



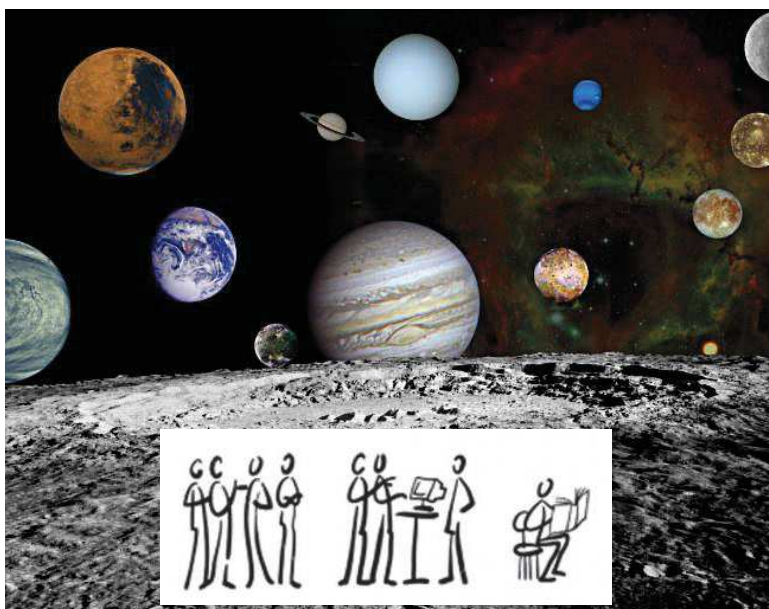
Технически университет София



Департамент по приложна физика

Сборник популярни и научни доклади

Дни на физиката 2015



София, 21 - 25 Април 2015 г.

Дни на физиката 2015

Сборник популярни и научни доклади

Редактори: Е. Халова и С. Александрова

ИЗДАТЕЛСТВО НА ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

ISSN 1313-9576

Предговор

В настоящото издание на „Сборник популярни и научни доклади“ са включени доклади, представени на традиционните “Дни на физиката”, организирани от Департамента по приложна физика към Техническият университет-София, които се състояха в периода 21-25 април 2015г. Тази година дните на физиката бяха посветени на обявената от ЮНЕСКО „Международна година на светлината“. Доклади бяха представени както от студенти от ТУ-София и от МГУ “Св. Иван Рилски” -София, така и от преподаватели по физика от ДПФ към ТУ-София, от други факултети на ТУ-София, от филиалите на ТУ-София в Пловдив и Сливен, както и от други университети, а именно от Физическия факултет на СУ “Климент Охридски” и Минно-геоложки университет “Св. Иван Рилски”-София.

Докладите бяха посветени на интересни и актуални теми от различни области на физиката. Общо бяха представени 29 презентации по интересен, оригинален и увлекателен начин, разбираеми за широка и разнообразна аудитория. За поредна година с презентации и доклади участваха както студентите първокурсници, изучаващи физика в момента, така и студенти от по-горните курсове на ТУ-София. Докладите на студентите бяха много добре представени на сесиите и оформени за публикуване в настоящия сборник. Мнение на студентите е, че Дните на физиката са една добра възможност да придобият опит в излагането на научни проблеми и да участват в научни дискусии.

Научната сесия традиционно беше проведена в последния ден от “Дни на физиката”. Представени и дискутирани бяха проблеми от широк спектър от съвременни научни области, по които работят преподавателите от споменатите по-горе университети и филиали. Фактът, че макар и съботен ден научната сесия беше посетена и от студенти е показател за интереса на студентите към физиката. Докладите от този ден също са включени в настоящия сборник.

За пореден път към проявите в областта на физиката има подчертан и траен интерес. Традиционно гл. ас. инж. Л. Георгиев предостави на вниманието на аудиторията широк набор от атрактивни демонстрации на физични явления. Със свои разработки участваха студенти от клуб „Роботика“, които демонстрираха някои от своите разработки. Демонстрациите на тези два колектива предизвикаха подчертан интерес сред студентите и преподавателите.

Пълен списък на презентациите от Дните на физиката, са дадени в края на сборника. За съжаление някои от представените доклади, като „Сините светодиоди – революция в осветителните технологии“, в която бе отбелязана българската следа в Нобеловата награда за Физика за 2014г., на проф. дфн Е. Вълчева, ФзФ на СУ; „История на Оптиката“, на проф. И. Лалов, ФзФ на СУ; „Лазерите в съвременната индустрия“, на доц. д-р Хр. Христов, ДПФ на ТУ-

София и „Зрението - прозорец към света“ на доц. д-р В. Тодоров, МА-София и др. не са включени в настоящия сборник поради голямата служебна заетост на авторите, които не успяха да ги подготвят за изданието.

Надяваме се поредното издание на сборника, насочен главно към студентската аудитория, да представлява интересно, увлекателно и информативно четиво за всички, които проявяват интерес към физиката, да допринесе за повишаване на интереса на бъдещите инженери към тази красива и винаги модерна наука, чиито приложения са в основата на съвременната техника и технологии.

Изказваме благодарност на всички участници в “Дни на физиката - 2015” - лектори и слушатели, за техния интерес към физиката и нейните приложения. Специална благодарност дължим на членовете на Организационния комитет проф. д-р И. Копринков, гл. ас. Н. Кожухарова и гл. ас. д-р Т. Арабаджиев.

Дните на физиката се организират в рамките на Дните на науката на ТУ-София. Организирането и провеждането на Дните на физиката, както и издаването на настоящия сборник са финансирани по вътрешния конкурс на ТУ-София 2015 със средства от субсидията за научна дейност. От името на Организационния комитет и на студентите изказваме благодарност за финансовата подкрепа на НИС към ТУ-София.

Изказваме благодарност и на „Завод за Оптика –АД“ за финансовата подкрепа, която ще позволи за пореден път представените доклади да бъдат публикувани в отделен том в Университетското издателство.

