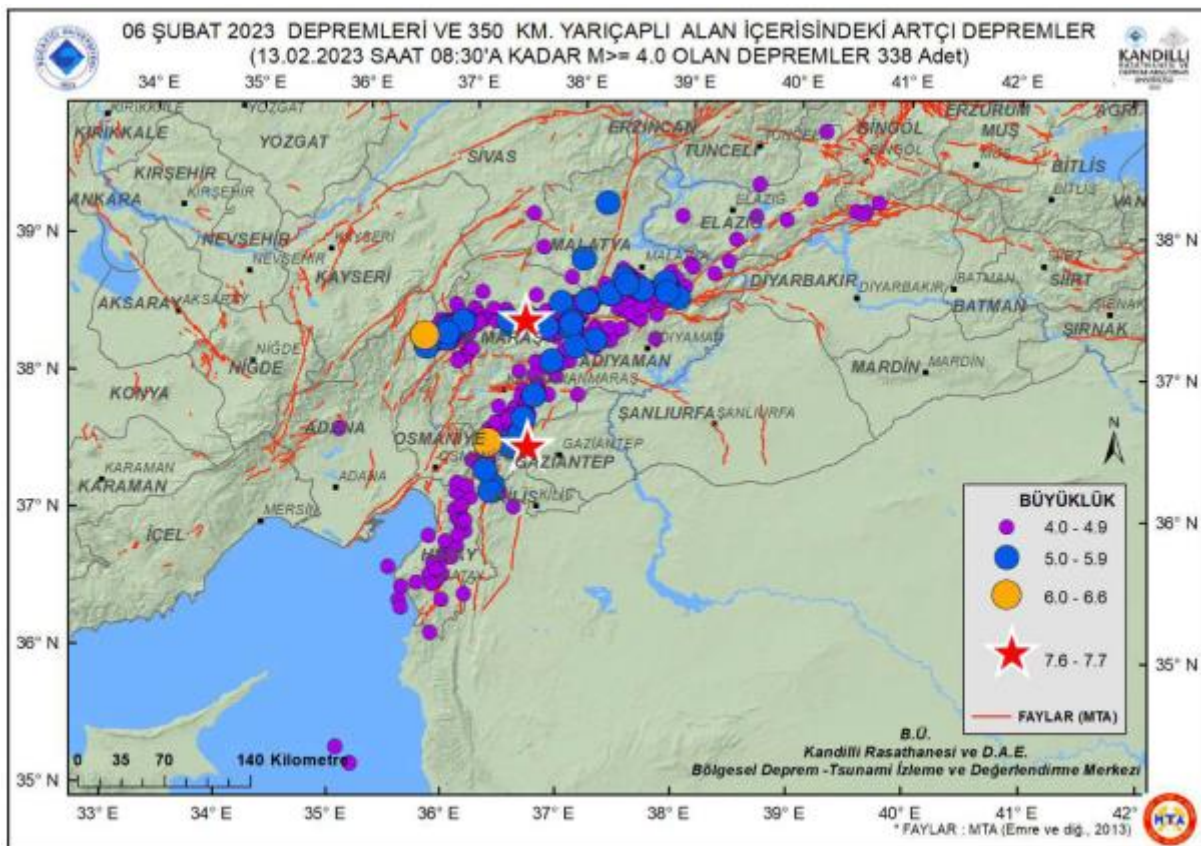
Въпреки теоретичните възможности и практически решения по-горе, може ли да се твърди, че земетресенията в Турция са продукт на изкуствено въздействие. Нека да разгледаме аргументите ЗА и Против отчитайки земетръсната опасност в южната ни съседна държава [2] – фиг. 2.

ЗА:

– съществува САМО подозрение (поради теоретичните разработки) за подобно въздействие. Няма НИКАКВИ други данни за това

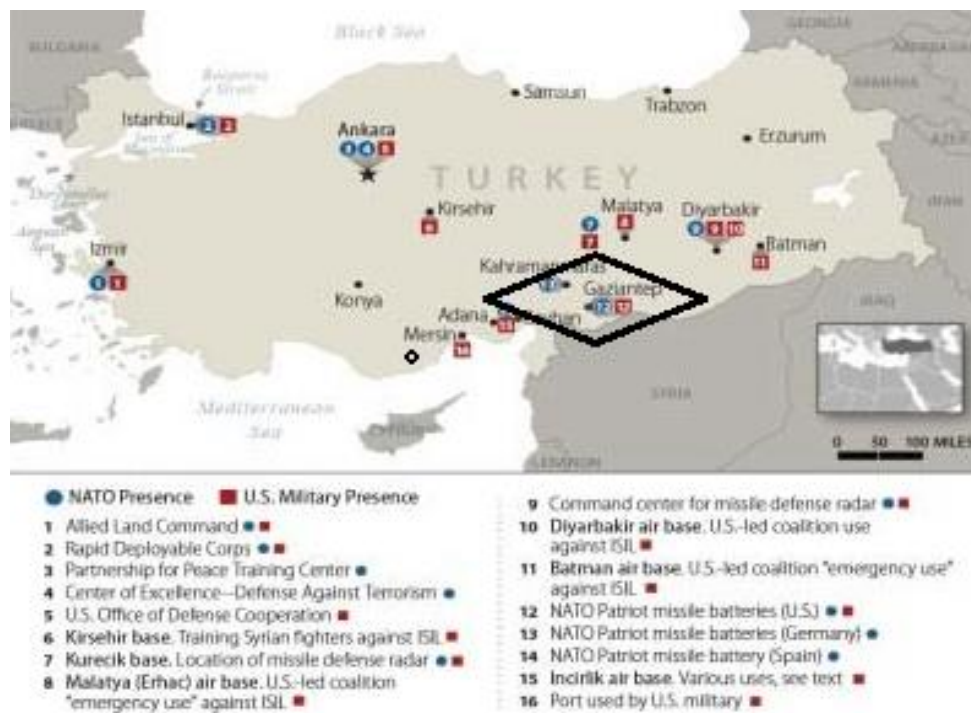
ПРОТИВ:

- Земетресенията стават в силно активна сеизмична зона, известна като Източноанадолски разлом, където подобни земетресения са ставали многократно в миналото (само за пример – през 1904 година у нас, в района на Кресненското дефиле стават подобни 2 земетресения със същите магнитуди в интервал от 20 мин. Подобни събития се наричат „дублети“ и повечето силни земетресения у нас стават по този механизъм) – фиг.3.



Фиг. 3. Главните трусова (звездички) и последвалите афтършокове (кръгчета) заедно с разломната мрежа на района [4]

- Няма никакви данни за „изпращане“ на сеизмична енергия от външни източници, независимо че около 12 часа преди това е наблюдаван форшок (предтрус) с магнитуд около 5.0, който е бил усетен от населението.
- Изключителна трудност, представлява пред съвременната наука, да локализира зони с натрупани напрежения и „готови“ да бъдат тригерирани трусове със слаби сеизмични въздействия върху тях.
- Наблизо се намират няколко военни бази [3], които може сериозна да пострадат от подобен експеримент – фиг.4.



Фиг. 4. Турски военни бази в района на земетресението [3]

- Наблизо се намира и почти завършената АЕЦ "Акую", която сериозно може да пострада, а това да доведе до нейното спиране – фиг.1.
- Последващото развитие на сеизмичния процес е типично за естествени трусове – фиг.3.
- „Механизмът“ на силните трусове показва хоризонтално отместване на земните блокове, което е характерно за тези разломни зони.

Заклучението от представените данни и доказателства, отхвърлят напълно хипотезата за изкуствено въздействие при генерирането на силните трусове в Турция от 6.2.2023г.

4. Земномагнитно оръжие

Друга конспиративна хипотеза спекулира с възможностите за изкуствено променяне на поляритета на магнитното поле на Земята. Понеже това е все още една от загадките на планетата – как се генерира и поддържа магнитното поле на Земята и защо периодически смена поляритета си(?) ,то е благодатна почва за спекулации и манипулации. Независимо, че човечеството е преживяло (най-вероятно – една или няколко) смени на поляритета, се смята че това явление не е жизнено застрашаващо живота на човечеството, но подобна промяна, понеже става относително бавно, може да доведе до снижаване на защитното действие на йоносферата и от там до поражения освен върху хората и до негативни ефекти върху всички електронни системи на Земята.

Подобни тези се подкрепят и от изследванията на Н.Тесла, който успява да създаде изключително мощни магнитни полета и приживе се хвали, че е в

състояние да произведе оръжие, което да разцепи Земята, чрез действие върху ядрото ѝ. Към момента науката не смята, че е възможно толкова силно енергетично въздействие, което да доведе до подобни ефекти.

5. Йоносферни въздействия и последици

Покрай спекулации в медиите, отново изникнаха имената на най-споменаваните от конспиративните кръгове, устройства за въздействия върху йоносферата (HAARP, SURA, EISCAT). Важно е да се отбелжи, че йоносферата е един от най-интересните слоеве над земната атмосфера. Простира се на височини от около 80-90 км до към 600 км над земната повърхност. Още Никола Тесла забелязва странните свойства на йоносферата и предлага един неизчерпаем източник на електричество. Единственият му проблем е бил да намери такъв материал, с който да достигне тези височини и този материал да е електропроводник (сега човечеството разполага с подобни материали – наричат ги „графени“). Всичко това е следствие на факта, че в йоносферата има неизброимо количество електрически заредени честици йони (от там и името), които могат да потекат към Земята, стига да им се осигури този проводящ канал. Има и още нещо – йоносферата променя значително дебелината си в зависимост от това дали е ден, или нощ, както и сезонно. И най-важното, което науката (и най-вече практиката) установяват. Това е вълноводен слой през който могат да се разпространяват радиовълните.

И от тук започват активните експерименти за въздействия върху йоносферата, защото се оказва, че измененията в дебелината и проводимостта на този слой, може да се очаква, че влияе върху земната атмосфера, в която се развиват всички метеорологични явления (този слой носи името „тропосфера“ и се простира на около 10-ина км над земната повърхност).

Небезинтересен е и фактът, че всички подобни устройства са разположени в северното полукълбо – точно, където е разположена и по-голямата част от населението, както и най-обемния икономически потенциал на планетата.

6. Как става всичко това?

В средата на 80-те години на миналия век, големите военни сили (САЩ, СССР и др.) осъзнават, че ако могат контролирано да увеличават/намаляват мощността на йоносферата и да променят нейната електропроводност, това може да доведе до военно предимство. Оказва се, че радарите „започват“ да виждат вражеските ракети отвъд хоризонта, като по този начин се осигурява повече време за противоракетната отбрана.

Така започва изграждането на гигантски антенни съоръжения с които се „помпа“ електромагнитна енергия в йоносферата в много широк честотен диапазон – от около 200 MHz до близо 1GHz .

Това са:



Фиг. 5. *EISCAT (European Incoherent Scatter Scientific Association).*

Изграждането му започва още през 1975 г., страните основателки са Норвегия, Швеция, Финландия, в последствие се присъединяват Япония, Китай, Южна Корея и най-вече Великобритания. Сумарната мощност на съоръженията достига 1GW – колкото на АЕЦ Козлодуй. Устройствата са разположени в различни локации – край Кируна (Швеция), Трьомсьо (Норвегия), Соданкиля (Финландия), Свалбад (Норвегия).

„СУРА“ (1981 г.), разположена близо до град Васильсурск, Русия (фиг.6.), е един от първите в света изследователски центрове с „йоносферен нагревател.“ Има мощност от 190 MW. Други такива съоръжения, собственост на Руската федерация, има край Душанбе (системата „Хоризонт“) и Змийов („УРАН-1“).

1993г. - създадена е HAARP (High Frequency Active Auroral Research Program) – 3.9 MW мощност, край Гейкона, Аляска. През 2014 г. военната дейност на HAARP е прекратена и съоръжението официално е прехвърлено на Университета във Феърбанкс (фиг.7).

Всички съоръжения се финансират основно по военни програми, като само **EISCAT** публикува и експериментите си, които имат предимно граждански задачи - научна и практическа стойност – например следят за падащите предмети от космическия „боклук“, резултат от множеството сателити, които излизат извън контрола на създателите си.



Фиг. 6. СУРА



Фиг. 7. HAARP (High Frequency Active Auroral Research Program)

МОЖЕ ЛИ НАУКАТА ДА ОТГОВОРИ ЕДНОЗНАЧНО НА ВЪПРОСА – ХААРП, СУРА, ЕЙСКАТ – ОРЪЖИЯ ЛИ СА, ИЛИ НАУЧНИ ЕКСПЕРИМЕНТИ?

„Конспираторите” хващайки се за военните програми, разбира се, разширяват възможните приложения на тези устройства. Стига се до твърдения, че всички бедствия на планетата се дължат на действието на излъчвателите. Споменават се земетресенията през 2004 г. в Индонезия (M9.1), Япония (2011 г.

M9.0) като и последвалите ги гигантски вълни цунами. После идва и Фукушима. После – Турция (6 февруари 2023). Изобщо широко поле за манипулации в най-широк диапазон. Не е забравено и „психотронното оръжие” и климатичните промени [5].

КАКВО КАЗВА ДНЕС НАУКАТА ЗА ВСИЧКО ТОВА?

1. За земетресенията и цунами. Всички научни изследвания на тези наистина станали вече грандиозни земни катаклизми показваха, че те са предизвикани от вътрешноземни причини и „енергетизирането” на йоносферата едва ли има значение за тяхната активизация.
2. Вярно е, че въздействията върху йоносферата, могат да предизвикат изменения в поведението на атмосферата по няколко линии:
 - промяна на електропроводността, а от там и изменения в електромагнитното поле на Земята (и особено на постоянното магнитно поле)
 - промяна в дебелината на слоя, а от там и влияния върху тропосферата (факт е разпръскването на дъждоносни облаци над Москва, за парада на Съветската армия през 1986 година – дали с помощта на СУРА или по друг начин (засега не е известно). Във всеки случай и ние имаме възможности и система за борба с градушките.
 - През 2017 година стана установен факт (направи го чрез изследванията си д-р Деян Гочев от Института за космически изследвания при БАН), че споменатите устройства, влияят върху много особения механизъм на „замръзване-размръзване” на ледените каши (вода + лед) в арктическите области. Д-р Гочев изследва тези процеси чрез един съвършено различен метод – т.н. SAR интерферометрия. Той по същество представлява радарни изображения на споменатите каши, като е потърсена корелация между процеса замръзване-размръзване и измененията в диелектричната проникваемост на водата.

И ТУК СЕ КРИЕ ИЗНЕНАДАТА!

Дали случайно или целенасочено (аз вярвам в предварително планирания експеримент) д-р Гочев открива зависимост, между работата на гореспоменатите устройства и процесите на „замръзване-размръзване”

Оказва се, че процесите „замръзване-размръзване” се влияят от излъчванията на устройствата – ХААРП, СУРА, ЕЙСКАТ. Връзката е установена единствено благодарение на обявените публично периоди на излъчване на ЕЙСКАТ. Да!, но подобни ефекти се наблюдават и по време на работа на СУРА и ХААРП. Така лъсва заблудата, че ХААРП не работи. Работи, и още как! И така – какво следва от това?

Важен въпрос, отговорът на който може да възбуди още конспирации, или да разкрие научните основи в промяната на климата.

Защото процесите „замръзване-размръзване” са свързани с отделянето (поглъщането) на огромни дози топлинна енергия. Ако става дума за площи от няколко квадратни километра, изглежда няма особен проблем. Но ако площите са наколкостотин (или няколко хиляди) квадратни километра, отделената (погълнатата) топлина може драстично да промени метеорологичното време. При това на големи разстояния от „ледената каша”. Едва ли твърдението за климатичните промени, може да се обясни с работата на йоносферните устройства. Но!, съществува напълно правдоподобна хипотеза, че подобни влияния НЕ СА ЗА ПРЕНЕБРЕГВАНЕ!

Защото, на всеки начинаещ метеоролог е известно, че процесите в атмосферата са силно нелинейни. На по-елементарен език, това означава ясно изразен „ефект на пеперудата”. Формулиран е през 30-те години на миналия век от холандеца Хендрик Лоренц – нобелист и гениален математик. Краткото му описание (по памет) е, че „ако една пеперуда размаха крилца в Бискайския залив, това може да предизвика ураган над Мексиканския.” Подобни силно чувствителни нелинейни системи (наричани често „атрактори“) имат странно и непредсказуемо поведение и това дава обилна храна на конспираторите.

7. Психотронните влияния

Психотронните оръжия са основен източник на спекулации, манипулации и машинации. Базират се на разработваните от великите сили на проекти за активно влияние върху мозъчната дейност на хората. Основава се на възможността чрез мощни електромагнитни импулси, да се влияе върху поведенческите характеристики на групи от хора (най-вече армейски части, групи от масови протести и др.). Има данни, че подобни експерименти са провеждани във военните лаборатории и те са свързани с т.н. „електромагнитен импулс (ЕМИ)” – фактор, генериран винаги при ядрени изпитания. Освен това е известно, че честоти около 9 Hz имат силно негативно влияние върху човешката психика, предизвикват безпокойство, страх и други физиологични реакции и като цяло създават силен дискомфорт у хората. При това, става дума, както за електромагнитни пулсации, така също и за вибрационни вълни и други подобни колебания.

По-внимателното разглеждане на йоносферните устройства, обаче показва други характеристики – значително по-високи честоти (все още недобре изучени относно физиологичното им въздействие) и най-вече – вертикална насоченост на излъчвателите. Това в голяма степен би снизило възможните въздействия върху психиката на хората. Не, че подобни експерименти за влияние върху човешката психика не се правят и с други субстанции – газове, течности, твърди и прахообразни вещества и аерозоли.

И така - SUMA-SUMARUM (вместо Заключение)

- Съществуват устройства за активно въздействие върху йоносферния слой на Земята.

- Не е възможно прякото и/или косвеното им въздействие върху бедствени процеси в твърдата Земя – земетресения, свличания, пропадания, вулкански изригвания.

- Съществува значителна вероятност, подобни излъчватели, да влияят (на принципа на „пеперудата“) върху силно нелинейни атмосферни процеси на глобално ниво.

- Едва ли подобен разход на енергия има за цел психотронно въздействие върху широки маси от хора.

- Военните приложения са във всякакво съмнение, но с навлизането на космическите технологии, ефективността им върху военните комуникации е силно ограничена.

Все пак, нека не забравяме, че огромни количества електромагнитна енергия, често се отправят към йоносферата на Земята....

ЛИТЕРАТУРА

[1] <https://www.google.com/search?q=npp+in+turkey&rlz>

[2] http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/wp-content/uploads/2023/02/20230206_0117_GAZIANTEP.pdf

[3] <https://www.google.com/search?q=turkey+military+bases+map&rlz>

[4] <https://depem.afad.gov.tr/depem-tehlike-haritasi>

[5] https://en.wikipedia.org/wiki/Ionospheric_heater#:~:text=An%20ionospheric%20heater%2C%20or%20an,the%20ionosphere%20and%20upper%20atmosphere

АЕРОДИНАМИКАТА И НЕЙНИТЕ ПРИЛОЖЕНИЯ!

Кристиан Тихомиров Атанасов

Факултет английско инженерно обучение, ТУ-София, бул. "Кл. Охридски" №8, София 1000
e-mail: christian.t.atanasov@gmail.com/ katanasov@tu-sofia.bg

Ключови думи: плътност, въздушен поток, обтекаемо тяло, аеродинамичен профил, ъгъл на атака, CFD, уравнения на Навие-Стокс, принцип на Бернули, ефектът на Вентури.

1. Увод

Аеродинамиката (от гръцки $\alpha\pi\rho$ аир – въздух, и $\delta\upsilon\upsilon\alpha\mu\iota\varsigma$ динамис –движеща сила).

Аеродинамиката е начинът, по който обектите се движат във въздуха. Правилата на аеродинамиката обясняват как един самолетът може да лети. Всичко, което се движи във въздуха, се подчинява на законите на аеродинамиката, от изстрелване на ракета до начина, по който лети едно хвърчило. Тъй като са заобиколени от въздух, дори колите се влияят от аеродинамиката.

2. Аеродинамиката - история, основните предмети на изследване на аеродинамиката, интересни приложения

2.1 История

Съвременната аеродинамика датира едва от 17 век, но аеродинамичните сили са били познати на хората в продължение на хиляди години примери за това са платноходките и вятърните мелници, както и изображения и истории за летене, които присъстват в цялата записана история, като например древногръцката легенда за Икар и Дедал. Фундаменталните понятия като непрекъснатост на потока, челно съпротивление, налягане се появяват още в работата на Аристотел и Архимед.

През 1726 г. сър Исак Нютон става първият човек, който развива теория за съпротивлението на въздуха, което го прави един от първите аеродинамици. Холандско-швейцарският математик Даниел Бернули го последва през 1738 г. с Хидродинамика, в която той описва фундаментална връзка между налягането, плътността и скоростта на потока за несвиваем поток, известен днес като принцип на Бернули, който осигурява един метод за изчисляване на подемната сила. През 1757 г. Леонхард Ойлер публикува по-общите уравнения на Ойлер, които могат да бъдат приложени както към свиваеми, така и към несвиваеми флуиди.

През 1799 г. сър Джордж Кейли стана първият човек, идентифицирал четирите сили на полета (тегло, подемна сила, челно съпротивление и тяга), както и връзките между тях и по този начин очерта пътя към постигане на полет с по-тежки от въздуха апарати през следващия век.

2.2 Основни предмети на изследване на аеродинамиката:

- *Определение на силите, действащи на обтекаемо тяло;*
- *Разпределение на скоростта на газовете.*

Аеродинамиката има широка приложимост както в авиацията и ракетостроенето, така и в автомобилостроенето и дори в архитектурата.

Аеродинамиката се използва в архитектурата, като например формата и ориентацията на една сграда могат да бъдат проектирани така, че да намалят натоварването от вятър и да подобрят енергийната ефективност. Това може да се постигне чрез използване на аеродинамични тунели и симулации на изчислителна динамика на флуидите (CFD) (преведено от английски - Изчислителната динамика на флуидите е клон на механиката на флуидите, който използва числен анализ и структури от данни за анализиране и решаване на проблеми, които включват флуидни потоци) за оптимизиране на формата и ориентацията на сградата. Освен това използването на естествена вентилация и системи за охлаждане може да бъде интегрирано в дизайна, за да се намали нуждата от механични системи за охлаждане.

Аеродинамиката играе решаваща роля за енергийната ефективност в посока икономия на гориво или електроенергия, особено в авиационната и автомобилната промишленост. В автомобилната индустрия аеродинамичните подобрения като намаляване на челната площ, оптимизиране на формата на превозното средство намаляват челното съпротивление и подобряват енергийната ефективност.

Бурж Халифа:

Бурж Халифа е най-високата сграда в света с височина от 828 метра. Дизайнът ѝ включва множество аеродинамични съображения за минимизиране на вибрациите, причинени от вятъра, и осигуряване на стабилност. Уникалната форма на кулата намалява натоварването от вятър върху сградата и свежда до минимум завихрянията на вятъра, намалявайки общата сила на вятъра върху конструкцията. Освен това сградата е оборудвана с настроен масов амортизатор, голямо тегло, което противодейства на всяко люлеене, причинено от вятър.

F1 и ефектът на Вентури:

Ефектът на Вентури е явление, при което флуидът се ускорява, когато се изтласква през тесен канал. Автомобилите от F1 се възползват от този ефект, като използват тесен канал между предната и задната ос, за да увеличат скоростта на въздуха, движещ се под колата, създавайки област с ниско налягане, която генерира притискаща сила. Новите правила във Формула 1

ограничиха размера на задното крило, карайки отборите да изследват други начини за **генериране на притискаща сила**, като максимизиране на ефекта на Вентури.

Аеродинамично облекло при колоездене:

В колоезденето аеродинамиката играе решаваща роля при определяне на представянето на колоездача. Аеродинамичните облекла, като кожени костюми и каски, са предназначени да намалят съпротивлението и да подобрят ефективността. Тези дрехи са изработени от материали, които намаляват съпротивлението на въздуха и са оформени така, че да подобрят въздушния поток около тялото на велосипедиста. Чрез намаляване на съпротивлението велосипедистите могат да постигнат по-високи скорости с по-малко усилия, което води до по-добро представяне.

3. Основни величини в аеродинамиката - Принцип на Бернули

Принципът на Бернули е фундаментална концепция в динамиката на флуидите, която описва връзката между скоростта на флуидите и налягането. Той гласи, че когато скоростта на флуида се увеличава, нейното налягане намалява и обратно. Този принцип често се използва за обяснение на подемната сила, генерирана от аеродинамичния профил, който е с формата на крило на самолет.

За да разберем принципа на Бернули, е важно да разгледаме включените величини. Те са:

Скорост на флуида: В случай на крило на самолет флуидът е въздух.

Налягане: Това е силата, упражнявана от флуида върху единица площ. В случай на крило на самолет, налягането е силата, упражнявана от въздуха върху повърхността на крилото.

Плътност: Това е масата на флуида за единица обем. В случай на крило на самолет, плътността е масата на въздуха за единица обем.

Принципът на Бернули гласи, че с увеличаване на скоростта на флуида налягането намалява. Това може да се обясни с факта, че тъй като флуидът се движи по-бързо, той трябва да измине по-голямо разстояние за същото време. Това означава, че има по-малко време за упражняване на сила върху повърхността, което води до по-ниско налягане. Обратно, когато скоростта на флуида намалява, налягането се увеличава.

В случай на крило на самолет, формата на крилото е проектирана да създава разлика в налягането между горната и долната повърхност. Извитата горна повърхност на крилото създава по-дълъг път за движение на въздуха, което води до по-ниско налягане върху горната повърхност. Междувременно плоската долна повърхност създава по-къс път за движение на въздуха, което води до по-високо налягане върху долната повърхност. Тази разлика в налягането генерира подемна сила, което позволява на самолета да лети.

Разбирайки принципа на Бернули и включените величини, можем да задълбочим познанията си за физиката на въздушния поток и неговите приложения, като проектирането на самолетни крила.

4. Аеродинамични профили

Аеродинамичният профил е оформена повърхност, която е проектирана да създава подемна сила, когато се движи през флуид като въздух. Формата на въздушния профил е проектирана да създава разлика в налягането между горната и долната повърхност, което генерира подемна сила.

Съпротивлението е силата, която се противопоставя на движението през флуид, като въздух или вода. Причинява се от разликите в триенето и налягането между обекта и флуида. Колкото по-бързо се движи обект през флуид, толкова по-голяма става силата на съпротивление. Съпротивлението може да бъде намалено чрез рационализиране на обекта или използване на материали, които намаляват триенето.

Има няколко различни вида аеродинамични профили, но най-често срещаните са симетрични и извити профили. Симетричният профил има еднаква форма както на горната, така и на долната повърхност, докато извитият профил има извита горна повърхност и по-плоска долна повърхност.

Ъгълът на атака е ъгълът сключен между линията на хордата на аеродинамичния профил и посоката на потока. Линията на хордата е въображаема права линия, която минава от предния ръб до задния ръб на аеродинамичния профил. Ъгълът на атака е важен, защото той определя големината на подемна сила и челно съпротивление, което се генерира от аеродинамичния профил.

Когато ъгълът на атака е малък, въздухът тече гладко над горната и долната повърхност на аеродинамичния профил и разликата в налягането между двете повърхности е относително малка. С увеличаване на ъгъла на атака въздушният поток над горната повърхност на аеродинамичния профил става турбулентен, което води до намаляване на налягането. В същото време въздушният поток под аеродинамичния профил става по-турбулентен, което води до увеличаване на налягането. Тази разлика в налягането създава подемна сила, което позволява на аеродинамичния профил да лети. Критичният ъгъл на атака е ъгълът, при който въздушният поток над аеродинамичния профил става турбулентен и се отделя от повърхността, причинявайки (откъсване на потока) значително намаляване на подемната сила и увеличаване на съпротивлението. Това явление е известно като срив.

Срив възниква, когато ъгълът на атака надвиши критичния ъгъл, което води до отделяне на въздушния поток от горната повърхност на аеродинамичния профил, което води до намаляване на подемната сила и внезапно увеличаване на челното съпротивление. Това може да доведе до загуба на контрол над самолета, което може да бъде изключително опасно.