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

СЪДЪРЖАНИЕ

ПРЕДГОВОР

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНИ ДОКЛАДИ

И. Лалов, Мястото на оптиката в историята на физиката	3
Н. Кожухарова, Е. Халова, Оптични методи в археологията, риминалистиката и екологията	10
Е. Халова, Н. Кожухарова, История на очилата	17
С. Терзиева, А. Стоянова-Иванова, И. Илиевска, А. Васев, Използване на свръхпроводима керамика в алкални Ni/Zn батерии	25
Р. Ташева, В. Танева, Приложение на сателитните изображения в метеорологичната прогноза	29
М. Янкова, Приложна геофизика в действие	37
И. Митева, П. Колева, По следите на енергията	48
И. Гарванова, М. Момчилов, Р. Юруков, М. Александров и Ю. Илчева, Пътят на енергията - Слънчевата енергия и вятърната енергия	55

НАУЧНИ ДОКЛАДИ

М. Григорова, Кинематична характеристика на сеизмичните вълни	60
Е. Ойнаков, Б. Рангелов, Микросеизмично сондиране и някои приложения	68
С. Донков, Статистическо описание на структурата на молекулярните облаци, характеризиращи се с вероятностно разпределение на обемната плътност от вида „степенна опашка“	80
И. Стефанов, Квазипериодични осцилации в спектъра на маломасивния рентгенов пулсар IGR J17511-3057	89
Д. Стоянов, Фотопроводимост на полупроводник. Общо решение за плосък случай при постоянно поле	95
И. Илиев, Регресионен модел от трета степен за лазерната генерация на CuBr лазер	103
С. Александрова, Е. Халова, Н. Кожухарова, Характеризиране на Si - повърхност, модифицирана чрез H⁺ плазмена имплантация	110

Й. Стойнов, Поведение на функционално подредени магнитоелектроеластични материали под въздействието на външно динамично натоварване	115
В. Васковски, Теория на кулонова двойка	125
Авторски указател	133
Програма на Дните на физиката	134

МЯСТОТО НА ОПТИКАТА В ИСТОРИЯТА НА ФИЗИКАТА

Иван Лалов

Физически факултет на Софийски университет „Св. Климент Охридски“,
бул. Джеймс Баучер 5, 1164, София,

Резюме. В доклада са разгледани основните моменти от историята на оптиката като важна част от историята на физиката. Оценява се ролята на оптиката в развитието на основните научни идеи в природните науки и в човешкото познание.

Ключови думи: оптика, история на физиката

1. Увод

Годината 2015-та е обявена за „Година на светлината“. Не става дума само за светлината като обект на научно изследване, но също - като фактор в ежедневието ни живот, в научните изследвания и техническия прогрес. Светлината е носител на сетивна информация за заобикалящия ни свят, тя е източник на неповторими естетически преживявания сред природата и в изкуството. Светлината е фактор за нашето физическо и душевно здраве.

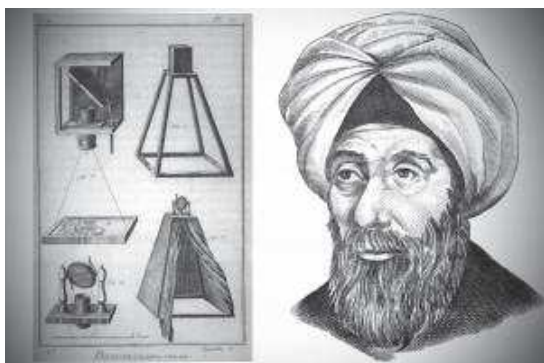
Разбира се, като предмет на изследване и изучаване светлината от хилядолетия създава грижи и радост на физиците, които се занимават с оптика. Какви са законите за разпространение на светлината, какви са нейните свойства, какъв е физическият характер на светлината? Какви са източниците на светлина, как да ги изучаваме и усъвършенстваме? Как да конструираме оптични уреди, вкл. очила и лещи? Физика и физиология на зрението - такива са въпросите, които си поставяме в оптиката и които представляват огромен научен и практически интерес.

Настоящият доклад е посветен не на осветляването на тези въпроси, а на експозицията на мястото на оптиката в общото развитие на физиката. Това не е първият доклад, изнесен от автора и посветен на идеите за развитието и преподаването на оптиката. Такива доклади съм изнасял на Национални конференции по въпросите на обучението по физика, както и през 1996г. моето академично слово като Ректор на Софийския университет бе озаглавено „Революциите в оптиката“. На тази тема са посветени и две глави от книгата ми „История на физиката от Възраждането до наши дни“. Именно при писането на книгата аз оцених особено мястото на оптиката в историята на физиката. Най-главното, докато всеки от основните раздели на физиката от XVII век досега е изграждал фунаменталните си идеи за около едно столетие, оптиката се развива

през цялото време и ражда нови научни области и идеи (вълнова оптика през XIX век, електромагнитен характер на светлинните вълни, квантова физика - на границата на XIX и XX век). Затова тук се очертават схематично основните промени в оптиката (до наши дни) и тяхното фундаментално значение за цялата физика.

2. Развитие на оптиката до Възраждането

Поради огромната роля на светлината като носител на информация (над 90% от цялата сетивна информация за света) и на енергия, специално чрез светлината от Слънцето, нейното разпространение се изучава от древността. Сравнително леко се установяват законите за праволинейното разпространение на светлината в хомогенни (прозрачни) среди и законите за отражение от огледала. Значително по-сложни се оказват законите за пречупване, например на границата въздух-вода. Именно при изучаването на тези закони Птолемей (през II век) за първи път записва експерименталните данни за зависимостта ъгъл на пречупване от ъгъла на падане в табличен вид. Друг проблем, който вълнува древните учени, е откъде изхождат лъчите до попадането им в окото - според началните хипотези на знаменития геометър Евклид - от самото око до предмета и обратно в окото. Едва през XI век арабският учен Алзахен „обръща пирамидата“, според него (правилно!) нейният връх, който е и начало на лъчите, се намира в предмета, а основата ѝ е в окото. Като описва т. нар. камера



Арабският учен Алхазен

- обскура, Алзахен отбелязва, че полученият образ е обърнат, но не се осмелява да приложи този резултат за окото. Едва Леонардо да Винчи (XV-XVI век) отбелязва, че същото обръщане се реализира в окото. През XIII век с оптика се занимава английският монах Р. Бекон, описал за пръв път използването на събирателните лещи като очила (те, вероятно, са открити преди това).

Развитието на оптиката на този етап се характеризира с откриването на някои закони и конструирането на оптични уреди, вкл. далекогледа в края на XVI век, но без да се достигне до научната систематика на фактите.

3. Бурният XVII век. Теориите за същността на светлината

Истинското научно начало на оптиката се поставя през XVII век. Всъщност, модерната физика започва през този период с механиката на Галилей и Нютон. За оптиката векът започва с откриването на основните оптични уреди като микроскопа (Янсен, Галилей, Липерсхей) и далекогледа, използван като

телескоп (Галилей, 1609г.). Самият Галилей е потресен от новия поглед към планетите, звездите, Млечния път, разкрил се пред телескопа. Галилей твърди, че скоростта на светлината е крайна, за разлика от Декарт, и дори прави опит да я измери (оказал се неуспешен поради голямата ѝ стойност). Холандецът Снелиус, по емпиричен път, и Декарт - теоретично - установяват законите за пречупването ($\sin \alpha / \sin \beta = n$). В спор с Декарт знаменитият френски математик П. Ферма формулира първия вариационен принцип във физиката: светлината се разпространява между две точки по път, за който времето на разпространение има екстремум.