За да предотвратят сриване, пилотите трябва да са наясно с критичния ъгъл на атака за своя самолет и да избягват превишаването му. Това може да се постигне чрез регулиране на скоростта, надморската височина или ъгъла на атака на самолета.

Инженерите могат също така да проектират аеродинамични профили с характеристики, устойчиви на срив, като добавяне на генератори на вихри или промени във формата на аеродинамичния профил. Разбирането на критичния ъгъл на атака и ефектите от срив са от решаващо значение при проектирането и експлоатацията на самолетите.

Обобщавайки, въздушният профил е оформена повърхност, която генерира подемна сила, когато се движи през въздуха. Ъгълът на атака определя големината на подемна сила и челно съпротивление, които се генерират от аеродинамичния профил, а формата на аеродинамичния профил е проектирана да създава разлика в налягането между горната и долната повърхност.

5. Теоретична и експериментална аеродинамика

Експерименталното тестване включва физическо тестване на модели или прототипи в аеродинамични тунели или други експериментални установки. Чрез измерване на силите и натиска върху модела или прототипа можем да разберем как се държи флуида около обекта. Този подход предоставя данни от реалния свят, които могат да се използват за валидиране на теоретични модели и симулации. Въпреки това може да бъде скъпо и отнема много време и може да не е практично да се тества всяка промяна на дизайна.

От друга страна, теоретичното тестване включва използването на математически модели и симулации за предсказване на поведението на флуиди, без те да бъдат физически тествани. Теоретичното тестване обикновено е по-бързо и по-рентабилно от експерименталното тестване и ни позволява да тестваме много по-голям набор от итерации на дизайна. Въпреки това, той разчита на предположения и опростявания, които могат да доведат до неточности в прогнозите.

Един от основните инструменти, използвани в аеродинамиката, са уравненията на Навие-Стокс. Тези уравнения се използват за описание на движението на флуиди, включително въздух. Те са набор от сложни уравнения, които описват връзките между скоростта, налягането, температурата и плътността на флуида. Докато уравненията на Навие-Стокс са много важни за разбирането на динамиката на флуидите, те могат да бъдат доста сложни и изискват усъвършенствани математически познания, за да бъдат напълно разбрани.

Не е необходимо да разбираме уравненията на Навие-Стокс в детайли, за да оценим важността им. Те се използват в изчислителната динамика на флуидите за симулиране на въздушен поток над обекти и оптимизиране на дизайна за подобрена производителност. Чрез провеждане на симулации, базирани на

уравненията на Navier-Stokes, можем да предвидим подемна сила на флуидите и да оптимизираме дизайна, за да минимизираме съпротивлението, да увеличим подемната сила и да подобрим общата ефективност.

Важно е да се отбележи, че докато теоретичното тестване може да бъде по-бързо и по-рентабилно от експерименталното тестване, всеки достоен инженер знае, че компютърните модели и анализи трябва да бъдат посрещнати с правилно тестване в реалния живот.

Както експерименталното, така и теоретичното изпитване имат своите предимства и недостатъци и често се използват в комбинация, за да се получи по-пълно разбиране на поведението на флуидите в аеродинамиката. Като използваме експериментално тестване за валидиране на теоретични модели и симулации, можем да подобрим точността на нашите прогнози и да оптимизираме дизайна за по-добро представяне.

Всъщност много инженерни проекти разчитат на комбинация от експериментални и теоретични тестове. Теоретичното тестване може да се използва за генериране на първоначални концепции за дизайн, които след това могат да бъдат усъвършенствани и оптимизирани чрез експериментално тестване. Използвайки и двата подхода, можем да постигнем по-добри резултати и да проектираме по-ефективни продукти.

6. Заключение

В заключение, проучихме основните принципи на аеродинамиката и нейните приложения в различни индустрии. Научихме за ключовите термини като подемна сила, челно съпротивление и аеродинамичен профил и тяхното значение в дизайна и работата на различни обекти, включително самолети, автомобили и спортно оборудване. Също така обсъдихме значението на експерименталното тестване във връзка с компютърното моделиране и анализ. Освен това разгледахме критичния ъгъл на атака и срыв, както и ефекта на Вентури в състезателни автомобили от Формула 1 и аеродинамично облекло за колоездачи. Разгледахме Бурж Калифа и как неговият уникален аеродинамичен дизайн допринася за неговата стабилност и структурна цялост.

Като цяло, аеродинамиката играе решаваща роля в оформянето на света около нас и нейното изучаване ще продължи да води до напредък в различни индустрии в бъдеще.

ЛИТЕРАТУРА

[1] What Is Aerodynamics? | NASA

[2] Aerodynamics - Wikipedia

[3] What Are Navier-Stokes Equations? Documentation | SimScale

[4] Диан Н. Гешев „АЕРОДИНАМИКА НА ЛЕТАТЕЛНИТЕ АПАРАТИ“

ПОДВОДНИ ЕКСПЛОЗИИ

Камен Граматиков

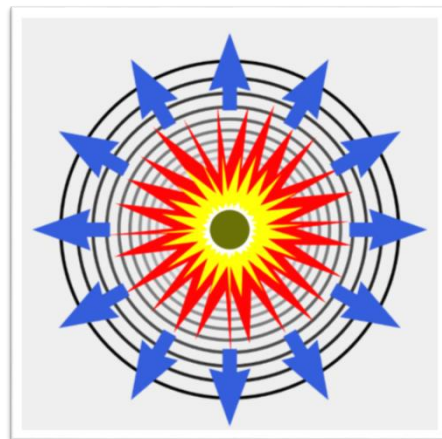
Факултет по транспорта, ТУ-София, бул. „Кл. Охридски“ №8, София 1000,
email: kgramatikov@tu-sofia.bg

Резюме. С развитието на човечеството и създадените от него технологии, неизбежно се е достигнало до тяхната употреба и във военното дело. Докато повечето от нас са наясно с основните аспекти на сухоземната война, много често морският ѝ аналог остава пренебрегнат. По тази причина в рамките на този доклад ще разгледаме физиката зад една експлозия, ключовото значение на средата, в която тя се случва, както и приложението на наученото през вековете в съвременното производство на различни видове морски мини. Същевременно ще коментираме и мерките, които могат да се предприемат за неутрализирането на морските мини, както и техните предимства и недостатъци.

Ключови думи: експлозия, взривна вълна, налягане, осцилация, разрушаване

1. Какво представлява една експлозия?

Преди да започнем с анализа на подводните мини и техните последствия, нека разгледаме физическите процеси, които протичат по време на една експлозия. Важно е да отбележим, че в природата има различни видове експлозии, като в рамките на този доклад ние ще се фокусираме върху тези с химичен източник. Специално избрано за целта вещество, най-често след внезапно окисляване, започва да отделя енергия толкова бързо, че поражда свърхзвукова взривна вълна, която се разпространява във всички направления спрямо центъра (локацията на взривното устройство). Освен това наблюдаваме значително нарастване както на температурата така и на налягането, отново в центъра на експлозията, като второто се разпространява радиално, заедно с пътуването на взривната вълна (фиг. 1).



Фиг.1

2. Ключови фактори, които разглеждаме когато анализираме експлозиите

Когато разглеждаме характеристиките на една експлозия и опитваме да оценим щетите, които тя ще причини, разглеждаме три основни параметъра:

$$f = u + w + v$$

$$= \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

- 1) Зона с опасно висока температура – както вече споменахме, при настъпването на експлозията наблюдаваме отделяне на значително количество топлина. То обаче е от значение най-вече при ядрени и термобарични експлозии, където е в състояние да нанесе значителни щети в голям радиус. При конвенционалните експлозии, върху които ние ще се фокусираме, зоната с опасно висока температура е относително малка, разсейва се бързо поради топлообмена с околната среда и може да бъде пренебрегната при по-нататъшния анализ.
- 2) Ускоряване на шрапнели – пряко следствие от разпространението на свръхзвуковата взривна вълна е внезапното ускорение на всички незакрепени и лесно чупливи предмети по посока на движението на вълната. Всеки един предмет, без значение дали от дърво, пластмаса, метал или друг материал може да се превърне във високоскоростен шрапнел, който да причини значителни щети както на екипировка, така и на хора по пътя си. Военната история е показала, че много често, при една експлозия, травмите причинени от шрапнели са много повече и по-сериозни от тези породени от самата взривна вълна. В това отношение водната среда предпазва от шрапнели много по-добре от въздушната – съпротивлението на водата е толкова голямо, че дори куршум пътуващ през нея с максимална начална скорост губи цялата си кинетична енергия след само няколко метра път и пада на дъното без да е достигнал целта си.
- 3) Разпространение на взривната вълна – тя се разпространява радиално и, както вече споменахме, най-често е свръхзвукова. Тук също наблюдаваме коренно различно поведение в зависимост от средата, в която се провежда експлозията. При детонация на взривно устройство във въздушна среда, взривната вълна относително бързо започва да губи енергията си, понеже сгъстява въздуха, през който преминава. При стандартни условия обаче водата почти не може да бъде компресирана, следователно загубите от енергията на взривната вълна при преминаване през нея са многократно по-малки и тя ще е в състояние да пропътува много по-голямо разстояние преди да заглъхне. Ускорената водна маса, бидейки много по-тежка от въздуха, ще се превърне в своеобразен чук, който ще се сблъска с всеки обект по пътя си и ще причини значително повече щети. Всеки един кух предмет (белите дробове в тялото ни или конструкция на кораб/подводница) би бил смачкан под огромния натиск, който водата упражнява върху него, докато идентична експлозия във въздушна среда би била безвредна за описания обект.

3. Формиране на пулсиращ въздушен мехур във водна среда и анализ на някои от неговите особености

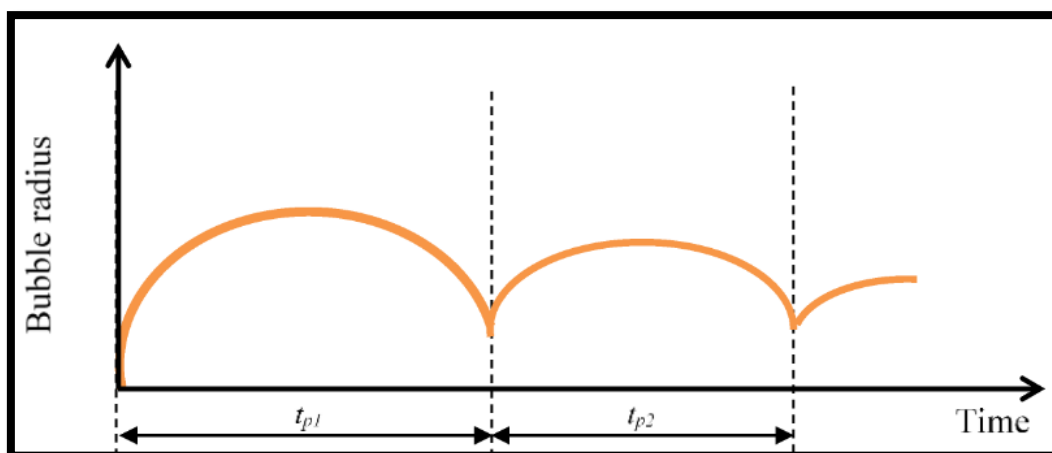
След като обсъдихме ключовото значение на средата, в която протича един взрив, е време да коментираме и друг изключително интересен аспект на подводните експлозии – формирането на подводен въздушен мехур. При настъпването на експлозията газовете, отделени от взривното вещество, в комбинация с огромното налягане, на което са подложени, образуват въздушен мехур, който изключително бързо се разширява във всички направления (фиг. 2). Инерцията, придадена му от взривната вълна, е толкова голяма, че той продължава да се разширява дори след като премине отвъд хидростатичното налягане на заобикалящата го среда. На един етап, неизбежно, той все пак се срива под натиска на водата около него и се връща до началната си точка. В много ситуации в този момент настъпва повторно, макар и по-слабо разширение, което може да бъде повторено многократно – въздушният мехур осцилира, докато не заглъхне окончателно.



Фиг. 2

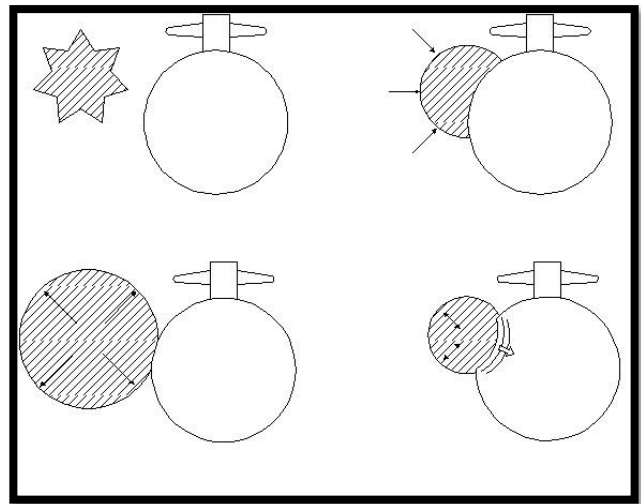
На фиг. 3 е показан пример промяната на радиуса на въздушния мехур при повторението на всеки цикъл. Както забелязваме, по абсцисата и ординатата няма отбелязани точни стойности, тъй като те силно зависят от много фактори:

- видът на експлозива
- количеството на експлозива
- плътността и свиваемостта на заобикалящия флуид
- хидростатичното налягане, пряко зависещо от дълбочината на експлозията



Фиг. 3

Допълнителна опасност при пулсирането на подводния въздушен мехур е неговото държане по време на осцилациите си. При наличие на твърда повърхност в близост до него, той практически се „долепва“ към нея (фиг. 4), докато продължава да се свива и разширява изключително бързо. Това, в комбинация с вече коментиранията взривна вълна, почти сигурно ще доведе до катастрофални последици за корпуса на конкретното плавателно средство.



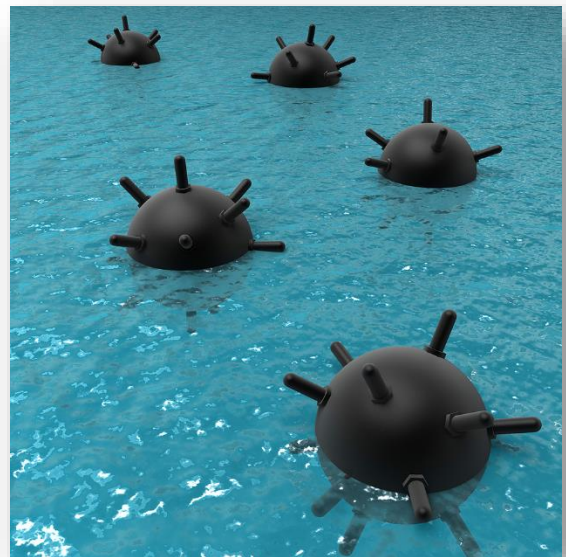
Фиг. 4

4. Различни видове морски мини

След като разгледахме част от физичните процеси зад една подводна експлозия, ще коментираме тяхното приложение в създаването на различни видове морски мини. Това, че те се наричат „морски“ не означава, че не могат да бъдат използвани и в сладководни акватории (било то реки или езера).

4.1. Контактна плаваща мина (Contact mine)

Може би най-известния вид мини (фиг. 5), техният механизъм на действие е изключително семпъл. Те плават необезпокоявано по повърхността на водната маса в която са поставени и при контакт с плавателно средство се взривяват. Простотата на производството им ги прави изключително евтини. Същевременно обаче, именно фактът, че стоят на нивото на повърхността носи и два ключови недостатъка: те са лесни за забелязване от противника и с лекота могат да бъдат отнесени от водните течения, превръщайки се в опасност както за врага, така и за този, който ги е поставил. Именно тези техни слабости мотивират военните инженери да търсят други, по-скъпи, но и същевременно по ефективни модели.



Фиг. 5

4.2. Котвена контактна мина (Moored contact mine)

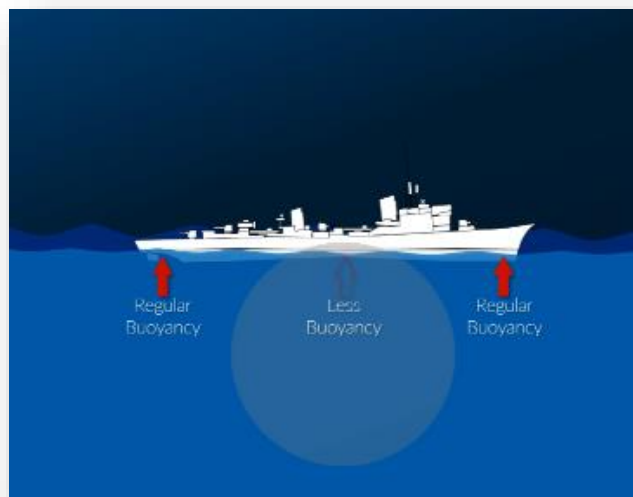
Когато прикрепим верига с тежест към вече разгледаната плаваща мина получава котвена мина (фиг. 6) – тя има същия механизъм на активация, но стои закрепена и е практически независима от водните течения. При правилно изчисляване на дължината на веригата, една котвена мина ще бъде разположена малко под водната повърхност, така че лесно да бъде докосната от преминаващ кораб, но да бъде трудна за забелязване с просто око. Макар да са по-скъпи, тези мини са се доказали като по-трудни за обезвеждане и в много ситуации са били предпочитания вариант.



Фиг. 6

Друг плюс на подводните мини в сравнение с плаващите е и по-разрушителната експлозия. Както разгледахме в началото на доклада, взривната вълна е много по-ефективна при нанасяне на щети във водна среда, отколкото във въздушна. При повърхностните мини, голяма част от енергията на експлозията „се загубва“ във въздуха, докато при котвените такъв проблем не е наличен.

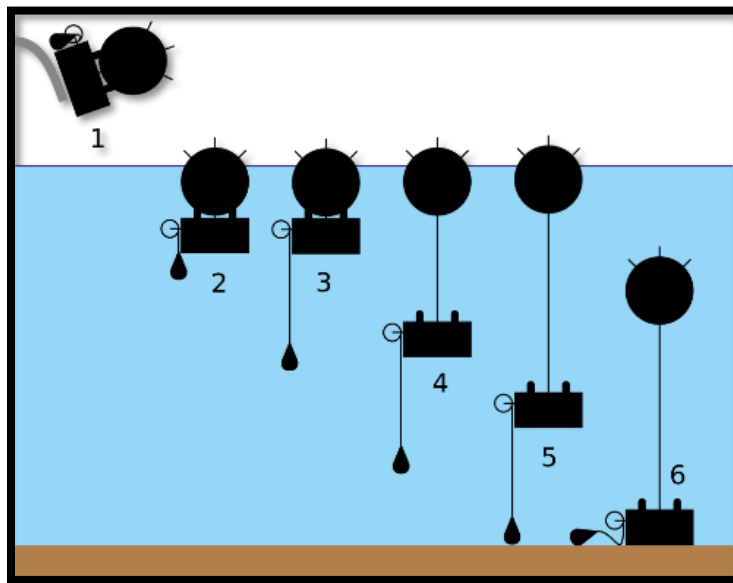
Подводните мини носят със себе си допълнителна опасност, която често остава пренебрегната при анализа им. Когато взривно устройство избухне под един кораб (фиг. 7), взривната вълна размества водата в околността и повдига кораба във вертикално направление. Макар и за кратко, в зоната на експлозията, където водата е заместена от различни газове, корабът губи своята плаваемост. Същевременно обаче в двата си края, където ефектът на експлозията вече е отслабен, водата е почти незасегната, съответно плаваемостта остава непроменена. Тази комбинация от обстоятелства води до огъването/пречупването на кила на кораба и неговото потъване в рамките на няколко минути.



Фиг. 7

4.3. Котвена мина с допълнителна тежест

По-скъпа версия на обикновената котвена мина, това което различава този вид от предшествениците им е допълнителното устройство, което е свързано с макара и вериги от двете си страни. При пускане на мината във водата (фиг. 8), тежестта се спуска към дъното, докато устройството и експлозива стоят на повърхността или близо до нея. Щом тежестта спре да се движи, допълнителното устройство започва да се пълни с вода и в



Фиг. 8

крайна сметка издърпва мината на предварително зададеното разстояние под повърхността. Макар и по-скъпи за произвеждане, тези мини са удобни с това, че могат да бъдат използвани във водни маси без дълбочината да е предварително проучена и в крайна сметка се налагат като едни от най-често използваните в световен план.

4.4. Дънна мина

Това, което прави тези мини толкова по-опасни, е постепенното им сливане с околната среда (фиг. 9). По този начин те могат да останат скрити в продължение на десетилетие и да продължават да причиняват щети много след като съответният конфликт е приключил.



Фиг. 9

Други методи за активация на морските мини

Освен чрез контакт с плавателния съд, морските мини могат да бъдат задействани и по много други начини. Някои от тях са:

- Чрез силите на електромагнетизма – към мината се добавя устройство, което засича промяната на магнитното поле на околната среда, причинена от корпуса на кораба и инициира експлозията
- Със сеизмичен сензор – мината засича преместването на слоевете вода, причинени от движението на кораба

- Чрез пасивен сонар – мината е оборудвана със сонар, който „слуша“ за предварително зададени звуци, свързани с движението на плавателни съдове във водата.

Разнообразието от методи за активация гарантира, че няма как всички мини поставени в рамките на един воден обем, да бъдат обезвредени с едно единствено действие. Някои от методите за борба с мините ще разгледаме в следващата точка.

5. Методи за противодействие на морските мини

Миночистачите (Minesweeper), както името подсказва, имат нелеката задача да обезвредят всички потенциални мини в рамките на конкретна акватория, преди през нея да могат да преминат други, по-ценни кораби. Най-известният метод, който се прилага срещу всякакъв вид прикачени към дъното мини е чрез прокарване на тънък стоманен кабел през веригите им, те да бъдат откачени, за да изплуват на повърхността, след което да бъдат неутрализирани по същата методика, която се използва срещу плаващите мини.

Друг интересен метод, ефективен срещу магнитни мини е създаването на изкуствено магнитно поле с цел тяхната преждевременна активация. Една от възможностите за това е монтирането на масивен електромагнит към самолет, който впоследствие преминава изключително ниско над водната повърхност и активира всички магнитни мини в даден коридор (фиг. 10). Макар и зрелищен, този метод е ефективен за сравнително малка площ, поради което се е прибегвало до друга методика – дебели кабели под огромно напрежение се пускат от кораб директно в солената вода, като по този начин се „прочиства“ значително по-голям обем от вода.



Фиг. 10

6. „Умни“ морски мини

Освен стандартните видове морски мини, които разгледахме в предишните страници, в експлоатация са вкарани и други, по-скъпи, но и същевременно по-трудни за откриване или неутрализиране. Много често вместо мина на дъното на водния обем се поставя цял торпеден апарат, който след засичане на кораб или подводница не се взривява, а изстрелва към нея торпедо, използвайки

краткото разстояние до мишената в своя полза, тъй като противникът е практически лишен от време за реакция.

Друг любопитен метод, станал по-лесен за реализиране с навлизането на микропроцесорите, е способността на мините да „броят“ корабите. Концепцията е следната: тъй като се предполага, че командващият на вражеския конвой ще разположи миночистачите си в предната част, а ключовите кораби след тях, то мината въпреки че е засякла преминаването на кораб, не се взривява мигновено, а изчаква още няколко кораба, като по този начин потопява значително по-ценна мишена и нанася по-големи загуби на противника.

7. Изводи

Както разгледаната теория, така и натрупаният през годините опит, са доказали, че са важни не само само видът на експлозива и неговото количество, а и средата, в която той бива взривен. Поради много по-слабо затихващата взривна вълна, подводните експлозии са значително по-опасни от въздушните си еквиваленти и представляват значителен риск за екипажите както на военни, така и на цивилни кораби и подводници.

Разнообразието от морски мини показва колко много ресурси и знания са вложени в разработването им, като същевременно позволява на армия със значително по-малки ресурси ефективно да възпре флота на противника от навлизане в конкретна акватория.

ЛИТЕРАТУРА

[1]<https://sldinfo.com/2012/07/an-act-of-war-the-law-of-naval-mining/>

[2]https://www.youtube.com/watch?v=W4DnuQOtA8E&ab_channel=MarkRober

[3]<https://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=2563&context=theses>

[4]<https://www.cdc.gov/masstrauma/preparedness/primer.pdf>

[5]<https://www.mdpi.com/2076-3417/10/10/3433>

[6]https://www.youtube.com/watch?v=UdFNuc5XtII&ab_channel=MilitaryHistoryVisualized

ПОКАЗВАНЕ НА ВЕКТОРИ С „GEO GEBRA“

Александър Брежников, Васил Мурджев и Ива Пенчева

Катедра Приложна Физика, ФПМИ, ТУ-София, бул. “Кл. Охридски” №8, София 1000
e-mail: pfkm2425@gmail.com

Резюме. GeoGebra е безплатен софтуер за преподаване и обучение на природни науки и математика в рамките на началното училище до университетско ниво. Може да се използва като помощно средство при формулирането и доказването на геометрични предположения. В този доклад ще се използва за да се покажат някои от основните свойства на векторите.



Ключови думи: GeoGebra, вектор, базисна система, координати, скалар, скаларно произведение, векторно произведение, Якоби, Равнина

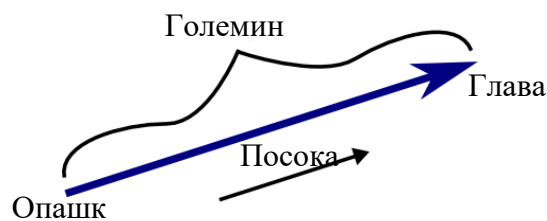
1. Увод

Представяне на сайт за изчисляване на векторни задачи и показване на теореми от векторната геометрия.

2. Модел, подход, метод, решение, експериментална постановка

Вектори

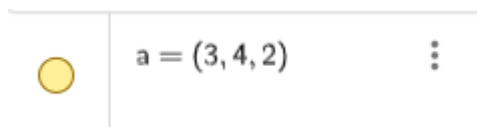
Векторът (фиг. 1) е тяло което има както големина така и посока. За визуализация може да си представим парче права линия чиято дължина е равна на големина и, а стрелката сочи към посоката и. Той се разглежда от опашката към главата и се описва с n -на брой координати.



Фиг. 1. Вектор

3. Начертаване на вектор в GeoGebra

Начертаване, чрез въвеждане на желаните координати (x, y, z) (фиг. 2)



Фиг. 2. Вектор в GeoGerba

Начертване, чрез декартовата базисна система (фиг. 3) $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ на вектора \vec{a} (фиг. 4)

●	$i = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$	⋮
●	$j = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$	⋮
●	$k = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$	⋮

Фиг. 3. Базисни вектори

●	$a = 1i + 2j + 2k$	⋮
	$= \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 2 \end{pmatrix}$	

Фиг. 4. Вектор представен с базисните вектори

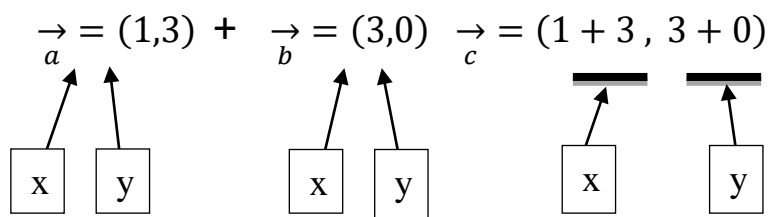
4. Събиране на два вектора

Основно се прилагат при два вида вектори двумерни (2D) и тримерни (3D):

Събиране на двумерни вектори (2D): $\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$.

В GeoGebra синтаксиса е: (“c = a + b”), като a и b са предварително зададени техните (x,y) координати.

Принцип на работа:









Пояснение
 При 2D: (x,y) -> са координати на векторите
 При 3D: (x,y,z) -> са координати на векторите

Събиране на три тримерни вектори (3D) :

$$\vec{a} + (\vec{b} + \vec{c}) = \vec{b} + (\vec{c} + \vec{a}) = \vec{c} + (\vec{a} + \vec{b}) = \text{const}(x, y, z)$$

В GeoGebra синтаксиса е: (“u= a + b + c”), като \vec{a} , \vec{b} и \vec{c} са предварително зададени, както и техните (x , y , z) координати.

Доказателство и визуализация, чрез GeoGebra във векторите $\vec{f}_1, \vec{f}_2, \vec{f}_3$ (фиг.5)

	$u = a + b$ $= \begin{pmatrix} 0 \\ 8 \\ 5 \end{pmatrix}$		$v = b + c$ $= \begin{pmatrix} -5 \\ 1 \\ 5 \end{pmatrix}$		$w = a + c$ $= \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 4 \end{pmatrix}$
	$f1 = u + c$ $= \begin{pmatrix} -2 \\ 5 \\ 7 \end{pmatrix}$		$f2 = a + v$ $= \begin{pmatrix} -2 \\ 5 \\ 7 \end{pmatrix}$		$f3 = w + b$ $= \begin{pmatrix} -2 \\ 5 \\ 7 \end{pmatrix}$

Фиг. 5. Сума на вектори в различен ред

5. Скаларно и векторно умножаване на тримерни вектори (3D):

Скаларно умножение: (фиг. 6)

-Синтаксис в GeoGebra: $d = \text{Dot}(a, b)$

-Математически смисъл: Проекция

$$d = a \cdot b$$

$$= 2.25$$

Фиг. 6. Скаларно умножение

Векторно умножение: (фиг. 7)

-Синтаксис в GeoGebra: $c = \text{Cross}(a, b)$

-Математически смисъл: Площ

$$c = a \otimes b$$

$$= \begin{pmatrix} 0.25 \\ -0.25 \\ 0.25 \end{pmatrix}$$

Фиг. 7. Векторно умножение

Смесено произведение на три тримерни:
(фиг. 8)

-Синтаксис в GeoGebra:

$$(2)q = \text{Dot}(a, \text{Cross}(b, c))$$

-Математически смисъл:

Обем(Детерминанта)

$$q = a \cdot (b \otimes c)$$

$$= 0.19$$

Фиг. 8. Сума на вектори в различен ред

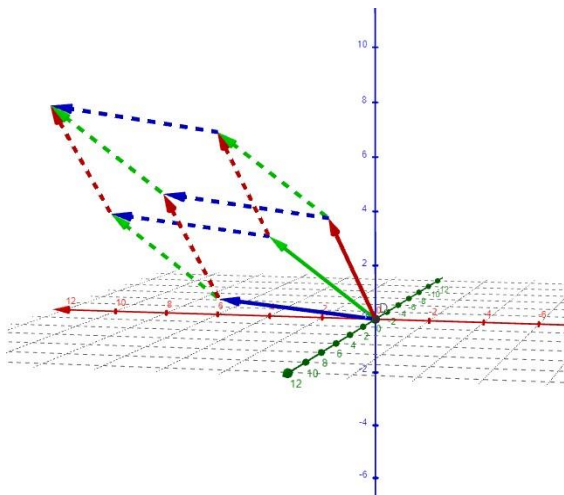
6. Смесени произведения

Смесеното произведение на три вектора представени в матрица по редовете, е същото като смесеното произведение на векторите образувани, чрез редовете на транспонираната матрица

*Математическо представяне: $|A| = \begin{vmatrix} 1 & 4 & 5 \\ 3 & 0 & 3 \\ 4 & 3 & 1 \end{vmatrix} = 72 = \begin{vmatrix} 1 & 3 & 4 \\ 4 & 0 & 3 \\ 5 & 3 & 1 \end{vmatrix} = |A^T|$

●	$a_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \\ 4 \end{pmatrix}$
●	$b_1 = \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \\ 3 \end{pmatrix}$
●	$c_1 = \begin{pmatrix} 5 \\ 3 \\ 1 \end{pmatrix}$
$V = (a_1 \otimes b_1) c_1$ $= 72$	

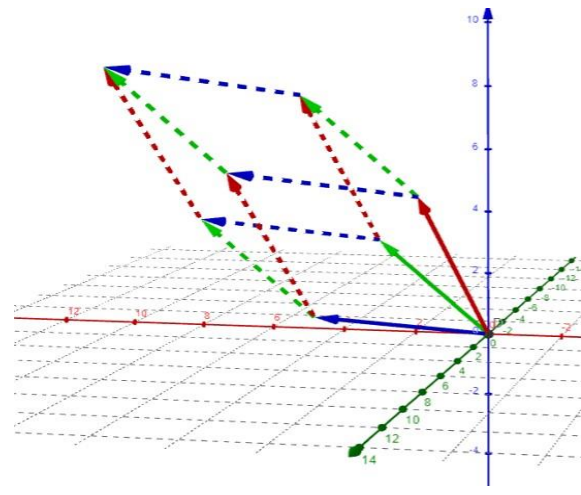
Фиг. 9. Смесено произведение на матрицата



Фиг. 11. Обем представен чрез първоначалните 3 вектора от ур. (3)

●	$a = \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 5 \end{pmatrix}$
●	$b = \begin{pmatrix} 3 \\ 0 \\ 3 \end{pmatrix}$
●	$c = \begin{pmatrix} 4 \\ 3 \\ 1 \end{pmatrix}$
$V = (a \otimes b) c$ $= 72$	

Фиг. 10. Смесено произведение на транспонирана матрица



Фиг. 12. Обем представен чрез транспонираните 3 вектора от ур. (3)

7. Равнини

С „GeoGebra“ могат да се показват равнини.

Създаване на равнина: (фиг. 12)

-Синтаксис:

$$\text{Plane}((0,0,0),a,b)$$

●	$a = \begin{pmatrix} 2 \\ 4 \\ 3 \end{pmatrix}$
●	$b = \begin{pmatrix} 1 \\ 5 \\ 2 \end{pmatrix}$
●	$p : \text{PerpendicularPlane}((0, 0, 0), \text{Vector}(a \otimes b))$ $= -7x - y + 6z = 0$

Фиг. 13. Равнина представена чрез GeoGebra

8. Векторно произведение

Чрез „GeoGebra“ може да се покаже, че реда на векторно умножение има значение.

*Ред на векторно произведение: (фиг. 14)

-Синтаксис:

$$(4)\text{Cross}(\text{Cross}(a,b),c)$$

$$(5)\text{Cross}(a,\text{Cross}(b,c))$$

●	$U = a \otimes (c \otimes b)$ $= \begin{pmatrix} 7 \\ -7 \\ 7 \end{pmatrix}$
●	$V = b \otimes (a \otimes c)$ $= \begin{pmatrix} -11 \\ 13 \\ -4 \end{pmatrix}$
●	$W = c \otimes (b \otimes a)$ $= \begin{pmatrix} 4 \\ -6 \\ -3 \end{pmatrix}$
●	$S = U + V + W$ $= (0, 0, 0)$

Фиг. 14. Представяне на чрез GeoGebra

Също така може да се покаже, че сумата на трите комбинации на три вектора е нула.

*Теорема на Якоби: (фиг. 13, 14, 15)

-Синтаксис:

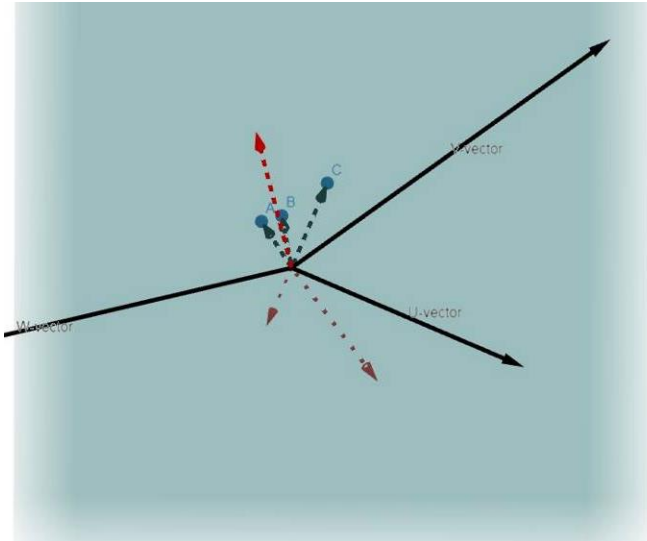
$$(6)\text{Cross}(\text{Cross}(a,b),c)$$

$$(7)\text{Cross}(\text{Cross}(b,c),a)$$

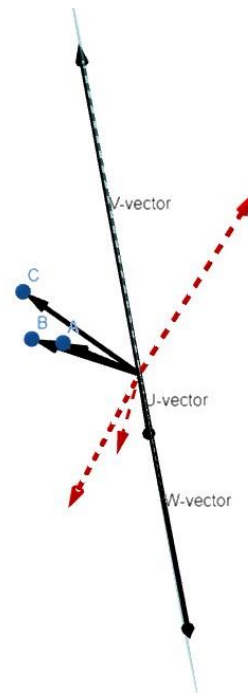
$$(8)\text{Cross}(\text{Cross}(c,a),b)$$

●	$u = a \otimes b \otimes c$ $= \begin{pmatrix} 4 \\ -6 \\ -3 \end{pmatrix}$
●	$v = b \otimes c \otimes a$ $= \begin{pmatrix} 7 \\ -7 \\ 7 \end{pmatrix}$
●	$w = c \otimes a \otimes b$ $= \begin{pmatrix} -11 \\ 13 \\ -4 \end{pmatrix}$
●	$f = u + w + v$ $= \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$

Фиг. 15. Теорема на Якоби



Фиг. 16. Визуализация на (фиг. 15)



Фиг. 17. Визуализация на (фиг. 15)

ЛИТЕРАТУРА

[1] К. F. RILEY, *Mathematical Methods for Physics and Engineering: A Comprehensive Guide 3rd Edition*, Cambridge University Press

[2] С. Алексеевич, С. Михайловна, *Геометрия с GeoGebra. Планиметрия* (2018)

[3] <https://www.youtube.com/playlist?list=PLqZ0eZtMcAlugmcomSSvjPBfewVbX35L7>

МЕТОД НА ВТОРИЧНОТО КВАНТУВАНЕ ЗА БОЗЕ СИСТЕМА

Мария Анатолиева Занева

Катедра Приложна Физика, ФПМИ, ТУ-София, бул. "Кл. Охридски" №8, България
e-mail: mariya.zaneva@gmail.com

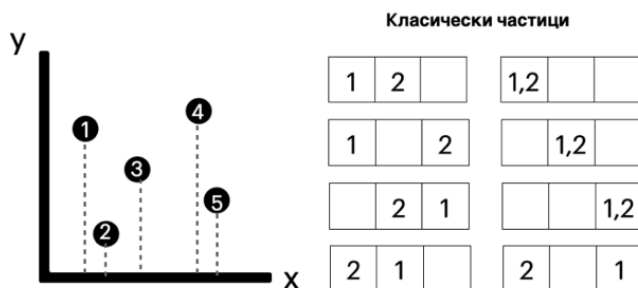
Резюме: В „първичното квантуване“ придаваме вълнов характер на класически частици като им придава вълнова амплитуда. Методът на вторичното квантуване взема вълнови полета и им възлага корпускулярен характер. Физичните състояния се описват от т.нар. числа на запълване – броят на частиците в дадено състояние вместо импулсите и координатите им. Въвеждат се оператори на създаване и унищожение, които позволяват описанието на добавянето или премахването на частици от дадено физично състояние. В доклада ще се запознаем с основните стъпки в математическия формализъм и ще изразим Хамилтониана на система бозони в метода на вторичното квантуване.

Ключови думи: вторично квантуване, квантова механика, бозони, тъждествени частици

1. Принцип на тъждествените частици – Класическа и квантова механика. Бозони и фермиони

Принципът на тъждествените частици въвежда една от основните разлики между класическата и квантовата механика. Докато в класическата механика идентичните частици са *различими* – следват определени траектории, които можем да проследим във всеки един момент от време, в квантовата механика това не е така. В класическия случай можем да „номериране“ частиците и с безкрайно голяма точност да определим импулсите и координатите им (фиг. 1).

В квантовата механика идентичните частици са *неразличими*. Можем да пресметнем единствено плътността на вероятността да намерим частицата около дадена точка x_0 (фиг. 2).

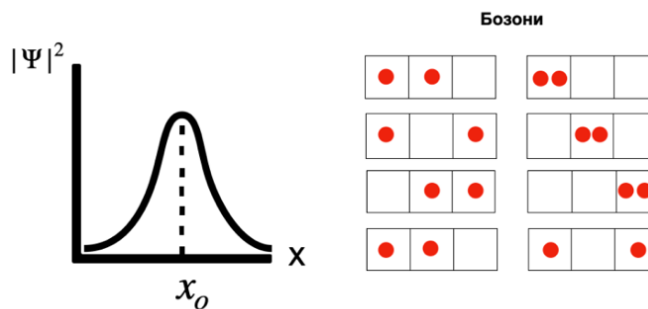


Фиг. 1 Класически частици. Изобразява "номерирането" на частиците и информацията за положението и импулса на всяка от тях.

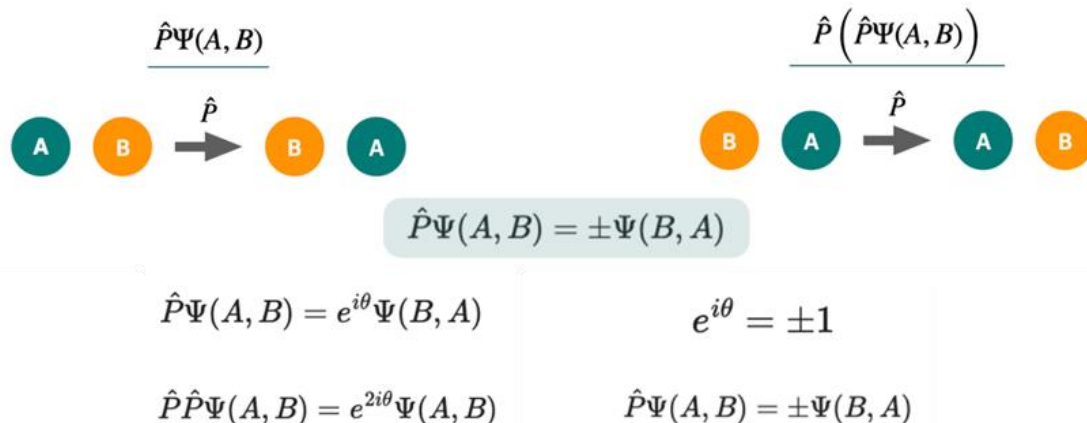
В действителност е без значение коя частица се намира в дадена позиция, тъй като при смяна на местата им системата остава непроменена.

Нека въведем оператор \hat{P} , който разменя местата на две частици като действа върху вълновата функция на системата (фиг. 3).

Ако повторно приложим оператора забелязваме, че на пръв поглед получената система е идентична с първоначалната, но виждаме появата на *фазов фактор* $e^{i\theta}$, който в зависимост от природата на частиците може да приема стойности -1 или $+1$.



Фиг. 2. Изобразява плътността на вероятността да намерим частицата около дадена точка и неразличимостта на бозоните.



Фиг. 3 Действие на оператора \hat{P} , който разменя местата на две частици

Оказва се, че **бозоните** се описват със симетрична вълнова функция и фазовият фактор е равен на единица. Тези частици са носители на взаимодействието, притежават цял спин и се подчиняват на Бозе-Айнщайн разпределението. От друга страна **фермионите**, които изграждат материята, се описват от антисиметрична вълнова функция – фазовият фактор е минус единица. Те имат полуцял спин и се подчиняват на разпределението на Ферми-Дирак.

В следващите примери ще разгледаме единствено системи от бозони, дори да не е изрично упоменато.

2. Метод на вторичното квантуване – Въведение

След въвеждането на оператора \hat{P} и принципа на тъждествените частици следва да представим основната идея зад метода на вторичното квантуване.

Той придава корпускулярен характер на вълновото поле в контраст с „първичното квантуване“, което придава вълнов характер на частиците. Например полето, което се асоциира с електромагнитното лъчение се интерпретира корпускулярно чрез *фотони*, а звуковото поле – чрез *фонони*.

Това представяне улеснява анализа на многочастичкови системи и редуцира задачата за N на брой тела до задача за едно тяло в термини на квазичастици.

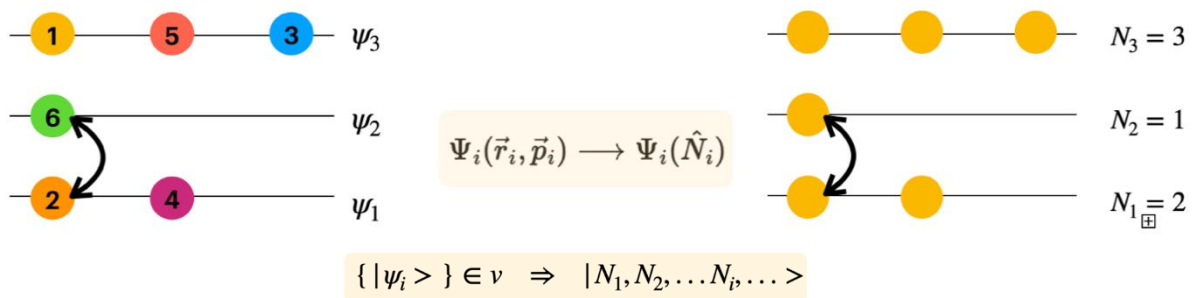
$$\Psi_i(\vec{r}_i, \vec{p}_i) \longrightarrow \Psi_i(\hat{N}_i)$$

Една от основните стъпки, която прави това възможно, е дефинирането на състоянията в системата чрез броя на частиците, които се намират в тях, а не чрез координатите и импулсите им:

Именно преминаването към т.нар. **числа на запълване** N_i , играещи ролята на независими променливи, ще е основната част от темата, която разглеждаме.

Следващата част ще е въвеждането на **оператори на създаване и унищожение** (\hat{a}^+, \hat{a}), които позволяват да се опише преминаването на частица от едно състояние в друго.

Първата стъпка е конструирането на математическия формализъм, в който числата на запълване N_i , определящи броя на частиците в състояние ψ_i , играят ролята на независими променливи. Нека да припомним, че в квантовата механика идентичните частици са **неразличими** и няма нужда да ги „номерираме“ както е показано отляво на фигура 4. Тъй като системата остава непроменена при размяна на местата им, е по-удобно да я опишем чрез броя частици N_i , които се намират в дадено състояние, вместо да се интересуваме от координатите на всяка поотделно.



Фиг. 4. Преминаване към числа на запълване N_i за описанието на състоянията в системата Ψ

Дефинираме вълновата функция на система от N на брой *невзаимодействащи* бозе частици:

$$\Psi_{N_1 N_2 \dots} = \sqrt{\frac{N_1! N_2! \dots}{N!}} \sum_p \psi_{p_1}(\xi_1) \psi_{p_2}(\xi_2) \dots \psi_{p_N}(\xi_N) \quad (1)$$

където $\Psi_{N_1 N_2 \dots}$ е вълновата функция на системата; $\sqrt{\frac{N_1! N_2! \dots}{N!}}$ е нормировъчен коефициент, който компенсира повтарящите се членове в сумата; N_i е броят на частиците в състояние ψ_i ; ξ_i са координатите на частиците, а p_i са индекси, които обозначават състоянието.

Сумата е по всички възможни пермутации на състоянията:

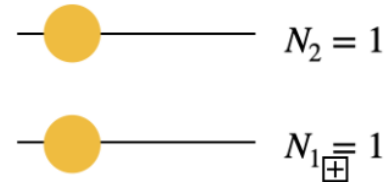
$$\begin{aligned} \sum_p \psi_{p_1}(\xi_1) \psi_{p_2}(\xi_2) \dots \psi_{p_N}(\xi_N) &= \psi_{p_1}(\xi_1) \psi_{p_1}(\xi_2) \dots \psi_{p_1}(\xi_N) + \\ &+ \psi_{p_2}(\xi_1) \psi_{p_2}(\xi_2) \dots \psi_{p_2}(\xi_N) + \dots \end{aligned} \quad (2)$$

Въвеждането на нормировъчния коефициент се налага поради неразличимостта на частиците и повтарящите се членове, които излизат от сумата при пермутациите им.

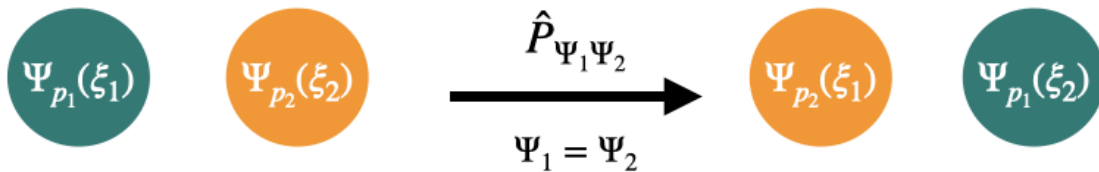
Нека разгледаме пример на вълнова функция от две *невзаимодействащи* бозе частици. Системата се състои от общо две състояния ($N = 2$) и по условие във всяко състояние има по една частица (фиг. 5).

Намираме нормировъчния коефициент:

$$\sqrt{\frac{N_1! N_2!}{N!}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$



Фиг. 5. Система от две състояния ($N=2$). Във всяко от състоянията се намира по една частица по условие.



Фиг. 6. Пермутация на две състояния

Записваме сумата на всички възможни пермутации (фиг. 6) на двата елемента като всяка от функциите в произведението се повтаря веднъж ($N_1 = 1, N_2 = 1$):

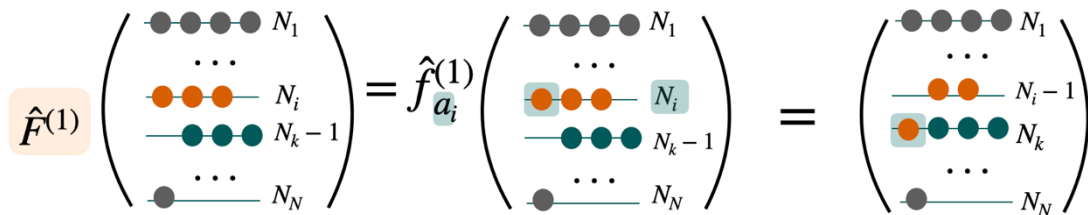
$$\Psi(\xi_1, \xi_2) = \frac{1}{\sqrt{2}} [\psi_{p_1}(\xi_1) \psi_{p_2}(\xi_2) + \psi_{p_2}(\xi_1) \psi_{p_1}(\xi_2)]$$

Има *два варианта* за всяка от частиците – първата да се намира в състояние p_1 , а втората - в състояние p_2 и обратното. Получаваме две различни микроскопични реализации на едно и също макроскопично състояние.

3. Математически формализъм. Едночастичков оператор.

Ще въведем оператор \hat{F} , който е съставен от едночастичковите оператори \hat{f}_a , всеки от които действа единствено върху a -тата частица. С действието на този оператор върху система от частици премества някои от тях от едно състояние в друго.

$$\hat{F}^{(1)} = \sum_{a=1}^N \hat{f}_a^{(1)} \tag{3}$$



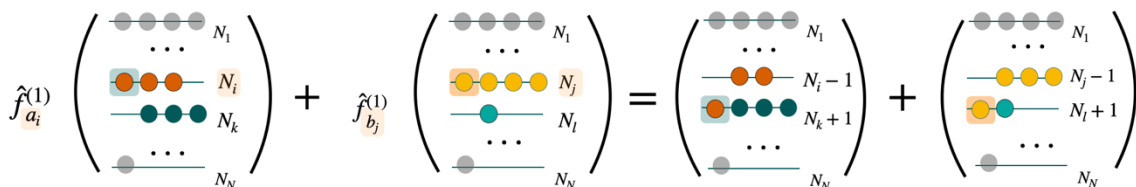
Фиг. 7 Пример - Действие на оператора $\hat{F}^{(1)}$, който премества частицата a , намираща се в състояние i , в състояние k . Тъй като броят на частиците в състоянията се променя, се променят и числата на запълване N_i, N_k

На Фигура 7 е изобразено действието на оператор, който премества само една частица от състояние i в състояние k . Като резултат виждаме и промяната в числата на запълване, изразяващи броя на частиците в даденото състояние - N_i намалява с единица, а N_k се увеличава с единица.

Ако с действието на оператора преместим две частици (a, b) – едната от състояние i преминава в състояние k , а другата – от j в l , то \hat{F} ще се състои от сумата на два едночастичкови оператора \hat{f}_{a_i} и \hat{f}_{b_j} . Действието на операторите е изразено на Фигура 8 чрез нотацията на Дирак, която се използва за удобство.

$$\begin{aligned} \hat{F}^{(1)} | \dots, N_i, N_j, N_k, N_l, \dots \rangle &= \hat{f}_{a_i}^{(1)} | \dots, N_i, N_j, N_k, N_l, \dots \rangle + \hat{f}_{b_j}^{(1)} | \dots, N_i, N_j, N_k, N_l, \dots \rangle = \\ &= | \dots, N_i - 1, N_j, N_k + 1, N_l, \dots \rangle + | \dots, N_i, N_j - 1, N_k, N_l + 1, \dots \rangle = \end{aligned}$$

Записваме само променените състояния = $| N_i - 1, N_k + 1 \rangle + | N_j - 1, N_l + 1 \rangle$



Фиг. 8 Действие на двата едночастичкови оператора \hat{f}_{a_i} и \hat{f}_{b_j} , които преместват частиците $a(i \rightarrow k)$ и $b(j \rightarrow l)$

Всеки от операторите действа само върху една частица и сумарното им действие, записано чрез нотацията на Дирак, показва промяната в числата на запълване на системата. С това виждаме и по-удобното и компактно описание на системи с голям брой частици, което методът предоставя.

Важна роля в пресмятанятията играят **матричните елементи** на оператора \hat{F} , които имат вида:

$$\langle N_i, N_k - 1 | \hat{F}^{(1)} | N_i - 1, N_k \rangle = f_{ik}^{(1)} \sqrt{N_i N_k} \quad (4)$$

където в бра- и кет-векторите са изразени състоянията на системата, а $f_{ik}^{(1)}$ е *матричният елемент на едночастичковия оператор $\hat{f}^{(1)}$* :

$$f_{ik}^{(1)} = \langle \psi_i | \hat{f}^{(1)} | \psi_k \rangle = \int \psi_i^* \hat{f}^{(1)} \psi_k d\xi \quad (5)$$

където ψ_i и ψ_j са базисните състояния.

Ако използваме нотацията на Дирак, то бра- и кет-векторите за система от три състояния, изразена чрез числата на запълване, биха изглеждали по следния начин:

$$|N_1 = 1, N_2 = 0, N_3 = 2\rangle = \sqrt{\frac{N_1! N_2! N_3!}{N!}} \sum_p |\psi_{p_1} \rangle_1 |\psi_{p_2} \rangle_2 |\psi_{p_3} \rangle_3 \quad (6)$$

$$\langle N_1 = 1, N_2 = 0, N_3 = 2 | = \sqrt{\frac{N_1! N_2! N_3!}{N!}} \sum_p \langle \psi_{p_1} |_1 \langle \psi_{p_2} |_2 \langle \psi_{p_3} |_3 \quad (7)$$

Пълната сума от пермутациите на всички състояния за примера е показана на Фигура 9.

$$\begin{aligned} \langle N_1 = 1, N_2 = 0, N_3 = 2 | &= \sqrt{\frac{N_1! N_2! N_3!}{N!}} \sum_p \langle \psi_{p_1} |_1 \langle \psi_{p_2} |_2 \langle \psi_{p_3} |_3 \\ &= \frac{1}{\sqrt{3}} (|\psi_1 \rangle_1 \langle \psi_3 |_2 \langle \psi_3 |_3 + |\psi_3 \rangle_1 \langle \psi_1 |_2 \langle \psi_3 |_3 + |\psi_3 \rangle_1 \langle \psi_3 |_2 \langle \psi_1 |_3) \end{aligned}$$

• Аналогично :

$$\langle N_1 = 1, N_2 = 0, N_3 = 2 | = \frac{1}{\sqrt{3}} (\langle \psi_1 |_1 \langle \psi_3 |_2 \langle \psi_3 |_3 + \langle \psi_3 |_1 \langle \psi_1 |_2 \langle \psi_3 |_3 + \langle \psi_3 |_1 \langle \psi_3 |_2 \langle \psi_1 |_3)$$

Фиг. 9 Пример за бра- и кет-векторите на система от три състояние ($N_1 = 1, N_2 = 0, N_3 = 2$)

4. Оператори на създаване и унищожение. Комутационни съотношения.