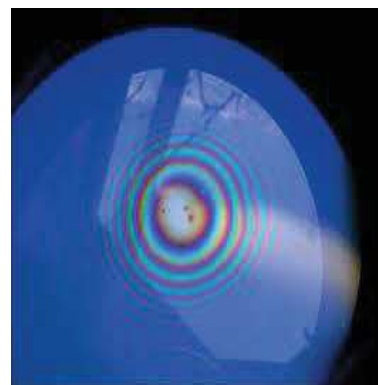
Исак Нютон



Джозеф Грималди

Втората половина на XVII век е време на истинска буря в оптиката, която трасира и пътищата за развитие на физиката, а именно - систематично изучаване на оптичните явления и, от друга страна, издигането на хипотези за същността на светлината, без които се оказва невъзможно разбирането на явленията. В сравнително кратък период са открити

явленията дифракция на светлината (1665г., Грималди), интерференцията на светлината (цветните ивици върху тънки ципи - от Бойл и Р. Хук - и Нютоновите пръстени). Великият И. Нютон е и гениален оптик експериментатор като открива и изследва дисперсията на светлината от призма и конструира първия отражателен телескоп (за да отстрани влиянието на хроматичната аберация, 1668г.). През 1669г. Бартолинус открива двойното пречупване от исландския шпат, а при анализиране на това явление Хюйгенс се сблъсква с поляризацията на светлината (т.е. нееднакви свойства на един двойно пречупен лъч в различни посоки, перпендикулярни на посоката на разпространение). Един от върховете на оптичните изследвания е измерването на скоростта на светлината от датския астроном Рьомер (1675г.) - по наблюдението на затъмненията на спътниците на Юпитер.



Нютонови пръстени

През 70-те години на XVII век се създават почти едновременно двете хипотези за същността на светлината: Нютон нарушава един от своите принципи, че не измисля хипотези, и твърди, че светлината представлява поток от частици (корпускуларна теория). Вълновата теория - светлината представлява единични импулси, които се разпространяват в пространството подобно на водни вълни - се създава от англичанина Р. Хук и холандеца Хюйгенс. Научните спорове на привържениците на двете теории продължават

няколко века, като до началото на XIX век по-широко приемана е корпускуларната теория (поради по-последователното ѝ изложение и поради неоспоримия авторитет на Нютон). Любопитно е, че Нютон е автор на идеята за компромис между двете гледни точки, като твърди, че разпространението на светлинните корпускули е свързано с периодичност и че светлинните корпускули имат определени „страни“ (в равнината, перпендикулярна на посоката на разпространение, което е вярно). Що се отнася до вълновата теория, нейните защитници не успяват да достигнат до идеите за вълните като периодични структури в пространството и времето и тяхната правилна позиция изчаква повече от един век - XVIII век - своето време.

4. Революциите (в оптиката) през XIX век

4.1. Вълновата революция

В оптиката XIX век започва с опита на Юнг (1802г.), при който чрез интерференция от два процепа по блестящ начин се демонстрира вълновата природа на светлината. За утвърждаване на вълновата теория е необходимо изграждането на цял нов дял - вълновата оптика. Този процес намира най-завършен вид с теоретичните изследвания на френския инженер и оптик О. Френел. Той доказва принципа на Хюйгенс с допускането, че елементарните вълни, излъчени от всяка точка, до която е достигнал вълновия фронт, са кохерентни и интерферират. Така не само се обяснява т. нар. френелова дифракция от процеп, нишка, предмет с произволна форма, но се показва как разпространението на светлинните вълни се съчетава с праволинейното разпространение на светлината (такова съчетаване до Френел се е смятало невъзможно). Междувременно с опити на Малюс по отражение се наблюдава поляризацията на светлината, а Араго показва, че светлинните вълни са напречни. Френел извежда формули, които определят амплитудата на пречупените и отразени вълни и прави разглеждания на взаимодействие на светлината с веществата, като обяснява и т. нар. въртене на равнината на поляризация в оптично активни вещества (кварц, захарен разтвор).

Първата четвърт на XIX век преобръща оптиката от корпускуларна във вълнова и това е революция, която показва колко съществени са нашите възгледи за структурата на физическия обект.

4.2. Електромагнитната революция

Следващата решаваща промяна в оптиката извършва Максвел. Той развива идеите на Фарадей за електричното и магнитно поле, свързва двете полета чрез взаимното проникване на електричните и магнитните явления и написва общата система уравнения за електромагнитното поле - уравнения на Максвел. Нещо повече, той показва, че тези уравнения имат решения от вида на вълните и пресмята скоростта на тези все още хипотетични вълни (Максвел взема данните

за пресмятанията на скоростта от електрични и магнитни измервания). Получената стойност се оказва близка до скоростта на светлината, измерена към 1850г. от французите Физо и Фуко и при земни условия. От съвпадението на двете скорости Максвел към 1865г. заключава, че светлината представлява електромагнитна вълна. Велико обединение на три различни области на физиката - електричество, магнетизъм, оптика! Разбира се, светлината взаимодейства чрез своите променливи електрично и магнитно поле с електричните заряди в атомите, молекулите, кристалите и др. Това непосредствено се изразява в процесите на дисперсия, поглъщане, разсейване на светлината и др. Всички те потвърждават електромагнитната природа на светлината.

4.3. Оптиката—експериментално гнездо на теорията на относителността

Оптиката подготвя чрез своите експерименти и модели и две революции, които водят от класическата към съвременната физика. Първият род експерименти засягат разпространението на светлината в две отправни системи, които се движат една спрямо друга, например, каква е скоростта на един и същ светлинен сноп, измерена от земен наблюдател и наблюдател, стъпил върху Слънцето. Отговор дават експериментите на Майкелсон - Морли (1881 - 1887г.), които позволяват да се измерят евентуални различия в скоростите от 10^{-8} (една стотиционна). Техният резултат е безапелационен - няма разлика в скоростите, измерени от двамата наблюдатели - земен и слънчев. Това позволява физиците в началото на XX век да постулират (Айнщайн, 1905г.), че скоростта на светлината е една и съща във всички инерциални отправни системи. Това наглед невинно твърдение преобръща нашите представи за времето и пространството и е основно в теорията на относителността.

4.4. Оптиката – родно място на квантовата физика

Най-голямата изненада за физиците, обаче, е квантовата революция, която успешно се пренася от оптиката във всички изследвания на микросвета. От 1859г. до 1900г. усилено се наблюдават и изследват процесите на температурно излъчване и на поглъщане на светлината във веществото. Използват се всички познати дотогава методики на електродинамиката, термодинамиката и статистическата физика, познанията ни за строежа на веществото. Изследват се експериментално спектрите на излъчване на Слънцето и на модела на т. нар. абсолютно черно тяло. Резултатите - значителни успехи в описанието на интегралните характеристики на излъчването и „ултравиолетова катастрофа“ при описание на самия спектър. С голяма неохота учените започват да се догаждат, че е необходима промяна в модела на самата излъчвана светлина (като непрекъснати електромагнитни вълни). Величието на духа често се проявява в мъжеството да преодолееш предубежденията си! Това прави немският физик М. Планк (1900г.), който разбира, че светлината се излъчва на

порции, кванти, с енергия на всеки квант, пропорционална на честотата на светлинната вълна. С тази хипотеза Планк обяснява спектъра на излъчване на абсолютно черно тяло, който вече е в хармония с предишните изводи на термодинамиката, статистическата физика и др. Но какъв скок прави човешката наука и познание към законите на микросвета когато се разбира, че частиците на светлината - фотоните - не са нито класически топчета - куршуми, нито че светлината е класическа вълна. В някои явления - интерференция, дифракция, поляризация - светлината се проявява като вълна, в поглъщането и излъчването на светлината се проявява нейният корпускулярен характер.