Следващата стъпка е да въведем операторите на създаване и унищожение, които играят основна роля в метода на вторичното квантуване и са широко използвани в квантовата механика. Използват се за описанието на многочастичкови системи, тъй като позволяват компактно да се представи прехода на частици в различни състояния.

Операторът на унищожение \hat{a}_i , както и името му подсказва, действайки върху състояние i на вълновата функция $\Psi_{N_1, N_2, \dots, N_i, \dots}$, намалява броя на частиците в него с единица:

$$\hat{a}_i \Psi_{N_1, N_2, \dots, N_i, \dots} = \sqrt{N_i} \Psi_{N_1, N_2, \dots, N_i-1, \dots} \quad (8)$$

Аналогично, **операторът на създаване** \hat{a}_i^+ увеличава броя на частиците в състоянието, на което действа, „създавайки“ частица в него:

$$\hat{a}_i^+ \Psi_{N_1, N_2, \dots, N_i, \dots} = \sqrt{N_i + 1} \Psi_{N_1, N_2, \dots, N_i+1, \dots} \quad (9)$$

Комутационните и антикомутационните съотношения (Фиг. 10) на двата оператора играят важна роля при пресмятанията.

• **Комутационни съотношения:**

$$[\hat{a}_i, \hat{a}_k^+] = \hat{a}_i \hat{a}_k^+ - \hat{a}_k^+ \hat{a}_i = \delta_{ik}$$

$$[\hat{a}_i, \hat{a}_k] = \hat{a}_i \hat{a}_k - \hat{a}_k \hat{a}_i = 0$$

• **Антикомутационни съотношения:**

$$\{\hat{a}_i, \hat{a}_k^+\} = \hat{a}_i \hat{a}_k^+ + \hat{a}_k^+ \hat{a}_i = \delta_{ik}$$

$$\{\hat{a}_i, \hat{a}_k\} = \hat{a}_i \hat{a}_k + \hat{a}_k \hat{a}_i = 0$$

Фиг. 10 Комутационни и антикомутационни съотношения на операторите на създаване и унищожение

Въвеждаме оператор на броя на частиците \hat{n}_i в състояние i , който се дава от произведението на операторите на създаване и унищожение:

$$\hat{n}_i = \hat{a}_i^+ \hat{a}_i \quad (10)$$

Ако сумираме по всички състояния ще получим общия брой на частиците в системата:

$$\hat{N} = \sum_i \hat{n}_i \quad (11)$$

Следва да изразим един оператор, който действа върху функции на координатите във формата на оператор, който действа върху функции на числата на запълване. За тази цел ще използваме именно нововъведените оператори на създаване и унищожение.

Едночастичков оператор $\hat{F}^{(1)}$, изразен в термини на \hat{a}^+ и \hat{a} има следния вид:

$$\hat{F}^{(1)} = \sum_{i,k} f_{ik}^{(1)} \hat{a}_i^+ \hat{a}_k \quad \equiv \quad \hat{F}^{(1)} = \sum_{a=1}^N \hat{f}_a^{(1)} \quad (12)$$

$k \rightarrow i$

Записът на (11) е аналогичен с (3). Нека отбележим, че операторите на създаване и унищожение са с различни индекси – те представят преминаването на една частица от състояние k в състояние i .

Двучастичков оператор $\hat{F}^{(2)}$, изразен чрез \hat{a}^+ и \hat{a} има вида:

$$\hat{F}^{(2)} = \frac{1}{2} \sum_{i,k,l,m} (f^{(2)})_{iklm} \hat{a}_i^+ \hat{a}_k^+ \hat{a}_m \hat{a}_l \quad \equiv \quad \hat{F}^{(2)} = \sum_{a>b}^N \hat{f}_{ab}^{(2)} \quad (13)$$

5. Оператор на Хамилтън

Да представим Хамилтониана на система от *взаимодействащи* частици. Дава от сумата на едночастичковия оператор $\widehat{H}_a^{(1)}$, отнасящ се за *a*-тата частица и от членове, които определят потенциалните взаимодействия между частиците:

$$\widehat{H} = \sum_a \widehat{H}_a^{(1)} + \sum_{a>b} U^{(2)}(\vec{r}_a, \vec{r}_b) + \dots \tag{14}$$

Операторът $\widehat{H}_a^{(1)}$ се състои от сумата на кинетичната енергия на *a*-тата частица и потенциалната ѝ енергия във външно поле:

$$\widehat{H}_a^{(1)} = -\left(\frac{\hbar^2}{2m}\right)\Delta_a + U^{(1)}(\vec{r}_a) \tag{15}$$

За система от *невзаимодействащи* частици от членовете в сумата остават единствено едночастичковите оператори $\widehat{H}_a^{(1)}$. Можем да ги изразим чрез операторите на създаване и унищожение, аналогично на (12). За вида на Хамилтониана на невзаимодействаща система получаваме:

$$\widehat{H} = \sum_{i,k} H_{ik}^{(1)} \hat{a}_i^+ \hat{a}_k \tag{16}$$

В случай, че подберем състоянията на системата, така че да съвпадат със собствените функции на Хамилтониана, то матрицата H_{ik} е диагонална и диагоналните ѝ елементи са именно собствените стойности ϵ_i на енергията на системата. Това ни позволява да изразим пълната енергия по следния начин:

$$\widehat{H} = \sum_i \epsilon_i \hat{a}_i^+ \hat{a}_i \quad \longrightarrow \quad E = \sum_i \epsilon_i N_i \tag{17}$$

За да изразим Хамилтониана в метода на вторичното квантуване остава да въведем още два оператора.

Оператор, който **намалява** броя на частиците в системата с единица, представен чрез сумата от произведението на състоянието ψ_i и оператора на унищожение \hat{a}_i :

$$\widehat{\Psi} = \sum_i \psi_i(\xi) \hat{a}_i \tag{18}$$

Оператор, който **увеличава** броя на частиците в системата с единица:

$$\widehat{\Psi}^+ = \sum_i \psi_i^*(\xi) \hat{a}_i^+ \tag{19}$$

Представяме едночастичковия $\hat{F}^{(1)}$ и двучастичковия $\hat{F}^{(2)}$ оператор след като изразим новите оператори и заместим в (12) и (13):

$$\hat{F}^{(1)} = \int \hat{\Psi}^+(\xi) \hat{f}^{(1)} \hat{\Psi}(\xi) d\xi \quad (20)$$

$$\hat{F}^{(2)} = \frac{1}{2} \iint \hat{\Psi}^+(\xi) \hat{\Psi}^+(\xi') \hat{f}^{(2)} \hat{\Psi}(\xi') \hat{\Psi}(\xi) d\xi d\xi' \quad (21)$$

Финалният вид на Хамилтониана, изразен чрез новите оператори $\hat{\Psi}$ и $\hat{\Psi}^+$:

$$\hat{H} = \int \left\{ \left(\frac{\hbar^2}{2m} \right) \nabla \hat{\Psi}^+(\xi) \nabla \hat{\Psi}(\xi) + U^{(1)}(\xi) \hat{\Psi}^+(\xi) \hat{\Psi}(\xi) \right\} d\xi + \frac{1}{2} \iint \hat{\Psi}^+(\xi) \hat{\Psi}^+(\xi') U^{(2)}(\xi, \xi') \hat{\Psi}(\xi') \hat{\Psi}(\xi) d\xi d\xi' + \dots \quad (22)$$

Това представяне на оператора на Хамилтън ще се използва за описанието на явлението свръхфлуидност в по-нататъшни разглеждания.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Course of Theoretical Physics Vol. 3, Quantum Mechanics Non-Relativistic Theory L.D. Landau E.M. Lifshitz

[2] SECOND QUANTIZATION Lecture notes with course Quantum Theory, Dr. P.J.H. Denteneer Fall 2008

[3] QUANTUM MECHANICS, Fundamentals and Applications to Technology (Chapter 7 – Identical Particles and Second Quantization), Jasprit Singh

ГЕНИЯТ ВИЛХЕЛМ РЪОНТГЕН ОТКРИЛ РЕНТГЕНОВИТЕ ЛЪЧИ

Елена Халова

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

Резюме. Настоящият доклад представя гениалния учен Вилхелм Ръонтген, неговите изследвания и значемото откритие на рентгеновите лъчи.

Ключови думи: Вилхелм Ръонтген, рентгеново лъчение.

I. Вилхелм Ръонтген

Вилхелм Конрад Ръонтген е роден на 27 март 1845г. в малкия немски град Ленеп, близо до границата с Нидерландия, а днес е квартал на град Ремшъйд (фиг. 1). Баща му Фридрих Ръонтген е търговец и притежава текстилна фабрика, а майка му е Шарлоте Костанце. Детството на Ръонтген преминава в Нидерландия в град Апердон и по-късно в Ултрехт, където от 1848г. живее семейството му. Като единствен син Ръонтген е трябвало да върви по стъпките на баща си и да наследи фабриката. Затова той е бил записан в техническото училище в Ултрехт (1863г). От архивите на училището става ясно че е бил добър ученик, но само по физика и химия имал слаби оценки. Учителите смятали Ръонтген за мързелив и неприлежен, но не е бил слаб ученик. След една злобна карикатура на един от преподавателите, за която той не бил виновен, е изключен от училище. Без зрелостно свидетелство Ръонтген нямал право да кандидатства в университет. Случайно разбрал, че в Швейцария не се иска зрелостно свидетелство за постъпване в университет, а само събеседване и писмен изпит. Събеседването, проведено от самия ректор на Цюрихската политехника, минало блестящо и дори не се е стигнало на писмен изпит след което е бил приет в университета. Юношеските си години Ръонтген прекарва в Цюрих, където изучавал машиностроене в механико-технологичния факултет на Цюрихската политехника и на 6 август 1868г. получава диплома за машинен инженер. През 1869г. става доктор по философия за статията си по теория на газа. След това Ръонтген окончателно решил да се занимава с експериментална



Фиг. 1. Вилхелм Конрад Ръонтген
27. 03. 1845г. – 10. 02. 1923г.

W. C. Röntgen

физика. Рънтген изучава физика при професор Аугуст Кунт, който забелязал в скромния и трудолюбив юноша прецизния експериментатор и му предложил асистентско място. През 1870г. Рънтген заедно с проф. Кунт, като негов асистент се премества във Вюрцбург, където публикува първото си научно изследване на тема „Анали на физиката и химията“. Младият физик Рънтген без диплома за средно образование е трябвало да измине дълъг и труден път в научната си кариера. След Цюрих и Вюрцбург той е бил професор в Стратбург, след това професор и директор на Физическия Институт в Гисен. Следва отново завръщане във Вюрцбургския университет като професор по експериментална физика, където прави и значимото си откритие – X-лъчите, и накрая в Мюнхенския Университет.

За семейството на Вилхелм Рънтген се знае твърде малко. Рънтген се жени на 19.01.1872г. за приятелката си от студентските години Анна Берта Лудвиг (фиг. 2). Дватама нямали деца, но осиновили племенница на Анна, шестгодишната Жозефина Берта, дъщеря на починалия ѝ брат.



Фиг. 2. Анна Берта Лудвиг

II. Научни изследвания

Вилхелм Рънтген преди да направи своето забележително откритие е провел множество експериментални изследвания в различни области на физиката. Ето и някои от тях.

- Изучавал е свойствата на течностите като свиваемост, повърхностно напрежение и вътрешно триене.
- Измерил е с голяма точност отношението C_p/C_v за газове.
- Изследвал е поглъщането на инфрачервените лъчи от газове.
- Изследвал е електро- и пиезоелектричните свойства на кристали.
- Изучавал е йонизацията на кристали под действието на светлина.
- Изследвал е двойното лъчепречупване в кристали и течности.
- Открил връзката между електричните и оптичните явления в кристалите.

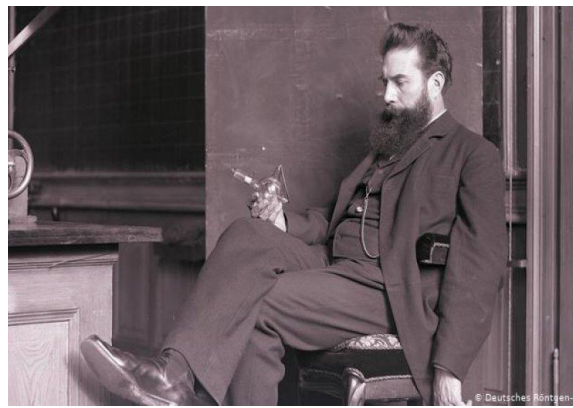
В Гисен Рънтген, провел и друго важното изследване. Той открил и описал магнитното поле на движещи се електрични заряди, което по-късно изучил Хендрик Лоренц (18 юли 1853г. - 4 февруари 1928г).

III. Откриване на рентгеновото лъчение

През 1895г. Вилхелм Рънтген е ректор на Вюрцбургския Университет. В своята лаборатория (фиг. 3) късно вечерта на 8 ноември 1895г., работейки както обикновено сам, направил неочаквано откритие, поставило началото на една цяла епоха в развитието на **Физиката**.



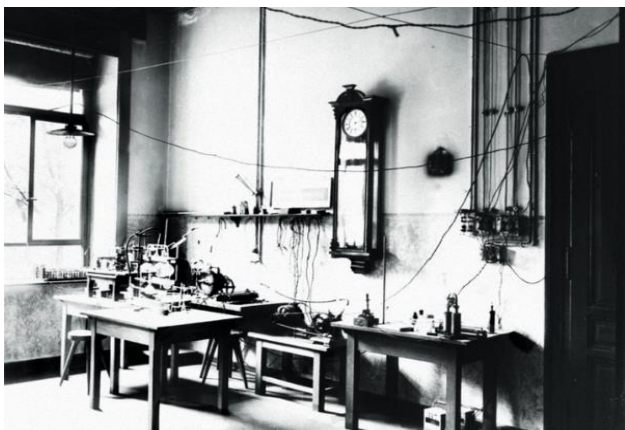
Фиг. 3. Ръонтген в лабораторията си.



Фиг. 4. Вилхелм Конрад Ръонтген с катодната тръба в ръка

Изследвайки катодните лъчи в тръба на Ленард (фиг. 3, 4.), той забеляза неразбираеми проблясъци появяващи се на хартиен екран, покрит с бариево-платиниев цианид и върху флуоресцентни бариеви кристали, разположени на лабораторна маса близо до тръбата. Проблясъците се появявали при включване на напрежението и угасвали при изключване. Ръонтген обвил тръбата с черна хартия, непропускаща обикновената светлина и ултравиолетовите лъчи и установил, че проблясъците отново се наблюдавали.

Вилхелм Ръонтген разбрал, че от тръбата при разряд излизат все още неизвестни на никого лъчи с неизвестна природа, които той нарича **X-лъчи**. Но преди да съобщи за своето откритие, той се затворил за цяла седмица в своята лаборатория (фиг. 5) и тайно от своите асистенти, ученици и даже от жена си, която обикновено му помагала в изследванията, провел редица експерименти. Поставяйки на пътя на X-лъчите различни материали като дърво, хартия, картон, ебонит, метали и други, той измерил проникващата способност на новото лъчение и открил фотографското му действие. В един момент Ръонтген – дали случайно или не – поставя дланта си на пътя на X-лъчите и на екрана се появява изображение на костите на неговата ръка (фиг. 6).



Фиг. 5. Лабораторията във Вюрцбургския Университет, в която Ръонтген открива X-лъчите



Фиг.6. Изображението на костите на ръката на Ръонтген

Той направил и първата рентгенова снимка на човешко тяло. Той установил, че меките тъкан са прозрачни за X-лъчите. На фигурите по-долу са представени първата в историята рентгенова снимка на ръката на съпругата му Анна Берта Лудвиг от 22 декември 1895 г. (фиг. 7а) и на ръката на професор Алберт фон Кьоликер от 1896г. (фиг. 7б), направени от Вилхелм Рьонтген. Съпругата му се уплашила, когато видяла снимката, защото си помислила, че вижда смъртта си.



Фиг. 7а. Рентгенова снимка на ръката на съпругата му Анна Берта Лудвиг



Фиг. 7б. Рентгенова снимка на ръката на Алберт фон Кьоликер

На 28 декември 1895г., след получаване на безупречни резултати и доказателства, той направил съобщение на заседание на Вюрцбургското физико-математическо общество за наличието на X-лъчите. Това съобщение е отпечатано във вид на отделна брошура със заглавие „*За новия род лъчи*“ (фиг.8), в която описва свойствата на X-лъчите. Брошурата е отпечатана на всички европейски езици.

Рьонтген интензивно продължил изследванията си, за да разкрие природата на откритото лъчение, като направил още две съобщения за X-лъчите през март 1896г. и май 1897г. В тях Рьонтген описва опитите с помощта на които се опитал да докаже вълновия характер на X - лъчи, С други опити се опитал да наблюдава дифракцията на лъчите при преминаване през кристали, но те се оказали несполучливи. По този повод Рьонтген казва: „*Не съм в състояние да посоча един експеримент, от който бих могъл да бъда съвсем ясно убеден в съществуването на дифракция на лъчи*“. Едва след седемнадесет години, през 1912г. Макс Лауе наблюдавал дифракция на рентгеновите лъчи през кристали и доказал тяхната електромагнитната природа.



Фиг. 8.

Откритието на Вилхелм Рентген оказа огромно въздействие върху техниката на физичните и химичните изследвания в много приложни области. Самият Рентген с помощта на рентгенови лъчи наблюдавал дефекти в метални предмети. Този метод, който е бил усъвършенстван след разгадаване на природата на X-лъчите, станал един от основните методи за изследване на структурата на веществата, широко използвана и в наши дни в науката и техниката.

Най-голямо приложение рентгеновите лъчи намират в биологията и медицината. Рентгеновата фотография направи възможно провеждане на анатомични и физиологични изследвания на живи организми. Хората по целия свят винаги ще бъдат благодарни на первооткривателя на рентгеновите лъчи за новите и ефективните методи за откриване и лечение на много заболявания.

След цялата споделена информация можем убедено да твърдим, че Вилхелм Конрад Ръонтген е най-добрият експериментатор времето си. И като такъв той създава и школа по експериментална физика.

IV. Признателност

За откритието на X - лъчите Вилхелм Конрад Ръонтген е **първият** учен, удостоен с **първата** в историята Нобелова награда за физика през 1901г.(фиг.9). Когато му връчили Нобеловата награда, скромният Ръонтген благодарил учтиво, приел почетният медал от краля на Швеция, но не държал традиционната реч. Заедно с наградата той получава значителната за времето си сума от 50 хиляди шведски крони, които дарява на университета във Вюрцбург, на който дълги години е ректор.



Фиг. 9 Нобелова награда за физика



Фиг. 10. Монета от 5 марки и 5 вона в чест на Ръонтген

През 1919г. Ръонтген става почетен член на Немското физическо дружество.

Трябва да се отбележи и фактът, че Ръонтген не желаел откритите от него X - лъчи да носят неговото име – рентгенови лъчи, защото спорео него това откритие принадлежали на всички хора.

През годините Ръонтген е удостоен с редица награди и отличия. Удостоен е и с правото да добави към името си благородническата добавка „фон“ и да се обръщат към него с „Ваше превъзходителство“. Но Ръонтген не бил съгласен с всичко това, тъй като бил скромен и тих човек.

По повод 125 години от рождението на Вилхелм Ръонтген в негова чест е изсечена монета от 5 германски марки. Във връзка с 100 години от първата Нобелова награда дори и в Северна Корея е изсечена монета от 5 вона с лика на Ръонтген (фиг. 10), което е още едно доказателство за огромния принос на Ръонтген за развитето на физиката и техниката в следващите години.

В негова чест е създаден домът - музей „Ръонтген“ в Ремшайд (фиг. 11).



Фиг. 11. Музеят „Ръонтген“ в Ремшайд



Фиг. 12. Семейната гробница на Ръонтген в Гисен

Вилхелм Конрад Ръонтген умира на 10 февруари 1923г. от рак на 77-годишна възраст в Мюнхен. Погребан е в Гисен в семейната гробница при родителите си и до жена си (фиг. 12).

V. Заключение

В заключение бих желала да цитирам мисъл на Макс Лауе за **гения Вилхелм Конрад Ръонтген**.

„Колко велико е откритието на Ръонтген може да се разбере от факта, че голям брой други видни физици са експериментирали преди Ръонтген със същите помощни средства и въпреки това не са могли да открият тези лъчи..... Ръонтген е трябвало да работи усилено, за да напише три статии между 1895 и 1897г., които да изчерпват темата дотолкова, че цяло десетилетие не може да се добави нищо ново“.

ЛИТЕРАТУРА

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

[2] <https://www.google.com>

[3] С.А. Рейберг, „Рентгеновские лучи“, москва, 1974г.

ALGORITHM FOR A KINEMATIC EARLY WARNING SYSTEM OF EARTHQUAKES FOR CRITICAL INFRASTRUCTURE

**Boyko Rangelov¹, Garo Mardirosian², Petar Getzov²,
Svetoslav Zabunov², Julia Krumova³, Edelways Spassov⁴**

¹ University of Mining and Geology, Sofia, e-mail: brangelov@gmail.com

²Institute for Space Technology and Research – Bulgarian Academy of Sciences, Sofia,
e-mail: garo@space.bas.bg

³National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography - Bulgarian Academy of
Sciences, Sofia, e-mail: jkrumova@gmail.com

⁴Kinematics, Pasadena, e-mail: espasov@yahoo.com

***Resume.** An algorithm and an example scheme for the practical implementation of a kinematic earthquake early warning system for critical infrastructure are presented. The algorithm is based on a basic property of body seismic waves, established for the propagation speed of primary (P-waves - faster and with low destructive potential) and secondary (S) waves (slower 1.41 times than P-waves and with much higher destructive potential). The benefits of similar models have been tested in practice (Japan, USA, Turkey-Istanbul, Mexico-City, Bucharest, etc.) and have shown good efficiency, especially in relation to critical infrastructure - nuclear power plants, dams, military sites, hazardous industries, etc. The main tasks, advantages and disadvantages of the system are described and a technical implementation scheme is proposed. Such systems are a strong argument in favor of sustainable development for any country.*

Key words: Earthquake, early warning, critical infrastructure.

1. Introduction

The seismic early warning systems (SEWS) are the new world innovation. Heavy earthquakes and tsunamis occurred in Japan (2011), Sumatra (2004), Chile (2010, 2014), Solomon Islands (2014), Turkey (2023), etc. These earthquakes and the following tsunamis killed a lot of people and made huge destructions. This demonstrated clearly the need of Seismic Early Warning systems. All known SEWS are based on the fundamental physical property of the seismic waves propagation: the P-waves (with lower amplitudes and smaller destructive potential) travel approximately 1.41 times faster than the S waves (with larger amplitudes and much more destructive potential, due to the medium particles movement, perpendicular to the wave ray propagation). Up to now – only Japan has fully operative and effective SEWS introduced in action in 2007, after 5 year education of the population about the abilities of the system. Its efficiency was demonstrated during the M9 earthquake on 11th March, 2011. During the recent years Indonesia is another country developing SEWS. Even it had some failures after the tsunami generated by heavy mud flows and volcanic eruption, now the focus of the specialists is to new developing SEWS considering the non-tectonic sources of tsunami and other hazards generating destruction and loss of human lives. Several cases (for example Baku and Venice)

have been investigated and kinematic models about earthquakes and tsunamis developed in Bulgaria and tested - [1], [2].

During the last years SEWS and TEWS have been on focus in Bulgaria. Many projects related to this issue have been executed. Now the focus is on the critical infrastructure and the SEWS specifically targeted to it – for example, NPP (our case), tunnels, dangerous facilities etc.

2. The objectives

The objective of an earthquake early warning system is to rapidly detect the initiation of an earthquake, estimate the level of ground shaking intensity to be expected, and issue a warning before significant ground shaking starts. A network of seismic sensors detects the first energy to radiate from an earthquake, the P-wave energy, and the location and the magnitude of the earthquake is rapidly determined, because the so called smart sensors are fixed to react at a certain magnitude. If the level of reaction is overcome than the smart sensor triggers the system and signalize the automatic management center. Then, the anticipated ground shaking across the region to be affected is estimated. The system can provide warning before the S-wave arrives, which brings the stronger shaking with larger magnitude and a rotational component that usually causes most of the damage. Warnings is distributed to local and state public emergency response officials, critical infrastructure, private businesses, and the public. SEEW systems have been successfully implemented in Japan, Taiwan, Mexico, and other nations with varying degrees of sophistication and coverage. They are called “kinematic” because use only the travel times of P and S waves, and the distances to the respective object. Usually the sensors are located near the well-known sources of strong earthquakes and signalize immediately when the earthquake occurs, because of the high velocities of the P-waves (about 8 km/sec). It is clear that when the distance to the threatened object is larger, so the larger time will be available for possible evacuation. Usually the precomputed scenarios are available for protective and preventive measures. The systems are highly effective in areas with low buildings (1-2 flats), which means the possibility of inhabitants to evacuate very fast.

Earthquake early warning system can provide enough time to:

1. Initiate mass notification procedures
2. Send emergency messages to the mobile phones
3. Instruct employees and students to take a protective action such as “Drop”, “Cover”, and “Hold On”
4. Open fire-house exit doors and notify local first responders
5. Slow and stop trains and taxiing planes
6. Install measures to prevent/limit additional cars from going on bridges, entering tunnels, and being on freeway overpasses before the shaking starts
7. Move people away from dangerous machines or chemicals in work environments

8. Shut down gas lines, water treatment plants, or nuclear reactors
9. Automatically shut down and isolate industrial systems

The algorithm of the early warning seismic system is developed on the kinematics of the seismic waves. The algorithm is developed on the consideration of the different velocities of the P and S waves [3].

3. Theoretical considerations and real physical basics

All known SEWS are based on the fundamental physical property of the seismic wave's propagation: the P-waves (with lower amplitudes and smaller destructive potential and frequently called "signaling") travel approximately 1.41 times faster than the S waves. The P-waves have compression/extension movements of the particles of the solid strata and move to the ray propagation path. These waves are fastest and have highest velocity – between 6 and 8 km/s. The amplitudes of the P-waves are frequently the lowest in the whole phase package of any seismic wave emitted by the seismic source. The S-waves - with several times larger amplitudes and much more destructive potential (called "destructive") due to the medium particles movement perpendicular to the wave ray propagation have lower velocity. The S-waves also do not propagate through liquids and have a dominant rotational component. The range of the V_s and V_p according the theory is $2^{-1/2}$.

The equation (1)

$$V_p / V_s = 2^{-1/2} \quad (1)$$

is the fundamental relationship on which the kinematic SEWS are functioning.

This relationship always exists in the solid ideal body and is an immanent property of any ideal elastic medium. Frequently in the earth crust this relationship shows smaller value due the not ideal elasticity of the Earth's strata. This means that V_s can reach lower values then in ideal case.

The travel time function $F(d, t_p, t_s)$ presents the relationship between the travel times of the different waves phases (S, P, Sg, Pg, Sb, Pb, etc.) and the distance to the seismic source. The function in the coordinate system (d, t) is usually a straight line, depending of the velocity of the seismic waves in the respective layer. The travel time function is the main relationship, which is used to calculate the kinematic models of the time deficit EWS. The main principle of the SEWS requires longer time propagation from the seismic source to the threaten territory, which means longer distance. This time ($t_p - t_s$) is called "warning time" and presents the difference between the P and S waves arrivals to the threaten object [2]. In our case it is the critical infrastructure. Then the kinematic model used the travel times of S and P waves and their differences (Fig. 1). To model the coverage of each wave phase isochrones diagrams are constructed dependent to the distances (Fig. 2) - [4].

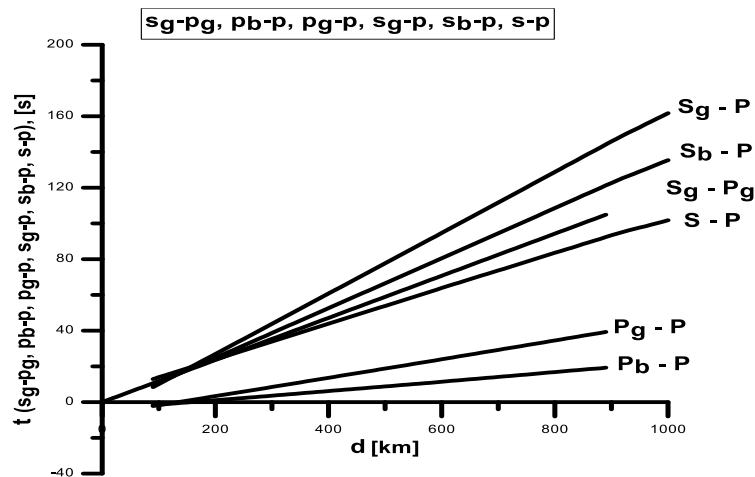
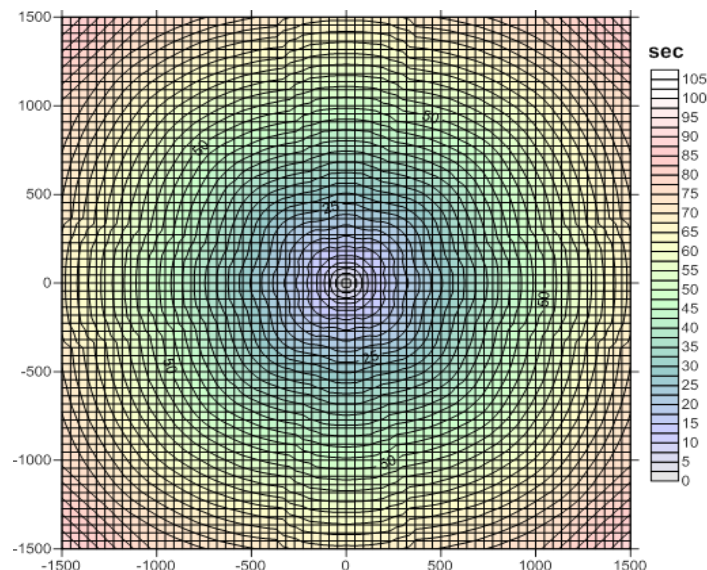


Fig. 1. The example of the different P, S-waves phases and their travel times differences according the distance.



Фиг. 2. Modeled isochrones versus distances - coverage of the knots. In the model they represent the seismic sensors locations for the best coverage.

3. Algorithms for the hardware installation and modeling the interaction between the objects of critical infrastructure and seismic sources

The installation of the hardware needs to follow some general principles [1], [2]:

1. Selection of the locations according to the seismic sources geography. Calculation of the distances between the seismic sources and the critical infrastructure (NPP, tunnels, dangerous facilities, military objects, etc.). For example Table 1 is constructed for the NPP Kozloduy.

Table 1. Seismic sources' characteristics threaten NPP Kozloduy

№	Seismic source	Point coordinates		Depth (h) [km]	Source size (LxNxh) [km]	Expected Mmax
		ϕ [E]	λ [N]			
1	Shabla	28°30'00"	43°30'00"	20	80x40x20	7.5-8.0
2	Vrancea	26°46'12"	45°49'48"	110	20x20x50	7.4-7.6
3	G.Oriahovica	25°50'00"	43°10'00"	15	35x20x15	7.0-7.2
4	Plovdiv	25°00'00"	42°10'00"	25	40x30x25	7.0-7.5
5	Kresna	23°10'00"	41°50'00"	30	80x30x30	7.5-8.0
6	Sofia	23°20'00"	42°40'00"	10	30x20x10	6.5-6.8

2. Selection of the amplitude threshold triggering the signalization. Usually it is an expected amplitude of P-waves
3. Travel times curves for the transformation of the distances to the time domain. Example for NPP Kozloduy in Table 2.

Table 2. Distances from NPP to the seismic sources, travel times t_p of P and t_s of S waves and its differences (t_s-t_p) as well as the dispersion (+/-) of these parameters, considering the size of the seismic source.

Seismic source	Distance to NPP [km]	Travel time t_p [s]	Travel time t_s [s]	Travel time t_s-t_p [s]
Shabla	385+/-40	56.0+/-10.0	98.0+/-18.0	42.0+/-7.0
Vrancea	325+/-10	48.5+/-4.0	82.0+/-4.0	34.5+/-4.0
G.Orjahovica	170+/-30	28.0+/-8.0	49.5+/-13.0	21.5+/-5.0
Plovdiv	200+/-30	32.5+/-9.0	56.5+/-13.0	24.0+/-7.0
Kresna	210+/-40	34.0+/-11.0	59.0+/-19.0	25.0+/-9.0
Sofia	120+/-20	22.0+/-5.0	38.0+/-9.0	16.0+/-5.0

(The (+/-) is the maximum distances' dispersion (respective maximum travel times' dispersion), considering the size of the source and the angle as it is seen from the point of NPP. If the destructive process in the seismic source does not start in the central point, this leads to an error. The value of this error could be considered by the dispersion. That is frequently observed phenomena, when the seismic process starts in one point and then propagates to the direction of the source elongation. This assessment of the time delay is targeted to minimize the error of the model in the time domain.)

4. Use of the P-waves travel times for the signalization of the emerging event and triggering the whole system.
5. Seismic station optimization according the seismic sources locations and common use (in some cases) of the other equipment (usually the national seismic network, if possible)
6. The trigger stations (smart sensors) location to the nearest point of any epicenter (source).

7. Use of some stations' locations of the equidistant travel times to the seismic sources for the direction assessment of the activated seismic source (i.e. tracking of the seismic wave's front).
8. Use of the peripheral stations for detection of the strong seismic motions with sources outside the network geometry.

The general steps follow the philosophy that it is essential to have a signal for the hazardous event (earthquake) as soon as possible after its generation [5]. As the seismic P,S - waves velocities are in the range of km/sec, it is essential to have a seismic sensor as possible as to the nearest point of the epicenter.

4. Algorithm for action model of the SEWS

The following steps are necessary:

1. P-wave signal for warning signaling that the event is generated and the waves then propagated. (Usually such signal triggers the entire network). The signal could be electronic switch, sound or light signalization or SMS emission.
2. Modeling of the wave's propagation direction, following the consecutive triggered seismic devices.
3. Selection of the precomputed and modeled scenario. For the occurring earthquakes the scenario is generated by the network. This step is closely related to the so called – decision matrix – a protocol determining the rules and ways of the early warning issue.
4. Modeling of the time of incoming S-waves (for the SEWS) and the time delay of the S-waves, following the P waves. Zonation to near distance, middle distance and long distance and introduction of the “red”, “orange” and “green” signaled zones.
6. Automatic decision for the warning issue by the authorized automatic Control Point (CP) – the preliminary decision matrix development and immediate warning issue.
7. Warning issue to the clients – population, civil defense authorities, decision makers, administrations, etc.
8. The combined warning issue in case of simultaneous action of earthquakes, landslides, turbidities (or other generating events) and tsunamis (if any).
9. The transmitting possibility of the warning is in various ways – SMS, cell-phone or satellite use, i-phone adds, e-mail message, pager signal, TV, radio emissions, sound or light signals, etc. [6].
10. Cancellation of the warning after the event passed [6].

To use effectively these algorithms a lot of specific actions must be performed [3]. The most important one is the hardware (devices) installation as possible closer to the seismic source. This could be a specialized seismic strong motion device, or the nearest seismic station of the national seismological network. This work is largely specific and needs experts in wide spectrum of specialization [7].

5. A case-study - NPP Kozloduy

NPP Kozloduy is located in central part of North Bulgaria, near the Danube river (connected by exploitation channel) relatively far from the regional seismic sources (the nearest one is at a distance more than 120 km). Such a distance provides relative seismic resistance (it is well known that distances larger than 50-60 km, provide seismic safety even from larger expected earthquake with M_{max} 7-7.5. Something more – the NPP is equipped by an emergency accelerometers' network, which disconnect reactors in a case of strong shaking of earthquake.

Nevertheless the NPP has not seismic early warning system, which put in danger the employers and the rest of the electric and mechanic power equipment.

Following the above described algorithms the general steps are performed:

- Distances determination from the seismic sources to the NPP+CP (control point) - (fig.3.)
- Calculation of the expected travel times $t_p, t_s, t_s - t_p$ of the different seismic phases from each source to the NPP and the possible expected deviations in distances and travel times in case the seismic source emitted the first P-wave energy from not known segment of the source (but in the limits of the preliminary estimated size of the seismic source.) – fig.4. (t_p - as an example).
- In the moment of the first signal arriving from the nearest smart sensor of the activated seismic source the system shutdown the reactors in NPP. CP emits the warning to the clients.
- The network recorded all seismic signals – P-waves, S-waves, surface waves and the seismic coda. This is to study the peculiarities (frequencies, periods, etc.) of the earthquake waves for the better preparation for the next seismic event.
- After the shaking stops the system signalize end of the alert.

The use of the smart sensors is targeted to avoid (or minimize) the human factor. They can provide direct information transfer to the CP and the clients.

To increase the accuracy and reliability several measures could be taken:

- Increase number of sensors – more sensors – higher accuracy
- Provide independent power sources for the smart sensors.
- Use the reliable information transfer devices (satellite, radio, mobile networks, high-speed Internet, etc.) [6].



Fig. 3. Schematic map of the main seismic sources, distances to the NPP Kozloduy, smart sensors locations and the seismic network.



Fig. 4. Schematic map of the main seismic sources, smart sensors locations, the seismic network and travel times of P waves (t_p) – data from Table 2.

5. Conclusions

The algorithms for construction and action of the seismic kinematic early warning system related to threaten objects (in focus are the critical infrastructures – in our case NPP Kozloduy) is developed based on a previous experience and investigations.

The algorithm presents the physical basics and the theoretical considerations regarding the kinematics of the different types of seismic waves and their destructive potential. The functional algorithm and accuracy and reliability of the model of seismic early warnings are also considered by the dispersion of seismic sources sizes.

Advantages and disadvantages of the kinematic SEWS are presented:

Advantages: Low cost, high reliability and effectiveness, operability, easy integration to other warning systems, increasing electivity after extension with more sensors.

Disadvantages: lack of the legislation (law for use and maintenance, responsibilities of the different institutions and decision makers, etc.), lack of people education about the abilities of SEWS.

An illustrative example for the NPP Kozloduy is developed and investigated giving the fundament of the practical application and realization of a real seismic early warning system. The algorithms are suitable for any type of critical infrastructure.

The model is submitted patent in the Patent office of RB [8].

ACKNOWLEDGEMENTS

This article was developed within the National scientific program “Security and Defense”, task 1.1.6 „Analysis of the risk and threats, design and development of conceptual generating models and software for efficiency increase of the control of forces and means for influence on natural disasters, accidents and crises of the critical infrastructure in the territory of Republic of Bulgaria“, according to Agreement № Д01-74/19.05.2022 between Ministry of Education and Science and The Bulgarian Defense Institute “Prof. Tsvetan Lazarov” for fulfillment of National Scientific Program “Security and Defense” accepted with decree of the Council of Ministers № 731 from 21.10.2021.

REFERENCES

[1] Ivanov. Y, At. Kisyov, B. Ranguelov, 2016. Kinematic models and early warning systems (earthquakes and tsunamis) for Azerbaijan (Baku case)., Ann. of M&G University, Vol. 59, 2016, Part I, Geology and Geophysics, pp. 157-162. ISSN 1312-1820

[2] Parushev I, B. Ranguelov, 2014. General Principles of the kinematic early warning systems – earthquakes and tsunamis (Venice case). Ann. of M&G University, Vol. 57, Part I, Geology and Geophysics., pp. 95–100.

[3] Ranguelov. B., A. Frantsova., 2017. Multihazards early warnings. Research, models and Bulgarian expertise., LAMBERT Academic Publishing., Saarbrucken, 224 pp. <https://www.morebooks.de/store/gb/book/multihazard-early-warnings/isbn/978-620-2-07727-9>

[4] Ranguelov B., 2014. Early warnings – Bulgarian experience in case of time deficit systems (earthquakes and tsunamis), Proc. 5th Int. Conf. Cartography and GIS, vol. 2. 15–20th June., Riviera, Bulgaria. pp. 738–745.

[5] B. Ranguelov, I. Parushev, G. Mardirosian, E. Spassov, At. Bliznakov, 2014. Kinematic models and applications for the early warning systems - earthquakes and tsunamis. Tenth International Scientific Conference, SPACE, ECOLOGY, SAFETY – SES 2014, Sofia, Bulgaria, p. 341–347.

[6] G. Mardirosian, B. Ranguelov., 2012. Aerospace technologies – powerful tool for research and mitigation of natural hazards., Proc. Actual Problems of Civil Defense and infrastructure., 25-26 Oct. 2012 NVU V. Levski, V.Tarnovo, pp. 5-33 (In Bulgarian).

[7] Ranguelov B., Georgiev A., Spassov E., 2006. Natural hazards and early warning systems. Ann M&G University, vol.49, part I, Geology and Geophysics, pp. 209-212.

[8] Mardirosian G., B. Ranguelov, P. Getzov, S. Zabunov, G. Jelev., 2023. Kinematic early warning system from earthquakes for critical infrastructure. Reg. № 113652/09.02.2023. Patent office of Republic of Bulgaria. (In Bulgarian)

The quantum superposition principle: a reconsideration

I. G. Koprinkov

Department of Applied Physics, Faculty of Applied Mathematics and Informatics,
Technical University of Sofia, e-mail: igk@tu-sofia.bg

Abstract: *The quantum superposition principle is reconsidered based on adiabatic theorem of quantum mechanics, nonadiabatic dressed states and experimental evidence. The physical mechanism and physical properties of the quantum superposition are revealed.*

Keywords: quantum superposition, adiabatic theorem, dressed states.

1. Introduction

The quantum superposition principle is one of the fundamental principles of quantum mechanics. It states that if two or more quantum states $|\psi(\vec{r}, t)\rangle_i$ are states of a given quantum system, *i.e.*, they obey the Schrödinger equation, any linear combination of these states is also a state of that quantum system:

$$|\psi(\vec{r}, t)\rangle = \sum_i c_i(t) |\psi(\vec{r}, t)\rangle_i \quad (1)$$

It is correct from a formal mathematical point of view due to the linearity of the Schrödinger equation. The following understandings are automatically assigned to superposition (1): the superposition of quantum states is *simultaneous, coherent* and may involve *any kind of states* of the quantum system. It means that the quantum system is simultaneously, but not consequently, in all superimposed states. Such simultaneity has never been proved experimentally. The typical characteristic time of electron motion in atoms falls in the attosecond time domain, $1\text{as}=10^{-18}\text{s}$. The present attophysics and technology is able to reach this time range but, to the best of our knowledge, the exact timing of quantum superposition has not been tested experimentally. The coherence means that the superimposed states maintain definite phase relation. Finally, the superimposed states can be any stationary eigenstates of quantum systems as atoms, ions, molecules, etc. In addition, the physical mechanism of this superposition is not specified assuming that is a natural consequence from the nature of the quantum phenomena. The aim of this work is to find *the physical mechanism* (instead of *mathematical formalism*) of quantum superposition, the physical features of the superimposed quantum states and the physical consequences from it as the collapse of wave function, the quantum measurement problem, etc. Our approach is based on adiabatic theorem of quantum mechanics [1], experimental studies on real and virtual quantum states [2, 3] and nonadiabatic dressed states [4].

2. Physical grounds in the formulation of quantum superposition principle

The quantum superposition principle will be formulated here based on the following physical grounds:

1. General theoretical ground – adiabatic theorem of quantum mechanics [1].
2. Special theoretical ground – nonadiabatic dressed states [4].
3. Experimental evidences [2, 3].

2.1. Adiabatic theorem of quantum mechanics and quantum superposition

The adiabatic theorem of quantum mechanics [1] states that a quantum system remains in an instantaneous eigenstate $\psi(t)$ of its Hamiltonian $\hat{H}(t) = \hat{H}_0 + \hat{H}'(t)$, i.e., $\hat{H}(t)\psi(t) \equiv (\hat{H}_0 + \hat{H}'(t))\psi(t) = E(t)\psi(t)$, if the latter changes slow enough, i.e., adiabatically, due to given perturbation $\hat{H}'(t)$, and if there is a gap ΔE between the energy of this state and the rest part of the Hamiltonian spectrum, fig.1. When the perturbation terminates, the quantum system will be in the same quantum state ψ_0 , from which the adiabatic evolution begins, and no transition to other state ψ'_0 will occur. Consequently, according to adiabatic theorem, *the quantum system cannot be simultaneously in more than one eigenstate of adiabatically changing Hamiltonian.*

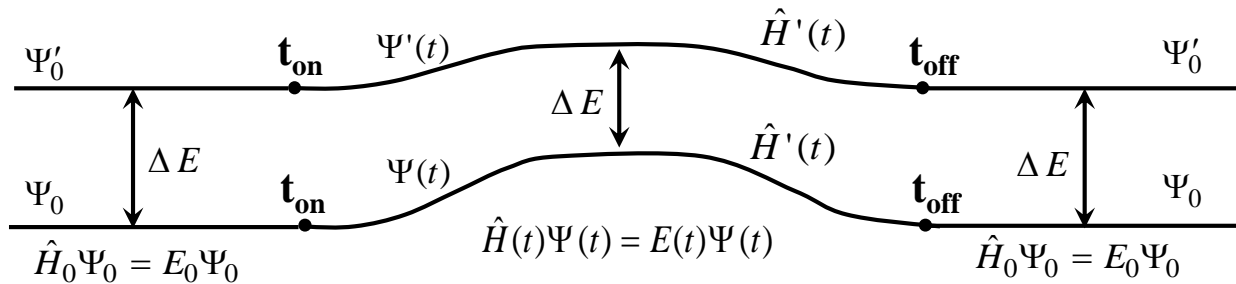


Fig. 1. Evolution of quantum states with adiabatic change of the Hamiltonian.

The adiabatic theorem can also be applied to the particular case of stationary eigenstates ψ_0 of the nonperturbed Hamiltonian \hat{H}_0 of a completely isolated, closed, quantum system, $\hat{H}_0\psi_0 = E_0\psi_0$. These states are known as bare states (BS). The BS represent states at perfect adiabatic conditions because the perturbation Hamiltonian $\hat{H}'(t)$ is not simply adiabatic but stationary, $\hat{H}'(t) = 0 = const$. Thus, the adiabatic theorem in this asymptotic adiabatic case states that *if a quantum system is in given BS, it will remain in that BS and no transition to other BS will occur.* Consequently, according to adiabatic theorem, *the quantum system cannot be simultaneously in more than one stationary eigenstate, i.e., BS, of the nonperturbed Hamiltonian \hat{H}_0 .*

In agreement with the adiabatic theorem, the physical reasons for quantum transition are the nonadiabatic factors acting on the quantum system. The nonadiabatic factors can be put into two categories: "regular" nonadiabatic factors and stochastic nonadiabatic factors. To the first type belong rapid, nonadiabatic,

"regular" variations of the electromagnetic field. To the second type belong stochastic variations of the electromagnetic field, collisions with other atoms, ions, molecules, zero-point vacuum fluctuations, etc. The nonadiabatic factors can be reduced but cannot be completely eliminated due to, at least, the zero-point vacuum fluctuations.

2.2. Nonadiabatic dressed states and quantum superposition

One may distinguish three generations of quantum states for a given quantum system: bare states (BS), adiabatic (dressed) states (ADS) [2, 3] and nonadiabatic dressed states (NADS) [4]. The BS are states of completely *isolated (closed) quantum system*. The ADS are states of quantum system in presence of classical adiabatic (slowly varying) electromagnetic field. These states are originally called *adiabatic states*, but as they are considered equivalent to their full quantum analog, they will be called here ADS. Finally, the NADS are states of *open quantum system* in presence of nonadiabatic factors from the electromagnetic field and the environment (collisions with other quantum systems, zero-point vacuum fluctuations, etc.). The following notations for the ground and the excited BS, ADS, NADS will be used here: $|g\rangle$ and $|e\rangle$, $|G\rangle$ and $|E\rangle$, $|\tilde{G}\rangle$ and $|\tilde{E}\rangle$, respectively. The NADS are a generalization of the ADS and the BS. The NADS and the ADS have same structure but as the NADS are only the states that include explicitly nonadiabatic factors, the NADS picture will be used here. The NADS and the relevant physical processes will be considered below.

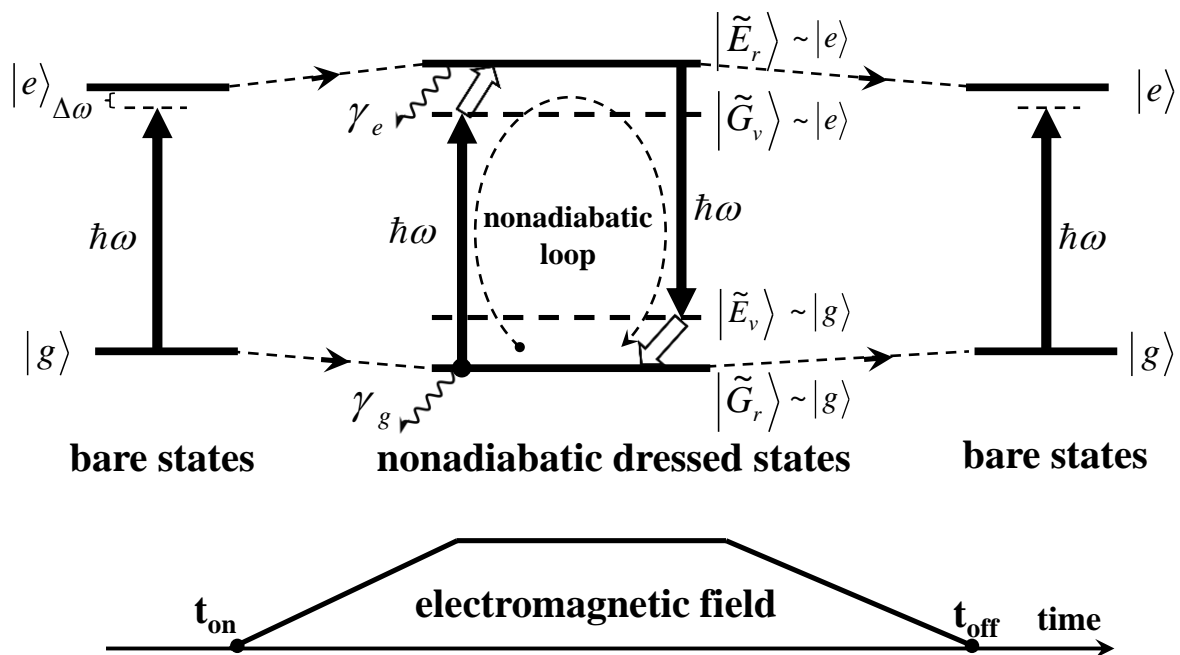


Fig. 2. Evolution of BS toward NADS and back to BS with switching on/off the electromagnetic field and damping. The real and the virtual components of NADS are shown with full and broken lines, respectively. Solid arrows show radiative transitions, hollow arrows show nonadiabatic transitions.

Consider an open two-level quantum system of electric dipole allowed transitions between initial BS, ground $|1\rangle \equiv |g\rangle$ and excited $|2\rangle \equiv |e\rangle$, Fig.2. The states will be called, for short, $|g\rangle$ -type and $|e\rangle$ -type, which includes all characteristics of the states (quantum numbers, symmetries, etc.). The NADS are constructed from an analytic solution of Schrödinger equation $\hat{H}|\Psi(\vec{r},t)\rangle = i\hbar\partial_t|\Psi(\vec{r},t)\rangle$ with Hamiltonian \hat{H} :

$$\hat{H} = \hat{H}_0 + \hat{H}' + \hat{H}_D = \sum_{j=1}^2 \hbar\omega_j |j\rangle \langle j| - \mu E(t)(|1\rangle \langle 2| + h.c.) - i\hbar \sum_{j=1}^2 (\gamma_j/2) |j\rangle \langle j| \quad (2)$$

The total Hamiltonian \hat{H} consists of Hamiltonian of the quantum system itself \hat{H}_0 , Hamiltonian of interaction of the quantum system with external electromagnetic field \hat{H}' and Hamiltonian of interaction of quantum system with the environment \hat{H}_D , described by damping rates γ_j [4]. The quantum system is subject to a "regular" interaction with an external nonadiabatic electromagnetic field and stochastic interactions with the environment (collisions, zero-point vacuum fluctuations, etc.).

Each NADS consists of real (index "r") and virtual (index "v") components [4]:

$$|\tilde{G}\rangle = \text{COS}(\theta/2)|\tilde{G}_r\rangle + \text{SIN}(\theta/2)|\tilde{G}_v\rangle \quad (3a)$$

$$|\tilde{E}\rangle = \text{COS}(\theta/2)|\tilde{E}_r\rangle - \text{SIN}(\theta/2)|\tilde{E}_v\rangle \quad (3b)$$

The real and the virtual components of NADS (at ground state initial conditions) are:

$$|\tilde{G}_r\rangle = |g\rangle \exp\left[-i\int_0^t \tilde{\omega}_G dt'\right] \quad (4a)$$

$$|\tilde{G}_v\rangle = |e\rangle \exp\left[-i\int_0^t (\tilde{\omega}_G + \omega) dt' - i\varphi(t)\right] \quad (4b)$$

$$|\tilde{E}_r\rangle = |e\rangle \exp\left[-i\int_0^t \tilde{\omega}_E dt' - i\varphi(t)\right] \quad (4c)$$

$$|\tilde{E}_v\rangle = |g\rangle \exp\left[-i\int_0^t (\tilde{\omega}_E - \omega) dt'\right] \quad (4d)$$

The quantities $\text{COS}(\theta/2)$ and $\text{SIN}(\theta/2)$ are complex functions that determine the partial contribution ("intensiveness") of real and virtual components to given NADS, whose asymptotic behavior at zero field and extremely strong fields is:

$$\text{COS}(\theta/2) \xrightarrow{E_0 \rightarrow 0} 1, \quad \text{SIN}(\theta/2) \xrightarrow{E_0 \rightarrow 0} 0 \quad (5a)$$

$$\text{COS}(\theta/2) \xrightarrow{E_0 \rightarrow \infty} \sqrt{1/2}, \quad \text{SIN}(\theta/2) \xrightarrow{E_0 \rightarrow \infty} \sqrt{1/2} \quad (5b)$$

The virtual components of given NADS has "opposite" characteristics to these of real components of same NADS due to the electric dipole interaction (considered here) of the quantum system with the field and the associated selection rules in this case: $|\tilde{G}_r\rangle$ is $|g\rangle$ -type of state while $|\tilde{G}_v\rangle$ is $|e\rangle$ -type of state; $|\tilde{E}_r\rangle$ is $|e\rangle$ -type of state while $|\tilde{E}_v\rangle$ is $|g\rangle$ -type of state, Eq.(4). Consequently, *each NADS, ground $|\tilde{G}\rangle$ and excited $|\tilde{E}\rangle$, is a linear superposition of $|g\rangle$ -type and $|e\rangle$ -type of states of well-defined physical coefficients, $COS(\theta/2)$ and $SIN(\theta/2)$, Eq.(3). In contrast to superposition (1), only one of the components in superposition (3) is real, $|g\rangle$ in $|\tilde{G}\rangle$ and $|e\rangle$ in $|\tilde{E}\rangle$, while the other component is virtual. The real components of NADS, $|\tilde{G}_r\rangle$ and $|\tilde{E}_r\rangle$, of energies (Bohr frequencies) $\tilde{\omega}_G$ and $\tilde{\omega}_E$, originate (after continuous evolution) from the respective BS, $|g\rangle$ and $|e\rangle$, of energies ω_g and ω_e , respectively, Fig.2. The spectral width of the real components is not narrow due to broadening from the environment (damping) and the field, described by the imaginary parts of energies $\tilde{\omega}_G$ and $\tilde{\omega}_E$. The virtual components of NADS are *new states* that originate from the respective real components of NADS due to interaction of the quantum system with electromagnetic field. At zero field, the partial representation of the virtual components in the superposition (3) is zero, $SIN(\theta/2)=0$, Eq.(5a), and the NADS consist only of one real component – the initial BS from which it originates. Increasing the field amplitude, the partial representation of the virtual component increases while this of the real components decreases. At extremely strong fields, $E_0(t) \rightarrow \infty$, the intensiveness of the virtual and real components become equal - saturation of the virtual components, Eq.(5b). From a formal point of view, this behavior inspires the understanding that the creation of virtual component looks like "emission" of probability (to reside the quantum system on a given state) forced by the field from the real component to the respective virtual component of given NADS. From a point of view of the physical picture, the intensiveness of given component of NADS can be interpreted as the relative time that the quantum system resides on this component of the NADS. The virtual components of NADS, $|\tilde{G}_v\rangle$ and $|\tilde{E}_v\rangle$, of energies $\tilde{\omega}_G + \omega$ and $\tilde{\omega}_E - \omega$, originate from the respective real components of NADS, $|\tilde{G}_r\rangle$ and $|\tilde{E}_r\rangle$ of energies $\tilde{\omega}_G$ and $\tilde{\omega}_E$, respectively, after absorption/emission of one photon from/to the field of energy (frequency) ω , Eq.(4), Fig.2. The spectral width of the virtual state is not narrow because the spectral width of the respective real states is not narrow and, also, the forcing electromagnetic field and thus, its photon spectrum, are not, in general, monochromatic. The field "lifts up"/"pulls down" the population, *e.g.*, the electron, by one photon energy (for single photon processes) from the real component of given NADS to the created virtual component of same NADS. Thus, in contrast to the real components, virtual*

components of given characteristics (depending on the type of transition – electric dipole, magnetic dipole, etc.) can be created *everywhere on the energy scale* depending on photon energy ω . The virtual components, $|\tilde{G}_v\rangle$ and $|\tilde{E}_v\rangle$, cannot exist independently on the respective real components, $|\tilde{G}_r\rangle$ or $|\tilde{E}_r\rangle$, from which they originate, and the external electromagnetic field. The virtual components occur in the dressed state picture but not in the BS perturbation picture where the perturbations appear as corrections to the field-free BS and their energies.