Всъщност, много съществена крачка към квантовата физика прави Айнщайн (1905г.) като приема обективното съществуване на фотоните, проявило се в поглъщане на отделни фотони, а не на електромагнитни вълни при фотоефекта. За обяснението на фотоефекта Айнщайн получава Нобелова премия през 1921 год.

5. XX век (и оптиката)

В историята на оптиката XX век не бе ознаменуван с нов поврат в нашите схващания за природата на светлината. Оптичните методи на изследване намериха широко приложение в науката, а оптичните апарати се прилагат в бита, промишлеността, военното дело. Най-знаменателното откритие в оптиката са лазерите - източници на кохерентно лъчение. Заради огромната им роля си позволявам да говоря за лазерна ера в оптиката.

Основните идеи, които правят възможно конструирането на лазерите са три: 1) стимулирано излъчване на електромагнитни вълни, предсказано от Айнщайн (1916г.), при което се раждат фотони - близнаци на падащия фотон; 2) усилване на е.м. вълни от системи с инверсна населеност (т. е. възбудените на по-високо енергетично ниво атоми превишават по брой атомите на по-нискоенергетично ниво); 3) използване на положителна обратна връзка, реализирана чрез оптични резонатори (огледала).



Първият лазер, създаден през 1960г.

на лазерите са огромни и се задълбочават поради високите интензитети на е.м. поле на някои лазери, които могат с порядъци да надвишат атомните полета, поради ултракъсите лазерни импулси, които могат да се достигнат, поради острата насоченост в

От конструирането на първия лазер от американския физик Майман (1960г.) тези идеи се прилагат към различни физически системи (кристали, газове, течности) за получаване на кохерентно лъчение с различни дължини на вълните от инфрачервения, през видимия, ултравиолетовия и рентгеновия диапазон. Приложенията

пространството на лазерния лъч и неговата висока монохроматичност. В медицината и научните изследвания, съобщителната техника, военното дело, ежедневния бит и др. - навсякъде лазерите променят границите на нашите възможности. Затова е трудно да се предвидят възможните промени, дори в близките десетилетия, в оптичните методики, прилагани в съобщителната техника, в управляемия лазерен термоядрен синтез, в космическите изследвания и военното дело (например за откриване и поразяване на противникови цели), в научните изследвания (за проследяване динамиката на свръхбързи процеси в химията и биологията, за метрологични изследвания с рекордна точност и др.).

6. Заключение

Историята на оптиката е показателна за развитието на физиката и на цялото човешко познание. Започва се с любопитство към оптичните явления и техните първи приложения, преминава се към систематично изучаване на свойствата на светлината и се формулират основните хипотези за нейната природа (XVII век). Под напора на експерименталните данни се извършват революции в схващанията ни за същността на светлината (XIX век, от светлинни корпускули към светлинни вълни и към фотони $\equiv$ вълни + корпускули). Тук само бегло скицирахме въпроса за характера на светлинните вълни - напречни вълни с електромагнитна природа - и почти не засегнахме развитието и краха на теориите за светлинния етер. И най-сетне, оптиката е „родно място“ на две от основните концепции на съвременната физика - теорията на относителността и квантовата физика. На всеки етап от историята на оптиката двата свята на физиката - светът на реалността и светът на идеите - са в непрекъснат контакт, без който прогресът би бил невъзможен. Всичко това се постига със значителни усилия на оптици - експериментатори и теоретици - дори и на философи, за да се преодолее нашето незнание и нашите предубеждения. Труден и плодотворен път!

Иска ми се да завърша своите размисли за мястото на оптиката в историята на физиката с един аспект, на който се обръща по-малко внимание. Каква красота се съдържа в оптичните явления - в цветовете на природата и на художниците, в изгревите и залезите на Слънцето, в лунната пътека по морските вълни, дори и в светкавиците по облачното небе. Ако ние не обръщаме вниманието на ученици и студенти върху естетиката на заобикалящия ни свят, те може и да не я осъзнаят.

А този свят е красив и интересен.

ОПТИЧНИ МЕТОДИ В АРХЕОЛОГИЯТА, КРИМИНАЛИСТИКАТА, ЕКОЛОГИЯТА

Невена Кожухарова и Елена Халова

Департамент по приложна физика, Технически Университет-София, София 1000,
бул. "Кл. Охридски" 8, България, e-mail: nkojuharova@tu-sofia.bg, ehalova@tu-sofia.bg

Резюме: В доклада са представени най-често използваните оптични методи при изследванията в археологията, криминалистиката и екологията. Представени са основните физични принципи, на които се основават изброените методики и причините те да са предпочитани като изследователски методи в тези толкова различни от експерименталната физика научни области.

Ключови думи: спектроскопия, спектрален анализ, фотографско изследване, хроматография

I. Увод

Настоящата 2015 година е обявена от Общото събрание на ООН за Година на светлината и светлинните технологии и това не е случайно, а се основава на две основни причини. Първата е, че оптичните технологии са най-бързо развиващи се в настоящия момент и вероятно това ще е така през по-голямата част от XXI век. От друга страна, което е и втората причина, има недостиг на подготвени специалисти в дадената област и популяризирането ѝ би довело до нарастване на техния брой в следващите десетилетия. Важно е, освен това, да се подобри информираността на обществото като цяло за ролята на светлината във всекидневието ни.

Светлината и оптичните явления са интригували хората и учените още от древността. Развитието на оптиката като част от физиката търпи множество обрати от епохата на Възраждането и до днес и това е довело не само до създаването на нови теории в други области на физиката, но и до научни революции, дали тласък на развитието на техниката и технологиите, качествено променили живота на всеки от нас.

През втората половина на 20 век се наблюдава явление, което най-общо се нарича интердисциплинарност. Това понятие означава навлизането на методи, средства и апаратури за изследване и анализ от един отрасъл в друг за решаването на гранични проблеми. Често методологията и експерименталните средства на една наука се оказват подходящи и за друга. Тяхното прилагане, обаче, е свързано с необходимостта от познания и в двете научни области.

Оптичните методи на изследване успешно са навлезли и се използват широко в различни други области на науката и човешката дейност. Те са намерили своето приложение най-вече в медицината, но поради обширността и разнообразието от методики, използвани там, ще ги изключим от настоящото представяне.