We consider that the *virtual components* of NADS are *real physical states*, but not simply a mathematical construct, due to the following arguments. (i) Real population on the virtual components (like in any other real quantum state) has been observed experimentally [2, 3], see below; it may exceed by an order of magnitude the population of nearby real component; it can be transferred to populate the real components [2]. (ii) The real components "feel" the appearance of virtual components in their vicinity as the existence of any other real state. More particularly, real and virtual components of same symmetry repeal each other, Fig.2. Recall that $|\tilde{E}_r\rangle$ and $|\tilde{G}_v\rangle$ are $|e\rangle$ -type of states while $|\tilde{G}_r\rangle$ and $|\tilde{E}_v\rangle$ are $|g\rangle$ -type of states, Eq.4. The repulsion of states of same symmetry is well known for quantum systems with internal degrees of freedom (*e.g.*, diatomic molecules with internuclear distance being an internal degree of freedom) according to *the von Neumann-Wigner non-crossing rule* [5]. The repulsion of the components of NADS of same symmetry can be considered as a particular manifestation of the non-crossing rule for quantum systems without internal degrees of freedom (*e.g.*, atomic type systems considered here).

2.3. Multilevel nonadiabatic dressed states

Closed form solution of NADS exists in the two-level case. For the multilevel case, the ground and excited NADS are shown in Fig.3, extrapolating the two-level case by the following approach. For ground NADS, if we take the original ground BS $|g\rangle$ and repeat the derivation of NADS, as in [4], in a consecutive order with any one of the original excited BS $|e\rangle_1, |e\rangle_2, |e\rangle_3 \dots$, the result will be generally same, as given by Eqs. (3) and (4). The difference is that at different detuning $\Delta\omega_i$ from the exact resonances, Fig.3, and dipole moment between states, the strength, $SIN(\theta/2)$ or C_{vi} , of the virtual state and the dynamic Stark shift will be different. If we now allow all excited BS to act simultaneously, as in the reality, each excited BS $|e\rangle_1, |e\rangle_2, |e\rangle_3 \dots$, will evolve to the respective real component $|\tilde{E}_r\rangle_1, |\tilde{E}_r\rangle_2, |\tilde{E}_r\rangle_3 \dots$, and, in addition, it will contribute to the creation of a respective virtual component $|\tilde{G}_v\rangle_1, |\tilde{G}_v\rangle_2, |\tilde{G}_v\rangle_3 \dots$ of the ground NADS, Fig.3. What is important, all virtual components, in contrast to the real components, have same energy equal to the energy of ground state real

component $|\tilde{G}_r\rangle$ plus one photon energy, Fig.3. Eq.(6a) shows the evolution of the ground BS $|g\rangle$ toward the multilevel ground NADS $|\tilde{G}\rangle$, which consists of only one

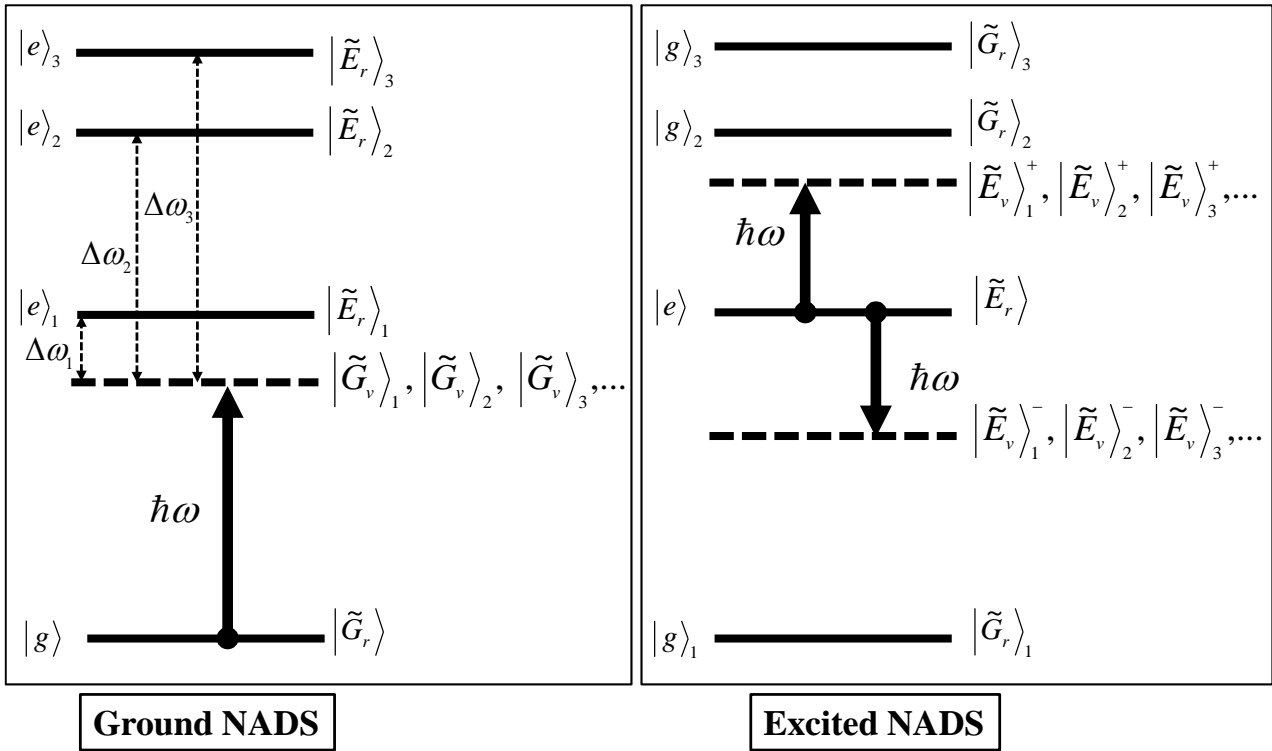


Fig. 3. Energy structure of ground and excited multilevel NADS. The notations as $|g\rangle_1, |g\rangle_2, |g\rangle_3 \dots$ mean states of opposite parity with respect to that of the excited state $|e\rangle$, from which the process begins, rather than a notation for ground state.

real state, $|\tilde{G}_r\rangle$, and a number of virtual states $|\tilde{G}_v\rangle_1, |\tilde{G}_v\rangle_2, |\tilde{G}_v\rangle_3 \dots$, if a nonzero external field, $E_0 \neq 0$, is applied.

$$|g\rangle \xrightarrow{E_0 \neq 0} |\tilde{G}\rangle = C_r |\tilde{G}_r\rangle + \sum_i C_{vi} |\tilde{G}_v\rangle_i \tag{6a}$$

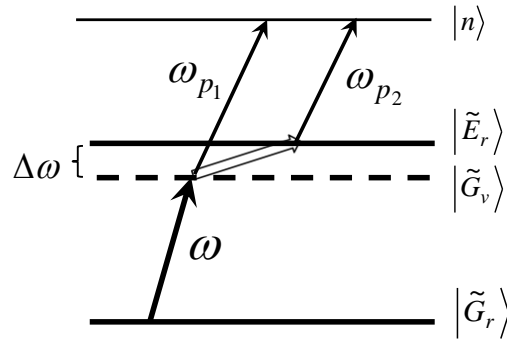
$$|e\rangle \xrightarrow{E_0 \neq 0} |\tilde{E}\rangle = C_r |\tilde{E}_r\rangle + \sum_i C_{vi}^+ |\tilde{E}_v\rangle_i^+ + \sum_i C_{vi}^- |\tilde{E}_v\rangle_i^- \tag{6b}$$

Similar structure has excited NADS, but upward $|\tilde{E}_v\rangle_i^+$ and downward $|\tilde{E}_v\rangle_i^-$ virtual components, Eq. (6b), can be created depending on the photon energy, Fig.3.

2.4. Experimental evidences and quantum superposition

There are some remarkable experiments [2, 3], from which, while having only nanosecond time resolution, one may distinguish the population dynamics of real and virtual states based on spectral resolution and different time behavior of the states. To get closer relation to such a work [2], we will apply our notations to the energy levels

involved in [2], Fig.4. Atoms are excited adiabatically by a pump laser pulse at frequency ω from the real ground NADS $|\tilde{G}_r\rangle$ to the virtual ground NADS $|\tilde{G}_v\rangle$.



Фиг. 4. Energy level diagram to test the real and virtual states [2,3].

Two other laser fields at frequency ω_{p1} and ω_{p2} probe the population of virtual $|\tilde{G}_v\rangle$ and real $|\tilde{E}_r\rangle$ states, where $|n\rangle$ is a high-lying state. Although the field is adiabatic, population of real state $|\tilde{E}_r\rangle$ is observed *due to nonadiabatic factors from the environment* (collisions with other atoms, mainly). The population on the virtual state $|\tilde{G}_v\rangle$ is detected experimentally and it is an order of magnitude higher than that of the real state $|\tilde{E}_r\rangle$. The population of the virtual state is proportional to the intensity of the field and no population can be found on it once the field is switched off. The population on the real state $|\tilde{E}_r\rangle$ is proportional to the time integral from intensity of the field. One may conclude that, first, $|\tilde{G}_v\rangle$ state is physically populated following instantaneously the field and, next, part of this population is transferred to the real state $|\tilde{E}_r\rangle$. As any real state exists independently of the field, the population in $|\tilde{E}_r\rangle$ is trapped and accumulated there, leading to integral time dependence.

3. Reformulation of the quantum superposition principle

According to above considerations, the superposition in Eq.(1) is neither simultaneous nor coherent if the quantum states are eigenstates of adiabatically changing Hamiltonian, or, as it is more usual, the BS of a closed quantum system. In this relation, it is natural to find answers of the following questions: (i) "What kind of states take part in the quantum superposition?"; (ii) "What is the physical mechanism that can superimpose simultaneously two or more quantum states?"; (iii) "How to superimpose coherently quantum states if transitions between different eigenstates of adiabatic Hamiltonian result from the action of nonadiabatic factors, which are inherently stochastic, and this breaks the coherence?".

Above problems impose reformulation of the conventional superposition, Eq.(1). The superposition of states that meet above requirements are two-level NADS, Eqs.(3); multilevel NADS, Eqs.(6); or other states of similar features. These states, or superpositions, include only one initial real state (component) and one (two-level

case) or a number (multilevel case) of virtual states (components). Each virtual state corresponds to a given real state that is coupled by allowed (in this case) electric dipole transition to the initial real state. If, in addition, magnetic dipole, electric quadrupole, etc. transitions are considered, more real states will be involve in the formation of virtual components, but with much smaller contribution. In any case, the superposition of all virtual states is instantaneous because they are created simultaneously with switching the electromagnetic field on. All virtual components, in the case of multilevel NADS, are coherent as they are created simultaneously with definite phases. In addition, as all virtual states have same energy (Bohr frequency), they oscillate with same frequency thus keeping this phase relation stable in time. According to this, the new formulation of the quantum superposition principle is:

Two-level case, Eqs. (3):

$$|\tilde{G}\rangle = \cos(\theta/2)|\tilde{G}_r\rangle + \sin(\theta/2)|\tilde{G}_v\rangle \quad (7a)$$

$$|\tilde{E}\rangle = \cos(\theta/2)|\tilde{E}_r\rangle - \sin(\theta/2)|\tilde{E}_v\rangle \quad (7b)$$

Multilevel case, Eqs. (6):

$$|\tilde{G}\rangle = C_r|\tilde{G}_r\rangle + \sum_i C_{vi}|\tilde{G}_v\rangle_i \quad (8a)$$

$$|\tilde{E}\rangle = C_r|\tilde{E}_r\rangle + \sum_i C_{vi}^+|\tilde{E}_v\rangle_i^+ + \sum_i C_{vi}^-|\tilde{E}_v\rangle_i^- \quad (8b)$$

In all these formulations, the superposition of quantum states is a causal physical process of well-defined physical mechanism (*e.g.*, forced by electromagnetic field) but not an accidental linear combination of states.

4. Physical implications of the reformulated quantum superposition principle

Based on reformulated quantum superposition principle, some fundamental quantum mechanical problems as the collapse of wave function and the quantum measurement problem become understandable. Finally, inconsistency of the so called quantum "jumps" becomes clear from the way of formation of virtual states.

4.1 The quantum superposition and the collapse of the wave function

The collapse of the wave function takes place when the quantum system interacts with the environment or is subject to measurement. Then, the superposition wave function shrinks onto some of the eigenstates of the Hamiltonian [6], Eq. (9).

$$\sum_i c_i(t)|\psi(\vec{r}, t)\rangle_i \rightarrow |\psi(\vec{r}, t)\rangle_k \quad (9)$$

The collapse of the wave function cannot be described by the Schrödinger equation but only probabilistically, according to the Born's probability rule. The

inability to explain "why the superposition of wave functions collapses onto only one of the superimposed quantum states" and "what is the physical mechanism behind it" is a fundamental problem, which dates since the early days of quantum mechanics.

Within the NADS picture, the creation of quantum superposition and collapse of wave function are simply two opposite directions of one and same physical process. Creation and collapse of quantum superposition for ground and excited NADS are:

Ground NADS, two-level case:

$$|g\rangle \xrightarrow{E_0 \neq 0} |\tilde{G}\rangle = \cos(\theta/2)|\tilde{G}_r\rangle + \sin(\theta/2)|\tilde{G}_v\rangle \quad (10a)$$

$$|\tilde{G}\rangle = \cos(\theta/2)|\tilde{G}_r\rangle + \sin(\theta/2)|\tilde{G}_v\rangle \xrightarrow{E_0 \rightarrow 0} |g\rangle \quad (10b)$$

Excited NADS, two-level case:

$$|e\rangle \xrightarrow{E_0 \neq 0} |\tilde{E}\rangle = \cos(\theta/2)|\tilde{E}_r\rangle - \sin(\theta/2)|\tilde{E}_v\rangle \quad (11a)$$

$$|\tilde{E}\rangle = \cos(\theta/2)|\tilde{E}_r\rangle - \sin(\theta/2)|\tilde{E}_v\rangle \xrightarrow{E_0 \rightarrow 0} |e\rangle \quad (11b)$$

Ground NADS, multilevel case:

$$|g\rangle \xrightarrow{E_0 \neq 0} |\tilde{G}\rangle = C_r|\tilde{G}_r\rangle + \sum_i C_{vi}|\tilde{G}_v\rangle \quad (12a)$$

$$|\tilde{G}\rangle = C_r|\tilde{G}_r\rangle + \sum_i C_{vi}|\tilde{G}_v\rangle \xrightarrow{E_0 \rightarrow 0} |g\rangle \quad (12b)$$

Excited NADS, multilevel case:

$$|e\rangle \xrightarrow{E_0 \neq 0} |\tilde{E}\rangle = C_r|\tilde{E}_r\rangle + \sum_i C_{vi}^+|\tilde{E}_v\rangle_i^+ + \sum_i C_{vi}^-|\tilde{E}_v\rangle_i^- \quad (13a)$$

$$|\tilde{E}\rangle = C_r|\tilde{E}_r\rangle + \sum_i C_{vi}^+|\tilde{E}_v\rangle_i^+ + \sum_i C_{vi}^-|\tilde{E}_v\rangle_i^- \xrightarrow{E_0 \rightarrow 0} |e\rangle \quad (13b)$$

The physical meaning of these equations is simple. All (...a)-equations represent the process of formation of quantum superposition, *i.e.*, NADS: when the electromagnetic field is switched on, the initial BS evolves toward a NADS, which consists of a single real state (into which the original BS evolves) and a number of virtual states. All (...b)-equations represent the process of collapse of the wave function: when the electromagnetic field is switching off, all virtual states disappear and the quantum superposition, *i.e.*, the NADS, collapses onto the single real state from which it originates. Thus, the collapse of the wave function is a direct consequence from the physical mechanism of creation of quantum superposition. This also shows that *the collapse of wave function is a real and causal physical process*, which is too fast (attoseconds or shorter) so as to be traced experimentally, for now.

4.2 The quantum superposition and the quantum measurement problem

The quantum measurement is a process of interaction of a quantum system with a measuring (usually, macroscopic) apparatus, or, in general, with the environment. The quantum system interacts with the measuring apparatus by some kind of field: electromagnetic field (our case), magnetic field (Stern-Gerlach apparatus), etc. Due to interaction with electromagnetic field, the states of the quantum system evolve from the initial BS to the respective NADS and form entangled state with the respective states of the field of the apparatus. The quantum measurement is closely related to the collapse of the wave function onto one only state of the quantum system [6], which has been already explained above. Another main point in the quantum measurement is to explain the seemingly random probabilistic outcome of the measurement.

The central part in the evolution of quantum states, Fig.2, is nonadiabatic loop, shown in Fig.5. The nonadiabatic loop consists of two arms, ground NADS arm (left, as chosen here) and excited NADS arm (right). The ground and excited NADS are adiabatically decoupled at lack of nonadiabatic factors. In this case, if the quantum system is initially in the ground BS $|g\rangle$, it will evolve toward ground NADS $|\tilde{G}\rangle$ and it will remain in that state with no transition to the excited NADS $|\tilde{E}\rangle$. Due to action of nonadiabatic factors, quantum transition from $|\tilde{G}\rangle$ to $|\tilde{E}\rangle$, more particularly, from $|\tilde{G}_v\rangle$ to $|\tilde{E}_r\rangle$ (due to minimal energy gap ΔE), will occur. In fact, the quantum system is trapped in $|\tilde{E}_r\rangle$, as it is stable state (within the lifetime), and the population can be accumulated in this state, as also the experiment shows [2]. Trapping the quantum system in $|\tilde{E}_r\rangle$ terminates its evolution within the ground NADS. If the action of the electromagnetic field continue, it will start forming a virtual state $|\tilde{E}_v\rangle$ from $|\tilde{E}_r\rangle$ and the quantum system will evolve within the excited NADS $|\tilde{E}\rangle$.

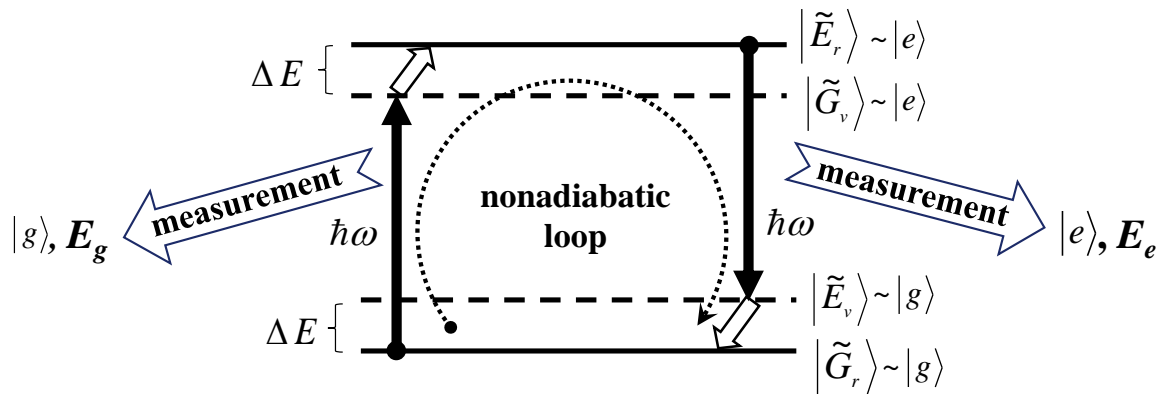


Fig. 5. Nonadiabatic loop and the random outcome of the quantum measurement
 The quantum system will remain in $|\tilde{E}\rangle$ until the next action of nonadiabatic factors transfer it from $|\tilde{E}\rangle$ to $|\tilde{G}\rangle$, more particularly, from $|\tilde{E}_v\rangle$ to $|\tilde{G}_r\rangle$ (due to minimal energy gap ΔE). This terminates the evolution of the quantum system within the excited NADS and closes the nonadiabatic loop. Depending on the duration of the

physical processes involved in the loop and in the measurement, the measurement may last from only part of the loop up to a number of loops. As the nonadiabatic factors have, in general, stochastic character, transition from one to other nonadiabatic arm and, thus, from one NADS to other NADS, have same stochastic character. Thus, *the nonadiabatic physical processes within the nonadiabatic loop are responsible for the random outcome of the measurement process*. The particular outcome of the measurement depends on which state the quantum system is in at the "end of the measurement". As "end of measurement" (depending on the measurement scheme) we will understand the instant of time at which: the field is switched off, the quantum system leaves the area where the field is localized, some auxiliary field move the quantum system to a state out of the loop, etc. Thus, if at the end of measurement the quantum system is in the ground NADS $|\tilde{g}\rangle$, it will be found in the ground BS $|g\rangle$ and energy E_g will be measured. If at the end of measurement the quantum system is in the excited NADS $|\tilde{e}\rangle$, it will be found in the excited BS $|e\rangle$ and energy E_e will be measured.

4.3 Quantum "jumps"

The above considerations automatically explain the problem with the so called *quantum "jumps"*. The later takes place at *isolated quantum systems*, for which all intermediate states, apart from its eigenstates, are forbidden. For *open quantum systems*, e.g., at presence of external electromagnetic field, the system can be excited (with different probability) to any intermediate state, *virtual state*, depending on photon energy. Thus, there is no place for quantum jumps in the dressed state picture.

5. Conclusion

The quantum superposition principle is reformulated. The collapse of the wave function and the quantum measurement problem are explained on that ground.

REFERENCES

- [1] M. Born and V. A. Fock, Zeitschrift für Physik A Hadrons and Nuclei, **51**, 165-180 (1928).
- [2] D. Grischkowsky, Phys. Rev. A, **14**, 802-812 (1976).
- [3] E. Courtens, A. Szöke, Phys. Rev. A, **15**, 1588-1603 (1977)
- [4] I. G. Koprnikov, J. Phys. B, **34**, 3679–3688 (2001)
- [5] J. von Neumann, E. P. Wigner, Physikalische Zeitschrift **30**, 465-467 (1929).
- [6] J. von Neumann (1955), *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*, Princeton University Press.

АЛТЕРНАТИВЕН ПОДХОД ЗА ОБРАБОТКА НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИТЕ ДАННИ НА ЛАБОРАТОРНОТО УПРАЖНЕНИЕ

„ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОТНОШЕНИЕТО C_p/C_v ПО МЕТОДА НА КЛЕМАНТ И ДЕЗОРМ“

Иван Стефанов и Николай Денев

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

Резюме. При традиционният подход за обработка на експерименталните данни от лабораторното упражнение „Определяне на отношението C_p/C_v по метода на Клемант и Дезорм“ като оценка на стойността на показателя на адиабатата за въздух се взема усреднената стойност от няколко, обикновено около десет, измервания. В настоящия доклад е представен е алтернативен подход, при който усредняването е заменено с построяването на графика и прилагане на метода на най-малките квадрати. Оценена е грешката и са сравнени резултатите от двата подхода.

Ключови думи: лабораторно упражнение, обработка на експериментални данни, метод на Клемант и Дозорм

1. Увод

Едно от лабораторните упражнения от цикъла по термодинамика, което се среща в повечето учебни лаборатории по обща физика в университетските курсове [1, 2] е „Определяне на отношението C_p/C_v по метода на Клемант и Дезорм“. Обикновено в основата на провеждането и обработката на резултатите стои традиционен подход, който се използва от дълги години. При него, обаче, крайният (среден) резултат се характеризира с не много добра достоверност, въпреки ниските стойности на изчисляемата грешка.

В настоящата работа предлагаме алтернативен подход за обработка на лабораторните данни, като при него се получава по-близък до реалния резултат, но пък грешката е по-голяма.

2. Представяне на експерименталната постановка на на лабораторното упражнение

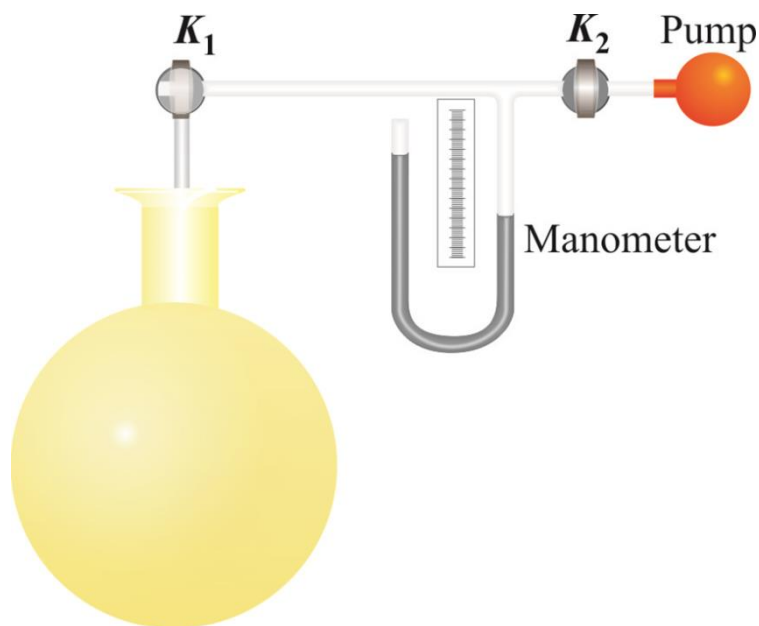
Апаратурата, която се използва за извършване на това упражнение (както за традиционния, така и за алтернативния подход) се състои от следните елементи, (фиг. 1): голям стъклен балон (нарисуван в жълто); крушовидна гумена помпа; воден манометър; два крана (K_1 и K_2); свързващи гумени маркучи.

Големият стъклен балон представлява работния обем. Свързан е с останалата част от системата чрез гумени маркучи, а към атмосферния въздух чрез крана K_1 .

Помпата служи за нагнетяване на допълнително въздух в балона.

Кранът K_2 служи за свързване на системата към помпата или за изолирането ѝ от околната среда, когато не се работи с помпата, тъй като тя има контакт с въздуха в стаята и при отворен кран K_2 част от въздухът в балона излиза и налягането пада. Когато и двата крана са затворени, системата е изолирана от околната среда по отношение на утечки на въздух. Разбира се, поради недобри или амортизирани връзки чрез гумените маркучи, както и амортизирани елементи на крановете, малки утечки винаги има и това води до изкривяване на резултатите. Все пак, в качеството си на учебен експеримент, упражнението играе важна роля в обучението на студентите по термодинамика, в това число по-специално за част от изо-процесите и адиабатния процес.