II. Оптични методи

На първо място ще изброим няколко основни характеристики на всички методи, които ги правят предпочитани от изследователите:

А. Имат висока чувствителност и са подходящи за микроанализ. Границите на откриваемост на следи от различни химични елементи или съединения варират от 0,1 до 0,001mg. Това е особено важно за изследванията, за които пробите са в много малки количества или не трябва да се разрушават и да няма видими следи от изследването. Такъв е именно случаят в две от областите - криминалистиката и археологията.

В. Методите са неразрушителни. При голяма част от използваните химични методи има процеси, водещи до преобразуване на веществата в пробите, в следствие на което те не могат да се използват повторно.

С. Апаратурите за по-голяма част от методите са преносими. Това е особено важно в области като археологията и криминалистиката, където преместването на изследвания обект може да доведе до разрушаването или повреждането му, както да се изгуби част от необходимата информация. В някои случаи при екологичните изследвания е важно да се проследява състоянието на дадена система в дълъг период от време.

На следващо място накратко са разгледани най-общо принципите и апаратурите на изброените в началото широко използвани методики.

1. Емисионен и абсорбционен спектрален анализ

Всички химични елементи и съединения излъчват или поглъщат характерно лъчение при преминаване на атомите от възбудено в основно състояние или при преход между различни енергетични състояния на молекулите, свързани с тяхното трептене или въртене.

Емисионен анализ имаме при излъчване, а абсорбционен - при поглъщане на електромагнитно лъчение с определена честота и енергия.

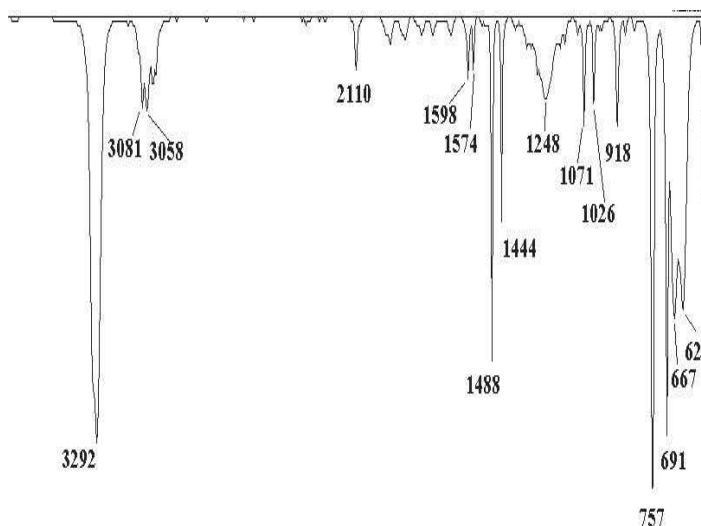
За получаването на емисионни спектри на първо място трябва да има високоенергетичен източник, който да деструктурира веществото и да възбуди атомите, за да започнат да излъчват. Съществува строга зависимост между броя на излъчващите частици и интензитета на излъчената светлина. Генерирането на излъчващи частици се осъществява в следствие на горене или друга екзодермична реакция като се създава плазма. Източниците на възбуждане са

дъги, пещи, разряди, пламъци или лазери. Възпроизвеждането трябва да бъде с висока ефективност на атомизация.

Детектирането на получения сигнал се осъществява по дължините на вълните на характерните линии (качествен анализ) и по интензитета им (количествен анализ), а при абсорбционния анализ - това са линиите на поглъщане. Броят на детектираните атоми е винаги по-малък от броя на излъчващите (или съответно - поглъщащите). В разработените методики тази разлика винаги се отчита.



Фиг. 1а. Спектрометър



Фиг. 1б. Инфрачервен спектър на поглъщане на C_6H_6

Молекулният спектрален анализ - и абсорбционен, и емисионен - също е както качествен, така и количествен. В много случаи при молекулите се определят техните вибрационни спектри, които са свързани с трептенията на атомите или йоните, които ги изграждат. Тези спектри са в инфрачервената област, поради това, че енергията на трептенията е значително по-малка. Този факт неминуемо определя и други, различни, изисквания към детекторите. На фиг. 1б е показан такъв типичен спектър (числата при пиковите на поглъщане са дадени в ангстрьоми, а не в нанометри - $1\text{\AA} = 0,1\text{ nm}$).

2. Фотографски изследвания

Те се използват много често в криминалистиката. Изследванията се провеждат както с видима светлина (при заснемане на различни доказателства), така и с ултравиолетови и инфрачервени лъчи. Приборите, които са в употреба и днес, най-често преобразуват УВ светлина във видима (електрооптичен преобразувател). Те позволяват едновременното ползване на качествени и количествени методи. При преобразуването на УВ лъчи във видима светлина се оцветяват в различен цвят компонентите и по този начин се разграничават различни по състав вещества като кръв и други обекти от биологичен произход, при това изследването става на местопроизшествието. Освен това УВ лъчи се

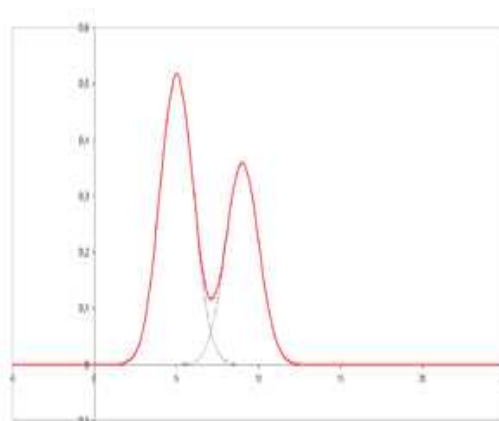
използват за възстановяване на повредени по химически начин документи и др. Използват се и инфрачервените лъчи, поради тяхното свойство да поглъщат и отразяват по различен начин различните вещества. Те намират приложение при разчитане на повредени документи, както и откриване на следи от стрелба.

3. Хроматография

Това е набор от лабораторни техники за разделянето на компонентите на различни смеси, основаващо се на техните различни физико-химични характеристики. За пръв път методът е използван в самото начало на XX век от руския ботаник М. Цвет при определяне на растителни пигменти като хлорофил, каротеноиди и др. При прилагане на метода смесите се разтварят във флуид, наречен „подвижна фаза“, която преминава през друг материал, наречен „неподвижна фаза“ и поради различната си скорост на придвижване се разделят.



Фиг. 2а. Хроматограф



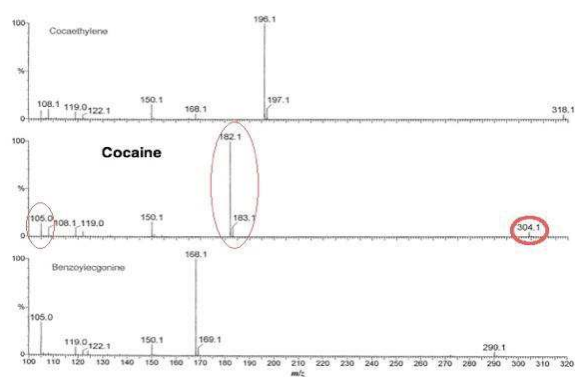
Фиг. 2б. Хроматограма на два различни компонента

Хроматографията се дели на два основни типа - препаративна и аналитична. Първата има за цел разделяне на компонентите за по-нататъшно използване, а втората, работейки със значително по-малки количества материал - има за цел измерване на относителния дял на съответния компонент в анализираната смес. Хроматографските техники са разработени основно през 30-те и 40-те години на XX век, когато са установени принципите и основните техники на разпределителната хроматография, а работите на Синж и Мартин подпомагат бързото развитие на няколко хроматографски метода - газова хроматография и това, което по-късно е наречено „високоэффективна течна хроматография - ВЕТХ“ и е една от най-често използваните днес хроматографски методики. Регистрацията на сигналите в хроматографските изследвания става със спектрометър, а типична хроматограма е показана на фиг. 3б, като по абсцисата се отчита времето на задържане на съответния компонент в пробата, а по ординатата - интензитета на сигнала от детектора.

Без да е оптичен метод, но намерил широко приложение в археологията и криминалистиката, е **масспектрометрията**. Затова като физичен метод, ще отделим малко място и на него.



Фиг. 3а. Масспектрометър



Фиг. 3б. Спектър на наркотични вещества

Масспектрометрията е метод, който служи за качествено и количествено определяне на отношението на масата към заряда на заредени частици. Първоначално е предложен от Дж. Дж. Томсън, който през 1906г. получава Нобелова награда за откриването на електрона, именно при изследвания на отклоняването на заредена частица в магнитно поле. Първоначално се е регистрирало отклонението върху фотоплаки (методът се е наричал масспектрография), а в последствие е започнало измерване на изменението на протичащия йонен ток и сега методът се нарича масспектрометрия. В средата на миналия век Демстер предлага отклоняването да става в променливо магнитно поле и така става възможно едновременно детектиране на различни по маса частици. Голяма част от заредените частици имат заряд, равен на заряда на електрона, поради което измерванията дават информация директно за масата на частицата (при приравняване на заряда на електрона на 1). По-късно, с развитие на технологиите, се въвежда сканиращо магнитно поле и днес то се използва във всеки масспектрометър (модел на такъв е показан на фиг. 3а. Една от съвременните разновидности на масспектрометрията е т. нар. „индуктивно-свързана плазма“, която намира много широко приложение в археологията и екологията. Създаването на плазмата се осъществява във високоенергетични източници, обикновено горелки, където се получава йонизиран газ (често аргон, аргон-азот) - смесва се с плазмата, след което навлиза в променливо магнитно поле, създавано от радиочестотен генератор. Методиката е предложена през 80-те години на XX век и днес е най-широко използваната.

В археологията оптичните методи се използват в три основни направления:

- За локализиране на микро- и макрообекти, останали от човешката дейност. Тези следи се търсят първо чрез установяване на нееднородности в повърхностния слой, с оптическо сканиране или използване на георадари. Различните методики имат и различна разделителна способност, която

понякога е доста голяма (достига до 1 m при оптичното сканиране от въздуха). Такива изследвания са правени на много места в Европа, Латинска Америка, Азия, както и в България. В настоящия момент никой от археолозите не прави самоцелни разкопки без сериозна предварителна подготовка, която може да е от литературни източници, но и от много други предварителни изследвания. Бихме споменали само един такъв пример на откриване на древен селище от II-I век пр.н.е. в околностите на гр. Ловеч през 90-те години на XX век, за който сведенията са получени от оптично сканиране на района, но не с цел археологични проучвания, а проучване на скалните масиви и почвите.

- Втората група изследвания са свързани с определянето на възрастта и структурата на артефакти. Много от проучванията са провеждани с няколко различни методики едновременно, например спектрален анализ и маспектрометрия или техни усъвършенствани разновидности. Може да се изброят изследванията на различни метални и керамични изделия, на златни украшения, изследване на микроелементния и оловен изотопен състав на руди, както и такива, посветени на изследване на скалните материали и особено на пигментите, с които в древността са били изработвани рисунки по скални стени и пещери. Многобройни проучвания са правени в Европа, но и в Америка и Африка (древноегипетски рисунки).
- Сравнително ново направление в археологията е т. нар. „биоархеология“, където изследванията са насочени към определяне съдържанието на различни химични елементи и съединения в останки от биологичен характер като скелети, кости, зъби. Изследвания са правени за съдържанието на въглерод и различните негови изотопи в мастни киселини, както и изследвания на белтъци, съдържание на стронций в кости и зъби и много други. Част от проучванията са правени не върху самите биологични останки, а върху керамики, използвани за приготвяне на храната например. Има множество интересни изследвания в областта, от които бихме споменали една малка част: изследвания на коса за определяне на ДНК профил на различни човешки общества, изследвания на козметични продукти и такива, които са използвани при мумифицирането в древен Египет, образуване и разлагане на белтъчни вещества и др. С развитие на техниката все по-широко приложение в тези област намират методите на инфрачервената спектроскопия и анализ.

В екологичните изследвания най-често са проследявани във времето следи от елементи в различни обекти на околната среда - въздух, вода и почви (скали) на различни географски места. Това определя използването в т. нар. „полева“ екология на преносима апаратура. Най-често използваните методи са тези на спектралния анализ (и качествен - за определяне на вида на съответния елемент или съединение и количествен - за определяне на относителния дял в изследваната проба). Разбира се, екологичен мониторинг се провежда и в лабораторни условия, където има значително по-точна измервателна техника и

съответно границите на откриваемост са по-ниски. Тук хроматографските методи се прилагат по-често. В случаите, в които изследваните обекти не са с биологичен произход, много често като източник на възбуждане на атомите или йоните и деструктуриране на материала, се използват лазери.

В **криминалистиката**, също както и в археологията, използваните методики са многобройни и разнообразни. Част от тях вече споменахме в изложението - оптически изследвания, които са предимно фотографски, и то не само във видимата част от спектъра, но и в инфрачервения и ултравиолетовия диапазон. Най-широко приложение в тази област намират спектралните методи за качествен и количествен анализ.

III. Заключение

Оптичните методи намират широко приложение в различни области на човешката дейност. Основните техни характеристики като неразрушителност, ниски граници на откриваемост и преносимост на апаратурата ги правят предпочитани от изследователите. Много от областите на човешката дейност днес е немислимо да се развиват без използването им. Тези методики са спомогнали за повишаване качеството на живота на обществото като цяло, но и на отделния човек.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] IUPAC Nomenclature for Chromatography, IUPAC Recommendations 1993, Pure & Appl. Chem., Vol. 65, No. 4, pp.819–872, 1993
[2] Gross. J., Mass Spectrometry. Germany, Springer, 2004.