Ролята на манометъра е да измерва налягането на въздуха в балона спрямо това в стаята. Лявата му тръбичка е отворена към въздуха в стаята. Разбира се, тук се предполага, че атмосферното налягане остава постоянно по време на провеждането на експеримента. Това предположение в голяма част от случаите е обосновано.



Фиг. 1. Лабораторната постановка.

(Авторите изказват благодарност на доц. Михаил Михалев, ТУ-София, за изработването на графиката.)

Методът на провеждане на едно измерване е следният.

Първо се отварят и двата крана. Изчаква се 3 – 4 секунди, след което кран K_1 се затваря и чрез помпата се нагнетява допълнително въздух в балона. Веднага след това се затваря кранът K_2 . Започва изохорен процес, при който температурата и налягането в балона намаляват до достигане на стайната температура. Така стигаме до **състояние 1** с: температура T_0 (стайната),

налягане $p_1 = p_0 + \Delta p_1$ и обем V_0 . Тук p_0 е атмосферното налягане в стаята, Δp_1 е разликата между налягането в балона при състояние 1 и p_0 , V_0 е обемът на балона.

Следва адиабатен процес. За целта бързо отваряме и затваряме кран K_1 , при което част от въздуха изтича адиабатно, температурата в балона намалява до $T_2 < T_0$, а налягането в него намалява до p_0 . Обемът нараства до $V_2 > V_0$. Тези параметри характеризират **състояние 2**.

Отново следва изохорен процес, при който температурата на въздуха в балона нараства отново до T_0 , налягането нараства до $p_2 = p_0 + \Delta p_2$, а обемът остава V_2 . Това е **състояние 3**. Тук $p_2 < p_1$.

Разликата между състояния 1 и 3 е, че в първото налягането е по-високо, а обемът по-малък от същите параметри при състояние 3. Температурите и при двете състояния са равни.

Ако използваме закона за адиабатен процес за прехода от състояние 1 до състояние 2 и закона за изотермен процес за прехода 1 – 3, можем да получим за $\gamma = C_p/C_v = \Delta p_1 / (\Delta p_1 - \Delta p_2)$

Като отчетем, че разликата Δh между нивата на водата в лявата и дясната тръбички на манометъра е пропорционална на разликата Δp между налягането p на въздуха в балона и атмосферното налягане p_0 в стаята, можем да запишем за $\gamma = \Delta h_1 / (\Delta h_1 - \Delta h_2)$. (Виж формула (1).)

3. Традиционен подход за обработка на експерименталните данни

При традиционния подход се провеждат около 10 измервания, т.е. описаната процедура се повтаря около 10 пъти. Данните за Δh_1 , Δh_2 и γ се записват в таблица. (Виж Таблица 1 тук.) Изчислява се средноаритметичната стойност $\gamma_{\text{ср}}$ и от всяка стойност на γ_i се изважда $\gamma_{\text{ср}}$. Така в колона 5 се записват стойностите $\Delta \gamma_i = \gamma_i - \gamma_{\text{ср}}$. В последната колона се записват стойностите на $(\Delta \gamma_i)^2$.

$$\gamma = \frac{\rho g \Delta h_1}{\rho g \Delta h_1 - \rho g \Delta h_2} = \frac{\Delta h_1}{\Delta h_1 - \Delta h_2} \quad (1)$$

$$\Delta \gamma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta \gamma_i)^2}{n(n-1)}} \quad (2)$$

Средноквадратичната грешка, или стандартното отклонение на средната стойност, се пресмята по формула (2).

Окончателно по традиционния подход получаване следния, формула (3), резултат за показателя на адиабатата за въздух.

$$\gamma = 1,310 \pm 0,007 \quad (3)$$

Таблица 1 Експериментални данни

№	Δh_{1i} [cm]	Δh_{2i} [cm]	γ_i	$\Delta \gamma_i$	$(\Delta \gamma_i)^2$
1	6,5	1,4	1,275	-0,035	0,00123
2	7	1,6	1,296	-0,014	0,00020
3	7,8	1,9	1,322	0,012	0,00014
4	8,3	2,1	1,339	0,029	0,00084
5	9,3	2,3	1,329	0,019	0,00036
6	10,2	2,5	1,325	0,015	0,00023
7	11,1	2,6	1,306	-0,004	0,00002
8	11,8	2,7	1,297	-0,013	0,00017
9	12,6	2,9	1,299	-0,011	0,00012
				$\gamma_{cp} = 1,310$	$\Sigma(\Delta \gamma_i)^2 = 0,00331$

4. Алтернативен подход за обработка на експерименталните данни

Предложеният от нас подход за обработка на експерименталните данни заменя усредняването с приложение на метода на най-малките квадрати. Приложението на метода е оправдано от наблюдението, че, както се вижда от формула (1), величините Δh_1 и Δh_2 са свързани посредством линейна функция от вида

$$\Delta h_2 = k \cdot \Delta h_1 \quad (4)$$

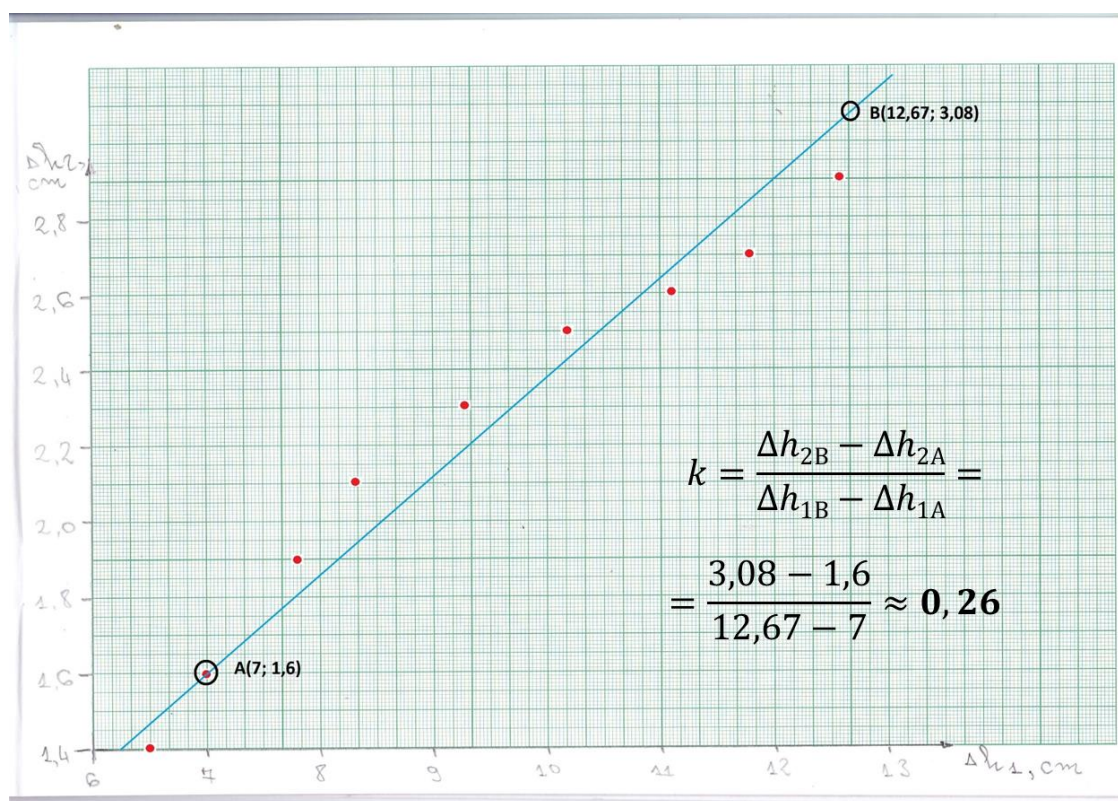
Първата стъпка е данните получени при различните експерименти да бъдат подредени в нарастващ ред по независимата променлива Δh_1 , както е направено в Таблица 1. Оттук нататък процедурата е добре известна. Подробно описание на приложението на метода на най-малките квадрати студентите могат да открият на страницата на катедра „Приложна физика“ [3]. По тази тема можем да препоръчаме още и следните източници: учебника по математически методи на физиката и инженерството на Райли, Хобсън и Бенс [4], класическите книги по теория на грешките и обработка на експериментални данни [5, 6], още две книги [7, 8]. Препоръчваме също горещо

и прекрасното ръководство за лабораторни упражнения на проф. Питър Скот от университета "UC Santa Cruz" [9]

Експерименталните точки се нанасят на координатна система. За удобство, при работа в лабораторията, при липса на компютър, може да се използва милиметрова хартия. Това е направено тук на Фиг. 2. Избрани са подходящи мащаб и обхват на координатните оси така, че експерименталните точки, представени с червени точки на фигурата, да покриват възможно най-обширен участък от работната площ.

Следва построяване на моделната права представена на фигура 2 от синята линия. Линията е построена „на око“. Избират се две точки от нея, обозначени тук като А и В, и се снемат техните координати. За наклона на правата получаваме стойността $k = 0,26$. Тази стойност се използва за пресмятане на показателя на адиабатата посредством следната формула, получена от съотношение (1).

$$\gamma = \frac{1}{1-k} = 1,35 \quad (5)$$



Фиг. 2. Експерименталните данни и апроксимиращата права

5. Оценка на грешката

За оценка на грешката използваме традиционния за лабораторните упражнения водени от нашата катедра подход [1– 3]. Прилагаме формулата за

пресмятане на косвена грешка за да оценим първо относителната грешка на коефициента k ,

$$\begin{aligned} \frac{\Delta k}{k} &= \frac{\Delta(\Delta h_{1B}) + \Delta(\Delta h_{1A})}{\Delta h_{1B} - \Delta h_{1A}} + \frac{\Delta(\Delta h_{2B}) + \Delta(\Delta h_{2A})}{\Delta h_{2B} - \Delta h_{2A}} = \\ &= \frac{0,2}{5,67} + \frac{0,2}{1,48} = 0,035 + 0,135 = \mathbf{0,17} \end{aligned} \quad (6)$$

а след това и абсолютната

$$\Delta k = 0,17k = \mathbf{0,0442} \quad (7)$$

Във формула (6) участват приборната грешка при измерването на разликата на нивата на водата в двете колена на манометъра, т.е. грешките на величините Δh_1 и Δh_2 . Оценили сме я да бъде от порядъка на най-малкото деление на скалата за отчитане, т.е. 1 mm.

$$\Delta(\Delta h_1) \approx 1 \text{ mm} \approx \Delta(\Delta h_2) \quad (8)$$

Разбира се би могло да бъде приета и доста по-консервативна оценка за грешките на тези величини. Грешка от дори 5 mm не би била неоправдано голяма, като се имат предвид следните фактори, които влошават точността на измерването: отчитат се две показания, от едното и от другото коляно на манометъра; мениска на водата е достатъчно силно закривен, което също затруднява отчитането на положението му; има грешката от паралакс.

За относителната и абсолютната грешка на изследваната от нас величина, а именно показателя на адиабатата получаваме

$$\frac{\Delta \gamma}{\gamma} = \frac{\Delta k}{1-k} = \frac{0,0442}{1-0,26} = \mathbf{0,06} = \mathbf{6\%} \quad (9)$$

$$\Delta \gamma = 0,06\gamma = \mathbf{0,08} \quad (10)$$

На този етап е естествено да изникне въпроса, на какво се дължи тази голяма разлика в оценките на грешката на γ получени при двата подхода – традиционния и алтернативния?

При традиционния подход приборната грешка се пренебрегва, а се отчита само случайната, която, според теория на случайните грешки, намалява с нарастване на броя на измерванията [5, 6, 10, 11]. Нека отчетем и приборната грешка на това измерване.

$$\frac{\Delta\gamma_{\text{пр}}}{\gamma} = \frac{\Delta(\Delta h_1)}{\Delta h_1} + \frac{\Delta(\Delta h_1) + \Delta(\Delta h_2)}{\Delta h_1 - \Delta h_2} = \frac{0,1}{6,5} + \frac{0,1 + 0,1}{5,1} = \mathbf{0,05} \quad (11)$$

$$\Delta\gamma_{\text{пр}} = 0,05\gamma = \mathbf{0,07} \quad (12)$$

Сега следвайки отново упътването предложено на страницата на нашата катедра [3], можем да съберем двете грешки по следната формула.

$$\Delta\gamma = \sqrt{(\Delta\gamma_{\text{сл}})^2 + (\Delta\gamma_{\text{пр}})^2} = \sqrt{0,07^2 + 0,007^2} = \mathbf{0,07} \quad (13)$$

Виждаме, че пълната грешка получена след сумирането на случайната и приборната грешка, е от същия порядък, като и грешката от алтернативния подход дадена във формула (10).

6. Сравнение на резултатите двата подхода

Резултатите за показателя на адиабатата получени с традиционния и алтернативния подход за обработка на експерименталните данни са представени на формули (14) и (15). Както се вижда те са съгласувани помежду си. Табличната стойност на тази величина за въздух, разглеждан като двуатомен газ, е дадена във формула (16).

$$\gamma_{\text{традиционен}} = \mathbf{1,310 \pm 0,007} \quad (14)$$

$$\gamma_{\text{алтернативен}} = \mathbf{1,35 \pm 0,08} \quad (15)$$

$$\gamma_{\text{въздух}} = \mathbf{1,4} \quad (16)$$

Нека накратко сравним двата метода за обработка на експерименталните данни. При традиционния подход се пресмята стандартната грешка (стандартното отклонение на средната стойност), т.е. превес се дава на статистическата, за сметка на инструменталната грешка. По този начин се постига по-голяма точност, но по-ниска достоверност.

При алтернативния подход, предложен в настоящата работа, „усредняването“ се осъществява чрез метода на най-малките квадрати. В този случай превес има инструменталната грешка. Точността е по-ниска, но по-достоверността е по-висока в сравнение традиционния подход.

Крайните резултати са съвместими помежду си.

Една възможна посока за бъдещо развитие на тази работа би могло да бъде реализацията на метода на най-малките квадрати с компютър (например в Excel).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Р. Ташева, И. Минков, Т. Петров, Х. Христов „Физика: Ръководство за лабораторни упражнения“, Симолини 94 (2016), ISBN 978-619-7265-15-6.
- [2] Никола Илков, Лъчезар Длъгников, „Физика - лабораторен практикум“, издателство: София (2006).
- [3] Христо Христов, „Измерителни единици. Измерване на физични величини и методи за обработка на експерименталните резултати (УПЪТВАНЕ ЗА РАБОТА В ЛАБОРАТОРНИЯ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКА)“, веб-страница на катедра „Приложна физика“ <http://phys.tu-sofia.bg/>, раздел „Обучение по физика“, подраздел „Лабораторни упражнения по Физика 1“, директна препратка към документа: <https://is.gd/PPZ0Ss>.
- [4] K. F. Riley, M. P. Hobson, S. J. Bence, “Mathematical Methods for Physics and Engineering”, Cambridge University Press; 3 edition (2006), ISBN-13: 978-0521679718.
- [5] P. Bevington, D. K. Robinson, *Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences*, Third edition, McGraw-Hill (2003).
- [6] John R. Taylor, “An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements 2nd Edition”, University Science Books, ISBN: 093570275X
- [7] H. J. C. Berendsen, 2011, *A Student's Guide to Data and Error Analysis*, Cambridge University Press.
- [8] R. Russell Rhinehart, *Nonlinear Regression Modeling For Engineering Applications* (John Wiley & Sons, 2016).
- [9] Peter Scott, *Physics 133 Lab manual*, <http://scott.physics.ucsc.edu/> и по-конкретно https://scott.physics.ucsc.edu/pdf/133_draftman.pdf.
- [10] Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 100:2008, “Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement”
- [11] Христо Радев, Васил Богев, „Неопределеност на резултата от измерването“, изд. Софттрейд (2001), ISBN: 954-9725-54-5.

ПАРАЛЕЛИЗАЦИЯ НА PIC/MONTE CARLO АЛГОРИТЪМ ЗА МОДЕЛИРАНЕ НА КАПАЦИТИВНИ РАЗРЯДИ

Росица Андреева

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

***Резюме.** Разработен е паралелен програмен модел на C/C++ за моделиране на капацитивни разряди. Сравнени са времената за работа на последователен и паралелен модел. Представени са резултати за ускорението (*speed up*), ефективността и мащабиране при различен брой нишки и различен работен товар.*

Ключови думи: паралелни изчисления

1. Увод

Капацитивни разряди са разряди между два успоредни електрода, на които е приложено променливо напрежение. Броят на електроните и йоните в плазмата е много голям. В Particle-in-cell (PIC) моделите се изследва поведението на няколко стотин до милион частици, които се наричат макрочастици, като се приема, че една макрочастица е представител на голям брой реални частици. Програмата прави изчисления за тях. Използват се цикли for, в които има потенциален паралелизъм. Някои от циклите не бяха подходящи поради променливия брой на частиците или вида им, за разлика от други в които се правят независими изчисления за всички частици. Дялът на паралелните участъци е около 40% на база работен товар.

От гледна точка на PIC за получаване на коректни резултати е необходимо да се изпълняват следните условия[1]:

- Малка стъпка във времето
- Малък размер на клетките
- Достатъчен брой частици във всяка клетка

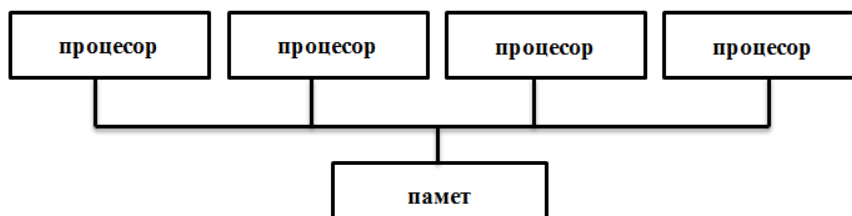
Времето, необходимо за получаване на резултатите, може да бъде съкратено значително при паралелизиране на кода, чрез изчисления с използване на паралелен програмен модел, изпълнен върху високопроизводителна компютърна платформа със споделена памет [2].

Съществуват три модела за паралелно програмиране: 1) паралелно програмиране с обща памет OpenMP. 2) Паралелно програмиране с обмен на съобщения MPI. 3) Хибридни модели.

Тук е разгледан моделът паралелно програмиране с обща памет.

2. Паралелно програмиране

При моделът с обща памет апаратните ресурси се разглеждат като множество процесори, всеки от които има еднакъв достъп до общата памет. Процесорите си взаимодействат и се синхронизират чрез обща памет.



Фиг. 1. Модел с обща памет [2].

Съвременният стандарт за програмиране с обща памет OpenMP представлява приложен програмен интерфейс за паралелно програмиране на мултипроцесори и на компютърни кълстери, фигура 1. Включва множество директиви за компилатора и библиотека от поддържащи функции. Работи в комбинация със стандартен Fortran, C, C++, Visual C.

3. Паралелен програмен модел за PIC/Монте Карло симулация

За PIC/Монте Карло симулация е предложен паралелен програмен модел за високопроизводителна компютърна система с обща памет. Използвани са специфични средства за имплементиране на паралелизмите: компилатори, компилаторни директиви, библиотечни функции, приложни интерфейси [2]. Използван е DevC++, като IDE за MinGW [4], библиотечни функции [5], приложен програмен интерфейс OpenMP [5].

Сложността на алгоритъма може да се използва за определяне на работния товар и за прогнозиране на времето за изпълнение при различен брой частици и стъпки. Теоретична оценка за сложността на алгоритъма е N^2 [3].

$$t_{\text{изпълнение}} \sim N^2$$

$$N^2 \sim O(1) + NN0 + NN0i + O(n) + t_{\max} \\ * (NN0 + NN0i + NN0 + NN0i + O(N_{\text{coll}}) + O(n) + O(1) + NN0 + NN0i) + \\ + O(n) + O(NN0) + O(NN0i) + O(t_{\max})$$

Тук $NN0$ и $NN0i$ са броя на електроните и йоните, t_{\max} е броя на стъпките на главния цикъл, n е броят на клетките на PIC модела – 3000, 1 - код изпълняван еднократно за инициализация, N_{coll} е броят на ударите.

При увеличаване броя на частиците 2 пъти и броя на стъпките на главния цикъл 2 пъти времето за изпълнение се предполага, че се увеличава 4 пъти.

$$4 t_{\text{изп}} \sim (2N)^2$$

Направената паралелизация е представена на фигура 2. Паралелните участъци за съответната фигура са инициализирани на положения и начални

скорости на частиците, интегриране уравненията на движение, пресмятане на средна кинетична енергия на частиците.



Фиг. 2. Паралелен програмен модел за PIC/Монте Карло симулация

Блок: начални положения и скорости на частиците:

Тук е направена паралелизация на ниво участъци (груб грануляритет). Двата цикъла (за електроните и йоните) се изпълняват от две паралелни секции. Изпробвани са и четири секции. В тези секции става извикване на функция, която връща случайно число `float`. Всяка една от нишките използва различен адрес в паметта откъдето взема стойност – дълго цяло число `long`, което подава като входен параметър на функцията за намиране на случайно число.

Блок: интегриране уравненията на движение:

В този паралелен блок се използва прагма `#pragma omp for` с планирано използване на нишките, тип на планиране – динамичен с размер на дяла за планиране 1 (фин грануляритет). Това се налага, тъй като на следващата стъпка във времето от главния цикъл не се знае какъв брой частици са останали в областта на моделиране. В паралелния участък се използва също и `private` клауза. Паралелизирани са два цикъла, в които се интегрират уравненията на движение на електроните и йоните. Тук трябва да се отбележи, че при последователния вариант на програмата блокът за интегриране на уравненията за движение и следващият блок, в който се проверява дали частиците са загубени на електродите, са в един цикъл. При паралелния вариант цикълът е разделен на две, като блокът за частиците, загубени на електродите не е паралелизиран. Паралелизирането на този блок е свързано със запис в масив, което изисква критична секция при паралелна обработка. Пробите обаче показаха, че програмата работи по-бавно паралелно с критична секция.

Блок: пресмятане на средна кинетична енергия на частиците

В края на главния цикъл има два цикъла по брой частици, в които се изчисляват скоростите, повдигнати на квадрат на всички електрони в единия цикъл и на всички йони в другия цикъл. Изчисляването е на базата на компонентите на скоростта, които се променят на всяка стъпка във времето. Тук също се използват `#pragma omp for` със същия тип планиране и размер на дяла, като в предния блок. Използва се също и `private` клауза за брояча и `reduction` клауза за операция събиране в обща променлива. С тази стойност на променливата след края на паралелния участък се изчислява средната кинетична енергия на електроните, съответно йоните на всяка стъпка във времето.

4. Експериментални резултати

Някои атрибути на производителността са размера на машината, тактовата честота, работен товар, време за последователно изпълнение, време за паралелно изпълнение, скорост, ускорение, ефективност, използване на процесорите. Размерът на машината се определя, от броя на процесорите в паралелния компютър. Работният товар се определя от броя на изчислителните операции в паралелния компютър [2].

За експериментална оценка на създадения приложен програмен модел е използвана компютърна архитектура с 4 процесора intel без hyperthreading (HT) многонишкова технология, така че броя на процесорите е равен на броя на нишките.

Intel® Core™ 2 Quad Processor 9400
6M Cache, 2.66 GHz, 1333 MHz FSB

Performance specifications

Total cores 4

Processor base frequency 2.66GHz

Advanced Technologies

Intel® Turbo Boost Technology No

Intel® Hyper-Threading Technology No

Представените резултати са за ускорението, ефективността и мащабиране при различен брой нишки и различен работен товар.

Ускорение. Ускорението при n – процесорна система се определя като отношение на времето за последователно изпълнение T_s към времето за паралелното изпълнение T_{par} на един и същ проблем.

$$S_n = \frac{T_s}{T_{par}}$$

Ефективност. Ефективността на паралелната обработка се определя като отношение на ускорението към броя на процесорите, участващи в паралелното решаване на проблема:

$$E_n = \frac{S_n}{n}$$

Ефективността представлява мярка за полезното време, изразходвано от процесорите за изчисления.

Мащабиране: при N -кратно увеличаване на проблема времето за решаването му от N процесора да остава същото [2].

Таблица 1. Зависимост на времето за изпълнение при различен брой нишки от работния товар, който се променя чрез броя на частиците.

Работен товар W \ Време за изпълнение, секунди	1 нишка	2 нишки	3 нишки	4 нишки
W (3000 стъпки, NN0=30 000, NN0i=30 500)	47,39	30,31	24,23	23,76
2W (3000 стъпки, NN0=60 000, NN0i=61 000)	93,73	57,26	46,68	45,65
3W(3000 стъпки, NN0=90 000, NN0i=91 500)	140,3	88,66	69,99	68,02
4W(3000 стъпки, NN0=120 000, NN0i=122 000)	187,5	116,3	95,17	91,07

При даден брой нишки времето за изпълнение е пропорционално на работния товар (по колони). Това означава, че ускорението е еднакво при дадения брой нишки. При даден работен товар времето за паралелно изпълнение при 4 нишки намалява двойно спрямо времето за последователно изпълнение – 1 нишка (по редове) и ускорението нараства.

Ако приемем, че броя на частиците не се изменя значително за 12 000 стъпки, можем да увеличаваме работния товар чрез увеличаване на стъпките. Опитът показва (таблица 2.), че времето нараства линейно.

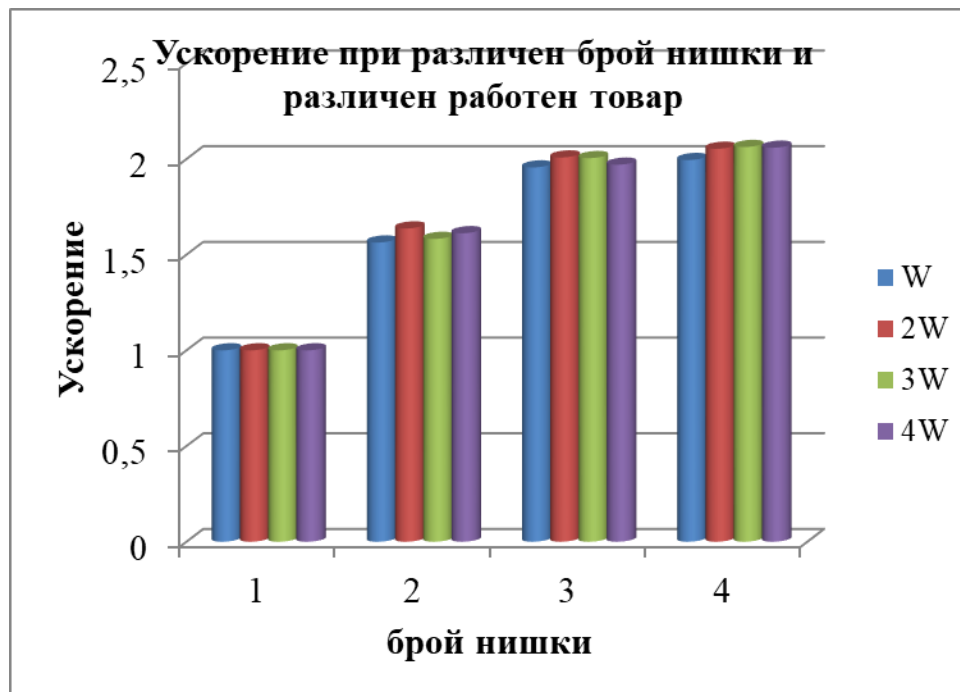
Таблица 2. Зависимост на времето за изпълнение при различен брой нишки от работния товар, който се променя чрез стъпките във времето.

Работен товар	1 нишка 25%	2 нишки 40%	3 нишки 50%	4 нишки 60%
W (3000 стъпки)	48.63	29.2	24.73	21.75
2W (6054 стъпки)	97.77	58.38	48.29	43,33
3W (9109 стъпки)	152.4	86.17	73.35	64,76
4W (12163 стъпки)	198.3	115.9	97.73	85.24

Ако се увеличат броя на частиците два пъти и броя на стъпките на главния цикъл два пъти, то времето за изпълнение нараства 4 пъти (таблица 3) .