ИСТОРИЯ НА ОЧИЛАТА

Елена Халова и Невена Кожухарова

Департамент по приложна физика, Технически Университет-София, София 1000,
бул."Кл. Охридски" 8, България,
e-mails: ehalova@tu-sofia.bg, nkojuharova@tu-sofia.bg

Резюме. В настоящия доклад е направен преглед на историята на откриването и усъвършенстването през вековете и до наши дни. Проследено е на влиянието на научните открития в областта на приборите за коригиране на зрението за развитието на човека.

Ключови думи: очила, оптични скъкла, история.

Най-ранните литературни сведения, които показват, че човек е наблюдавал и изследвал оптични явления, произхождат от 500г. пр. Хр., още в Антична Гърция.

В древноегипетските йероглифи са намерени първите исторически доказателства, как с различни материали се наблюдава увеличение на предмети. При изучаване на законите за пречупване на светлината Архимед е използвал кристал за корекция на зрението. Луций Аней Сенека е оставил първия писмен материал, в който се казва, че при наблюдение през стъклен балон, пълен с вода, забелязва увеличение на буквите. В Италия, римският император Нерон, когато е гледал гладиаторските игри в своята отдалечена ложа, е използвал за увеличение два полирани камъка от изумруд. Векове след това стъклата на очилата се правели от скъпоценни камъни.

Откритието и развитието на очилата е тясно свързано с развитието на оптиката. В периода на Възраждането в Европа това развитие започва около 1240г. след като в манастирските библиотеки е преведена на латински книгата „Съкровището на оптиката“ от XI век на арабския математик, астроном и оптик Абу Али ал-Хасан ибн ал-Хайтам, или както е известен в Европа - Алхазен. В монографията се описва увеличаващото действие на сферичен сегмент стъкло, което Алхазен нарича „камък за четене“. Всъщност този „камък за четене“ е предшественик на съвременната лупата.

I. Първите очила

Съществуват исторически факти, които доказват, че първите очила се появяват в Северна Италия, между 1280 и 1300 година. Спорни са както техния изобретател, така и годината на изобретяване. Флорентинецът Салвино дели Арматини е едното предположение. Според друго предположение първите очила са изобретени от италианския монах Алесандро Спина около 20 години по-

рано. Доказано е че около 1290г в Италия са били произвеждани очила от занаятчийските майстори. Както е известно по това време населението не е могло да чете и пише, което е причината очилата да са се използвали само от духовници и учени (фиг.1).

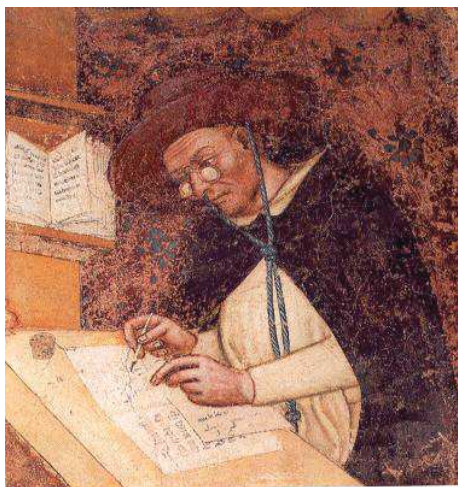
През 1352г. италианският художник Томазо де Модена (*Tomaso da Modena*) за пръв път рисува очила в една от фреските си. Портретът на кардинал Хюго от Прованс (фиг. 2.), изобразен върху една от фреските в манастира Сан Николо в италианския град Тревизо, е най-старото изображение на очила. Този портрет е част от серията от 40 портрети. На него са изобразени здраво закрепени за носа на кардинала очила, с който той пише. Върху портрета на кардинала на Роуен (фиг. 3), е изобразен монокъл, разположен близко до окото, с който той чете книга.



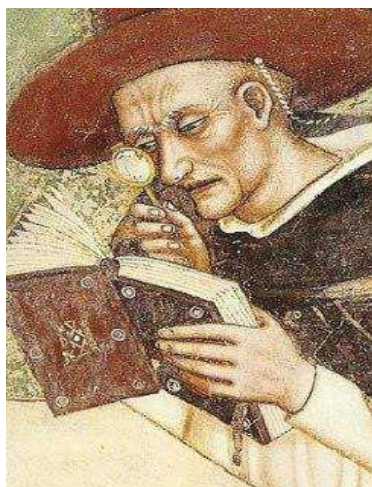
Фиг. 1. Използване на очилата от духовниците и учените.

Най-ранното изображение на очила северно от Алпите е „очилат апостол“ от световноизвестния олтар на градската църква в Бад Вилдунген в Германия, направен през 1403г. от Конрад фон Соест, (фиг. 4).

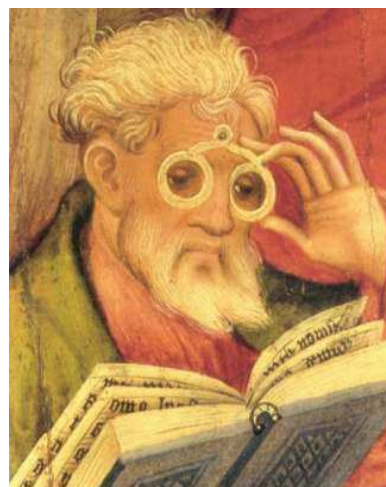
Очилата за корекция на зрението започват да се срещат все по-често в Италия след 1430г.



Фиг. 2. Портрет на кардинал Хюго.



Фиг. 3. Портрет на кардинала на Роуен.

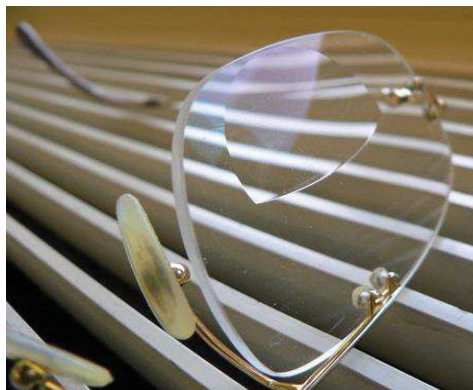


Фиг. 4. „Очилатият апостол“.

В античните медицински ръкописи са били предписвани само медикаменти за оплаквания при четене, но не се споменават предмети за коригиране на зрението. При разкопките на Ниневия, Файум, Троя, Тир, Майнц са намерени предмети, които имат изпъкнала форма и са направени от кристал, кварц или стъкло, които имат и оптично действие. В повечето случаи са поставени в рамки от кожа, бронз или злато, а част от тях са и пробити, което показател, че са били използвани само като украшения или копчета (фиг. 5).



Фиг. 5. Древни очила.