Таблица 3. Сравняване на времето за изпълнение при различен брой нишки в два случая: при работен товар W и $4W$.

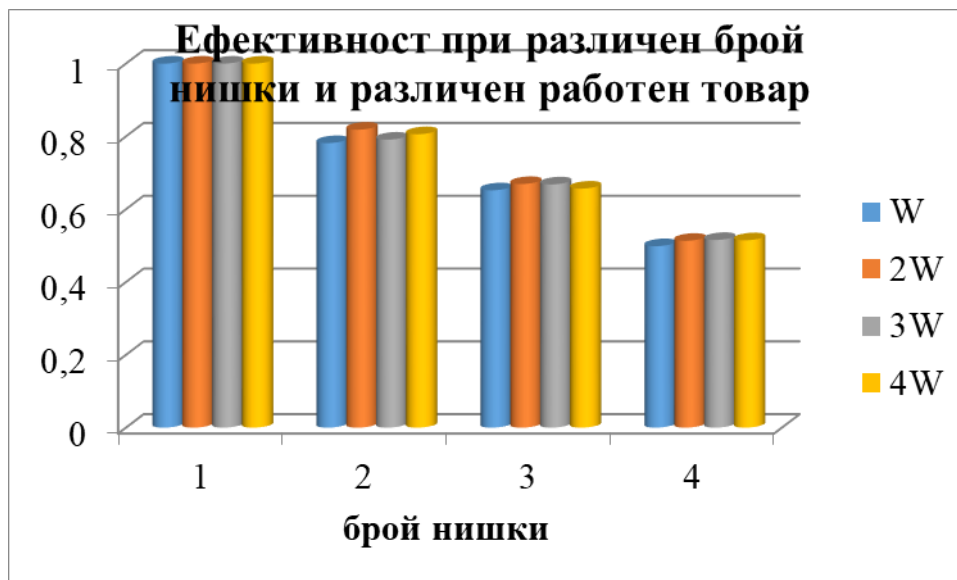
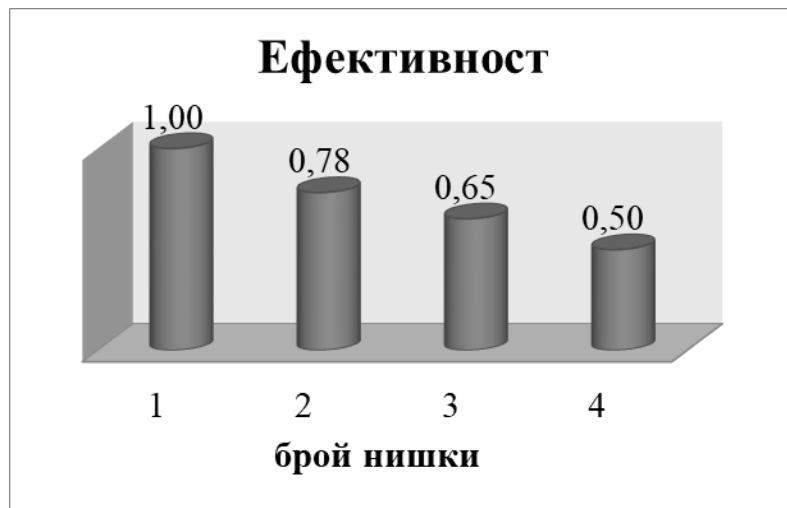
Работен товар	1 нишка	2 нишки	3 нишки	4 нишки
W (3000 стъпки, $NN_0=30\ 000$, $NN_{0i}=30\ 500$)	47,39	30.31	24,23	23.76
$4W$ (6054 стъпки, $NN_0=60\ 000$, $NN_{0i}=61\ 000$)	190,2	119.8	93.8	93.35



Работен товар W	s_1	s_2	s_3	s_4
W	1	1,563	1,955	1,994
$2W$	1	1,636	2,007	2,053
$3W$	1	1,582	2,004	2,062
$4W$	1	1,612	1,970	2,058

Фиг. 3. Ускорение в зависимост от броя на нишките и работния товар.

Вижда се, че ускорението е приблизително еднакво при различен товар и даден брой нишки и нараства с увеличаване на броя на нишките.

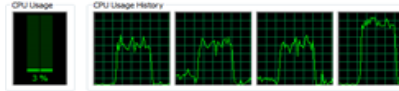


Работен товар W	1 нишка	2 нишки	3 нишки	4 нишки
W	1	0,781	0,651	0,498
2W	1	0,818	0,669	0,513
3W	1	0,791	0,668	0,515
4W	1	0,806	0,656	0,514

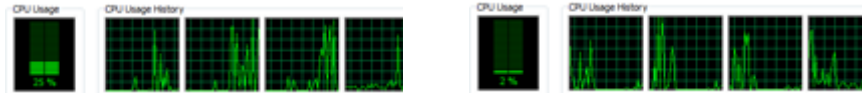
Фиг. 4. Ефективност в зависимост от броя на нишките.

На фигурата е показана зависимостта на ефективността от броя на нишките. Вижда се, че ефективността е приблизително еднаква при различен работен товар и даден брой нишки и намалява линейно с увеличаване на броя на нишките.

4 нишки , W



1 нишка, 4W



2 нишки, 4W



3 нишки, 4W



4 нишки, 4W



Фиг. 5. *Натовареност на процесорите: а) при работен товар W и 4 нишки б) при работен товар 4W и различен брой нишки.*

На фигура 5 може да се види натовареността на процесорите по отделно и общо в проценти, съответно в началото, когато тръгват нишките (ляво) и в края (дясно). Средната натовареност на процесорите е ефективността, показана по-горе. При две нишки около 80% , при три нишки около 67% , при четири нишки около 50%. Вижда се, че при една нишка системата предава управлението на някоя от нишките.



Фиг. 6. *Мащабиране.*

В случай, че се умножи работния товар W по ускорението се получава число, което е пропорционално на времето за последователно изпълнение T_s (една нишка). Новият брой на частиците, може да се получи чрез умножение на броя на частиците на една нишка (за даденото време 47,3 s) по ускорението. Работният товар може да се представи в относителни единици (фигура б). Съгласно очакванията времето за изпълнение остава еднакво при различен брой

нишки, когато работния товар е пропорционален (с точност 2 – 3 %) на ускорението. От фигура 3 се забелязва следното:

$$\frac{s_{2_{2W}}}{s_{2_W}} = \frac{1,636}{1,563} = 1.046$$

$$\frac{s_{3_{2W}}}{s_{3_W}} = \frac{2.007}{1.955} = 1.026$$

$$\frac{s_{4_{2W}}}{s_{4_W}} = \frac{2.053}{1.994} = 1.029$$

Ако намерим средното ускорение на W и 2W при две нишки намираме, че допустимото увеличение на работния товар е с 2,3%

$$\frac{s_{2_{1.5W}}}{s_{2_W}} = \frac{1.599}{1,563} = 1.023$$

5. Заключение

Ускорението и ефективността зависят от броя на нишките, и не зависят от работния товар. С увеличаване на работния товар нараства и времето за изпълнение линейно, независимо от броя на нишките.

- Резултатите показват значително увеличаване на бързодействието при паралелизация на кода
- Увеличение на броя на нишките от 3 на 4 не доведе до значително увеличение на ускорението
- По-нататъшно увеличение на бързодействието може да се получи при паралелизация на останалите блокове на програмата

Експерименталните резултати потвърждават теоретичната оценка за сложността на алгоритъма.

ЛИТЕРАТУРА

[1] DONKÓ, Z. 2011 Particle simulation methods for studies of low-pressure plasma sources. Plasma Sources Sci. Technol. 20, 024001.

[2] П. Боровска, М. Лазарова, Паралелна информационна обработка Системни архитектури, паралелни алгоритми, паралелно програмиране, Сиела, София, 2007

[3] Р. Седжуик, Алгоритми на С, Софт Прес, София, 2002

[4] MinGW-w64 – for 32 and 64 bit Windows <https://sourceforge.net/projects/mingw/>

[5] OpenMP Reference Guide <https://www.openmp.org/resources/refguides/>

ПОВЪРХНОСТНО ИЗЛЪЧВАЩ ЛАЗЕР С ВЕРТИКАЛЕН РЕЗОНАТОР VCSEL

Ирина Кацарска

Машиностроителен факултет, ТУ-София, бул. "Кл. Охридски" №8, София 1000,
e-mail: irina.katzarska@trumpf.com

***Резюме.** Разгледаните са новото поколение лазерите полупроводникови диоди повърхностно излъчващи с вертикален резонатор VCSEL. Извършен в сравнителен анализ между класическия лазер диод с хетеро преход и излъчване перпендикулярно на PN прехода и VCSEL технологията.*

Ключови думи: Повърхностно излъчващ лазер с вертикален резонатор, vcsel, лазерни диоди с хетеро преход, сензори

1. Увод

Повърхностно излъчващият лазер с вертикален резонатор или VCSEL /'vɪksəl/ е вид полупроводников лазерен диод с излъчване на лазерен лъч перпендикулярно от горната повърхност, за разлика от конвенционалните полупроводникови лазери, които излъчват от повърхности, образувани чрез отцепване на отделния чип от пластина. VCSEL се използват в различни лазерни продукти, [1],[2]. Независимо дали става въпрос за сензори за автономно шофиране или следене на водача, за смартфони или за цифров пренос на данни – лазерни диоди VCSEL се използват в много високотехнологични приложения за потребителския пазар и в промишлената среда. Предимството: най-висока производителност при преноса на данни, съпътствано от малка консумирана мощност. При лазерния диод VCSEL (лазер с повърхностно излъчване с вертикален резонатор), светлината се излъчва перпендикулярно на равнината на полупроводниковия чип, за разлика от излъчващия от ръба лазерен диод, при който светлината излиза от един или два ръба по периферията на чипа. [3].

2. История на VCSEL и концепция

Лазерът с повърхностно излъчване и вертикална резонатор (VCSEL) спада към голямото семейство на полупроводникови лазерни диоди. Лазерните диоди, подобно на другите лазери, съдържат среда за оптично напомпване, която е вградена в оптичен резонатор. Чрез външно напомпване на оптична или електрическа енергия, електроните в усилващата среда могат да бъдат възбудени до по-високи енергийни нива. Резонаторът абсорбира генерираните фотони, които имат еднаква енергия, поляризация и фаза, които възбудят електроните на резонатора и по този начин възниква стимулирано излъчване.

Излъченият фотон е идентичен с падащия – има същата посока, начална фаза и поляризация, което дава възможност това кохерентно излъчване да бъде усилено многократно и да има широко приложение.

Полупроводниковите лазерни диоди образуват подгрупа твърдотелни лазери (по агрегатно състояние на активната среда), но се различават от тях по начина на възбуждане – протекният електричен ток директно възбужда електроните от валентната зона в зоната на проводимост. Това благоприятно свойство води до много по-ефективно преобразуване на подадената електрическа енергия в оптична. Електрически напompваните полупроводникови лазерни диоди могат да постигнат ефективност на преобразуване от повече от 50%, за разлика от около 1% при твърдотелни лазери [4]. Най-важните характеристики на полупроводниковите лазерни диоди, които водят до широкото им приложение са тяхната висока надеждност, дълъг експлоатационен живот, миниатюризация, директна модулация и ниска производствени разходи.

Историята на лазера започва с откриването на стимулираното излъчване от Алберт Айнщайн през 1917 г. [5], което води до разработването на GaAs¹ полупроводников лазер на хетеропреход едва, през 1962 г. [6]. Със стимулираното излъчване започва и бързо развитие на полупроводниковите лазерни диоди, което е в основата на оптичната комуникационна технология, която е била само хипотетична по онова време. Тогава е и представена основната концепция за лазерни диоди с двойна хетеро структура, които позволяват непрекъсната работа при стайна температура. Първоначално лазерните диоди AlGaAs/GaAs работят в мултимодов режим . След това чрез катодно емитиране се появяват DFB (англ. distributed feedback laser) и DBR (англ. distributed Bragg reflector) лазери с възможно едномодово излъчване². Едномодовото излъчване е подходящо при много приложения, например за оптично предаване на данни на дълги разстояния или в сензори. Днес едномодовите излъчватели с дължината на вълната в диапазона λ от 1300nm до 1600nm са базата на оптична мрежа за междуконтинентален оптичен пренос на данни. Други области на приложение са оптични устройства за съхранение на данни (компактни диск, DVD; blu-ray), лазерен принтер, баркод скенер, измервателни уреди и сензори.

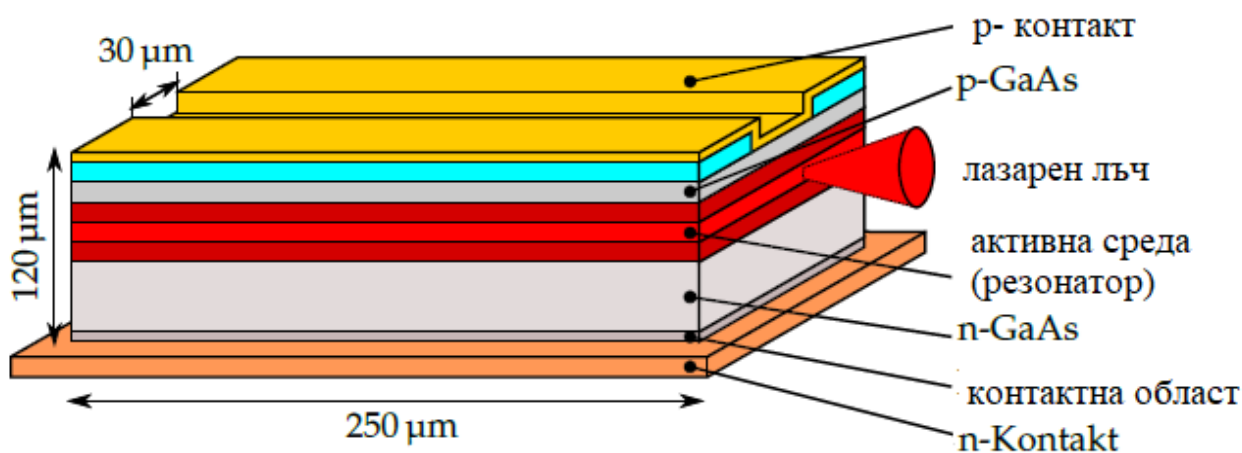
Схемата на напречно сечение на диод с хетеро преход е показан на фиг. 1. Излъчвателят се състои от активна среда, състояща се от хетероструктури с квантови ямки с дължина 0,1 nm–1 nm, и ширина няколко микрона и дебелина няколко 10 nm, вградени между p- и n-преход. Токът се подава през контактите

¹ Първите лазерни диоди са базирани на GaAs, съставен полупроводник от група III/V с директно свързване. Такива съставни полупроводници бяха представени и изследвани за първи път от Хайнрих Велкер

² Първите DFB лазерни диоди са направени в AlGaAs/GaAs в диапазона на дължината на вълната около 800nm, по-късно също и в InGaAsP/InP в диапазона на дължината на вълната от 1200nm до 1600nm

на p - n прехода и напмпва активната зона. Коефициентът на отражение на такива огледала е около 30% и е достатъчен за стимулирано излъчване и за поддържане на високи изходни мощности няколко десетки mW.

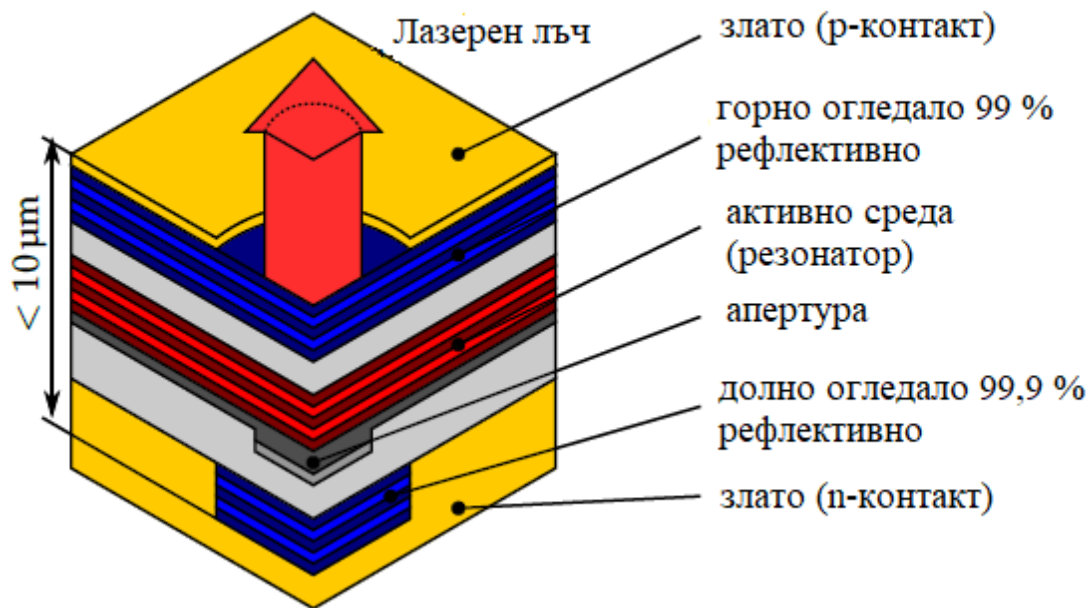
Резонаторът се получава посредством срязване и нанасяне на отразително покритие на по-малките вертикални стени. Лазерният лъч напуска резонатора в посока, перпендикулярна на тока и поради различната дифракция с хоризонтала и вертикална посока създава елиптично разпределение на интензитета на светлината напречно на лъча. Тази елиптичност на лазерното петно представлява сериозно предизвикателство при колимирането и фокусирането му в оптични влакна.



Фиг. 1. Схематичен чертеж на напречно сечение на диод с хетеро преход

VCSEL са друга концепция, демонстрирана за първи път на InSb лазер през 1965 г. Развитието на този тип лазерен диод е продължено след 1977г. от проф. Ken-ichi Iga и две години по-късно 1979 заедно с Haruhisa Soda, Chiyuki Kitahara и Yasuharu Suematsu са демонстрирани първите VCSEL в GaInAsP/InP [2].

Схематичен чертеж на напречно сечение на VCSEL е показан на фигура 2. При VCSEL, за разлика от диод с хетеро преход, лазерната светлина излиза от резонатора в посока, успоредна на текущия поток. Резонаторът, който е подравнен вертикално (оста му е перпендикулярна на равнината на пластината), съдържа активна зона, която е тънка само <100 nm и се състои от няколко хетероструктури с квантови ямки. В резултат на това електромагнитната вълна, циркулираща в резонатора, изпитва минимално двупосочно усилване при преминаване през тънка активна зона, поради което е необходимо използването на силно отразяващи огледала с коефициент на отражение над 99%. Такива отразителни способности се реализират с огледало с разпределен отразител на Брегг (англ. distributed Bragg reflector, DBR).



Фиг. 2. Схематичен чертеж на напречно сечение на VCSEL

3. Предимства и недостатъци на VCSEL

В сравнение с диод с хетеро преход, VCSEL имат редица предимства:

- Присъщо надлъжно едномодово лазерно излъчване,
- Почти кръгло петно по сечението на лъча, което осигурява прости и ефективно свързване в оптично влакно
- ниска консумация на енергия,
- нисък лазерен праг от няколко mA,
- високочестотна директна модулация на оптичната изходна мощност,
- ниска температурна чувствителност на емисионната дължина на вълната,
- работоспособност при по-високи температури,
- директна обработка на двумерни масиви с висока изходна мощност на единица площ и с единица дължина на вълната,
- прост корпус (англ. packaging), лесно и ефективно охлаждане на лазерни чипове,
- евтино масово производство в голям обем,
- тестване на компоненти директно върху пластината,
- Интегрируемост с микроелектромеханични системи (MEMS), които в използвани в тази работа за настройка на дължината на вълната на излъчване.[7]

Недостатъците на VCSEL, главно по отношение на приложението в инженерство на оптични комуникации, включват тяхната оптична мощност,

ограничена до няколко mW изходна мощност поради малкия обем на активната зона, както и а по-висока спектрална широчина на линията в сравнение с катодното излъчватели.

4. Приложения

В допълнение, VCSEL се използват в много сензорни приложения, като напр. лазерна абсорбционна спектроскопия с използване на регулируеми лазерни диоди (регулируема диодна абсорбционна спектроскопия, TDLAS), атомни часовници, сензори за движение в компютърни мишки или в инфрачервената спектрофотометрия (FTIR). Наскоро VCSELs с дължини на вълните около 780 nm бяха инсталирани в принтери.

Други области на приложение, които в момента се разработват, са високопроизводителни приложения като инфрачервено наблюдение (камери за наблюдение, разпознаване на регистрационни номера, устройства за нощно виждане), системи за обработка на данни за изображения или осветление. Освен това VCSEL могат да се използват в екрани (телевизия със задна проекция, RPTV) като източник на светлина или в детектори за близост. [4]; [6];

Освен това има приложения, които изискват (широка) възможност за настройка на дължината на вълната. В лазер с регулируема дължина на вълната дължината на вълната е възможно продължително и независимо от интензитета на лазерния лъч да се регулира и контролира без променлива. Тъй като за много приложения мономодово емитиране, която трябва да бъде гарантирана в целия диапазон на настройка.

5. Заключение

VCSEL (Повърхностно излъчващият лазер с вертикален резонатор) и лазерните диоди са два вида полупроводникови лазери, използвани в различни приложения. В сравнение с други видове лазери, VCSEL и лазерните диоди имат редица предимства:

- Компактност: VCSEL и лазерните диоди са много компактни и малки по размер в сравнение с други видове лазери. Това ги прави идеални за приложения, където пространството е ограничено.

- Енергийна ефективност: VCSEL и лазерните диоди са много енергийно ефективни и изискват малко енергия в сравнение с други видове лазери. Това намалява консумацията на енергия и оперативните разходи.

- Висока плътност на мощността: VCSEL и лазерните диоди имат висока плътност на мощността, което означава, че могат да произвеждат висока светлинна мощност в малко пространство. Това им позволява да се използват в приложения, където се изисква висока плътност на мощността.

- Бърза скорост на превключване: VCSEL и лазерните диоди могат да се включват и изключват много бързо, което ги прави идеални за приложения, които изискват бързо време на превключване.

- Ниско генериране на топлина: VCSEL и лазерните диоди генерират малко топлина в сравнение с други видове лазери, което води до по-дълъг живот и по-висока надеждност.

Като цяло VCSEL и лазерните диоди предлагат редица предимства, които ги правят идеални за много приложения. От оптична комуникация до обработка на материали, VCSEL и лазерните диоди могат да се използват поради тяхната компактност, енергийна ефективност, висока плътност на мощността, бърза скорост на превключване и ниско генериране на топлина.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] П. Петров, Светът на физиката, том, страница, година
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Vertical-cavity_surface-emitting_laser
- [3] https://www.trumpf.com/bg_BG/produkti/reshenija-s-vcSEL-fotodiodi/
- [4] L. A. Coldren und S. W. Corzine. Diode lasers and photonic integrated circuits. Wiley, 1995. ISBN: 9780471118756.
- [5] A. Einstein. „Zur Quantentheorie der Strahlung“. In: Physikalische Zeitschrift 18 (1917).
- [6] Dieter Meschede . Optik, Licht und Laser, 2008 ISBN: 978-3-8348-9288-1
- [7] H.A. Davani, C. Grasse u. a. „Widely tunable high-speed bulk-micromachined short-wavelength MEMS-VCSEL“.
- [8] P. Debernardi, B. Koegel u. a. „Modal properties of long-wavelength tunable MEMS-VCSELs with curved mirrors: Comparison of experiment and modeling“. In: IEEE Journal of Quantum Electronics 44.4 (2008). ISSN: 0018-9197.

Авторски указател

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

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

Арабаджиев Тодор, доц. д-р, КПФ, ФПМИ, Технически Университет – София

Атанасов Кристиан, студент, ФАИО, Технически Университет – София

Брежников Александър, студент, ПФКМ, ФПМИ, Технически Университет – София

Гецов Петър, Институт за космически технологии и изследвания, БАН, София

Граматииков Камен, студент, ФТ, Технически Университет – София

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

Забунув Светослав, Институт за космически технологии и изследвания, БАН, София

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

Кацарска Ирина, докторант, МФ, Технически Университет – София

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

Кримова Юлия, Национален институт по геофизика, геодезия и география, БАН, София

Мардиросян Гаро, Институт за космически технологии и изследвания, БАН, София

Мурджев Васил, студент, ПФКМ, ФПМИ, Технически Университет – София

Пенчева Ива, студент, ПФКМ, ФПМИ, Технически Университет – София

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

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

Спасов Еделвайс, Кинеметрика, Пасадена,

Ташева Радостина, гл. ас., д-р, КПФ, ФПМИ, Технически Университет–София

Узунов Иван, проф дфн, КПФ, ФПМИ, Технически Университет– София

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

ПРОГРАМА НА ДНИ НА ФИЗИКАТА 2023г.**Научно-популярна сесия****6.04. четвъртък**

Доклад	Автор(-и)	Час
„Нобелови награди по физика, 2022“	Проф. д-р Иван Копринков, КПФ	16:00
„Как е устроена нашата Вселена“	Проф. дн Сашка Александрова КПФ	16:20
„Предсказуеми ли са климатичните промени“	гл.ас.д-р Радостина Ташева, КПФ Проф. дн Сашка Александрова, КПФ	16:40
„Влакнесто-оптичните комуникационни системи от гледна точка на физичният им фундамент“	доц. д-р Тодор Арабаджиев, Проф. дн Иван Узунов, КПФ	17:00
„Междувездните молекулярни облаци - турбулентни газови фрактали“	доц. д-р Сава Донков, Институт по Астрономия с НАО, БАН	17:20

7.04. петък

Доклад	Автор(-и)	Час
„Геофизичното оръжие – истина или лъжа“	Проф. д-р Бойко Рангелов, ГФ, МГУ,	16:00
„Аеродинамичен профил“	Кристиан Атанасов, ФАИО, 1 курс	16:20
„Подводни експлозии“	Камен Граматиков, ФТ, АТТ, 3 курс, ТУ	16:40
„Показване на вектори с GeoGebra“	Александър Брежников, Ива Пенчева, Васил Мурджев, ФПМИ, ПФКМ, 2 курс, ТУ	17:00
Демонстрации	гл. ас. инж. Любомир Георгиев, КПФ	17:20

Научна сесия

8.04. събота – научна сесия

Доклад	Автор(-и)	Час
„Алгоритъм за кинематична система за ранно предупреждение от земетресения за критична инфраструктура“	Проф. Бойко Рангелов, ГФ, МГУ, Гаро Мардиросян, Петър Гецов, Светослав Забунов, Институт за космически изследвания – БАН, Юлия Крумова, НИГГГ-БАН, Еделвайс Спасов, Кинеметрикс, Пасадена	10:00
„Преразглеждане на квантовия принцип на суперпозицията“	Проф. д-р Иван Копринков, КПФ	10:30
„Алтернативен подход за обработка на експерименталните данни на лабораторното упражнение „Определяне на отношението C_p/C_v по метода на Клемант и Дезорм“	доц. д-р Иван Стефанов, КПФ гл.ас. д-р Николай Денев, КПФ	11:00
„Паралелизация на PIC/Монте Карло алгоритъм за моделиране на капацитивни разряди“	гл.ас. д-р Росица Андреева, КПФ	11:30
„Повърхностно излъчващ лазер с вертикален резонатор VCSEL“	Ирина Кацарска, докторант от МФ, ТУ	12:00
“Метод на вторичното квантуване за бозе система”	Мария Занева, ФПМИ, ПФКМ, 4 курс, ТУ	12:20
„Позитронна спектроскопия“	Мария Василева, ФПМИ, ПФКМ, 4 курс, ТУ	12:40
„Основи на Лагранжевата механика“	Иван Иванов, ФПМИ, ПФКМ, 4 курс, ТУ	13:00
Закриване		13:20

ЗАВОД ЗА ОПТИКА

ОПТИКОЕЛЕКТРОН
ГРУП



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