Фиг. 6. Бифокално стъкло.

II. Съвременните очила

Първата рамка с дръжки, които се поставят зад ушите е изработена от английският оптик Едуард Скарлет през 1727г. Американецът Бенджамин Франклин, за да не сменя непрекъснато двата си чифта очила, изобретява бифокалните стъкла през 1784г. (фиг. 6). През 1825г. английският астроном Джордж Бидъл Еъри изобретява стъкла, които коригират астигматизъм.

През годините очилата променят своя дизайн най-вече в посока на намаляване на площта и дебелината на стъклата и изтъняване на рамките. Днес за рамките се използват титанови сплави, а за стъклата CR-39 лещи, които осигуряват лекота и комфорт.

1. Стъкла

Археологически находки свидетелстват, че в Египет, Гърция и Месопотамия за стъкла са използвани лещи от планински кристал и берил. Лещи са открити и сред останките на легендарната Троя, т.е. от преди не по-малко от 4500г.

Стъклата на очилата отначало са се изработвали от оптично стъкло, което има някои недостатъци като: лесна чупливост, тежки и при големи диоптри стъклата са доста неестетични. Предимство на оптичното стъкло пред съвременно използваната пластмаса е, че не се драскат толкова лесно.

В наши дни лещите се изработват от пластмаса с добри оптични свойства. Пластмасата има редица предимства, например е по-лека, по-здрава при удар и намалява риска от счупване, а някои марки пластмаса имат и по-голям показател на пречупване на светлината.

Характеристики на стъклата от които се изработват лещите за очила са:

- пречупващата сила, която се измерва в диоптри (D).
- показателят на пречупване n на светлината за дадения материал
- UVB/UVA - показва процента на защита в съответната ултравиолетова област (UVA - 400-320 nm , UVB - 320-290 nm).
- Числото на Абе е мярка за дисперсията на светлината.

2. Контактни лещи

Идеята за контактните лещи е разработена още от Леонардо да Винчи през 1508г. Подобна идея изказва и Рене Декарт през 1636г. Немският физиолог Адолф Фик, изучавал математика и физика, е първият, който изработва контактни лещи от кафяво стъкло през 1877г.

Контактните лещи, меки или твърди, представляват фини кръгли лещи, изработени от прозрачни материали (фиг. 7). Имат редица предимства като по-широк зрителен ъгъл, липсата на запотвяване на стъклата, избягване на натоварването на горната част на носа както и поради практичността им за някои професии и дейности. Съществуват и цветни контактни лещи, които се носят преди всичко от естетични съображения.



Фиг. 7. Контактни лещи.

III. Видове очила

Очилата се използват не само за да коригират дефекти в зрението, но и

- в **спортове** като алпинизъм, ски, плуване, гмуркане, велосипед, фехтовка, автомобилни спортове,
- в **научни лаборатории**, с цел да предпазят очите от вредни влияния като прах, химикали, огън, ултравиолетово излъчване и други,
- в **армията** се използват специални очила за нощно виждане, които обикновено работят в областта на инфрачервеното излъчване,
- в **киносалони** - 3D очила, които помагат за образуването на стереоскопичен полуобраз за всяко око, например чрез циан и червен цвят на стъклата съответно за черно-бяло виждане или стъкло с хоризонтална и стъкло с вертикална поляризация за цветно виждане (фиг. 8),
- **при видео игри** - видео очила и шлемове (фиг. 9),
- **слънчевите очила** - най- популярни и най-използвани.



Фиг. 8. 3D очила.



Фиг. 9. Очила за виртуална реалност.

1. Слънчеви очила

Хората предпазват очите си от слънцето от незапомнени времена. Първите слънчеви очила са намерени в гробницата на Тутанкамон - две тънки стъкла от изумруд с рамка от бронз.

Подобие на познатите ни днес слънчеви очила са наочниците (фиг. 10.), които инуитите са използвали, за да се защитят от заслепяващата ги дневна светлина в полярния кръг. Те били направени изцяло от кости на моржове или на беззъби китове, с много малък прорез за гледане. По този начин отразената от снега светлина не заслепява инуитите.



Фиг. 10. Слънчеви очила на инуитите.



Фиг. 11. Слънчеви очила със сгъваемите рамки и оцветените стъкла.

Китайските съдии през XII век също използвали вариант на слънчеви очила, направени от пластини от опушен кварц, над очите си по време на съдебни процеси, за да изглеждат безизразни, с цел да скрият емоциите си, така че тълкуванието на предоставените от обвинителите и защитниците доказателства да остане в тайна до самия край на процеса.

Слънчевите очила са създадени от английския оптик Джеймс Айскоф около 1752г. Той въвежда сгъваемите рамки и оцветените стъкла (фиг. 11). Освен това измислил очила с два вида стъкла, сложени едно върху друго. Едните стъкла били бели, а другите оцветени в синьо или зелено. Според Айскоф белите стъкла правели светлината твърде ярка и вредна за очите. Затова предположил, че очилата за корекция ще имат по-добър ефект ако са с оцветени стъкла. Тези очила са предшественика на очилата с диоптри, които са едновременно и слънчеви очила. Такива очила имат фотосоларни (фоточувствителни, фотохромни) стъкла, потъмняващи при засилена осветеност. Те реагират по-бързо, когато са на основата на органични стъкла.

В Европа очилата били изобретени в края на XIII век. Първото промишлено производство на голямо количество очила е било за армията на Наполеон Бонапарт в края на XVIII век за похода в Египет. От силното слънце френските войниците получавали възпаления на ретината и затова били задължени да носят очила с цвѳта на “нилска тиня”. Те били изработени от опушени стъкла, покрити с лак и били толкова тъмни, че се изисквали големи усилия, да са се стреля точно с тях.

Слънчевите очила придобиват масова популярност през XX-ти век. Първият брой слънчеви очила е продаден от Сам Фостър (създател на фирмата Foster

Grant) през 1929г. на крайбрежната улица в Атлантик Сити, САЩ. През 1929г. Едуин Ланд патентовал поляризиращ филтър, от материал подобен на целофана, който намалявал яркостта на светлината и се превърнал в основен елемент на слънчевите очила. През 1937 г. той основал корпорацията Полароид.

Около 1930г. въздушните части на американската армия възлагат на оптичната фирма Bausch & Lomb да разработят високоефективни очила, които да предпазват пилотите от изключително опасните по време на летене слънчеви лъчи. През 1936г. са изобретени слънчевите очила тип „авиатор“ (фиг. 12), които пилотите от американската армия получават безплатно. През 1937г. те са пуснати на пазара от компанията Bausch & Lomb под марката Ray Ban, станала емблематична за слънчевите очила впоследствие.

По време на Втората световна война командването на Военноморските сили на САЩ задължили военните моряци да носят слънцезащитните очила, чиито стъкла за пръв път са със защита срещу ултравиолетовите лъчи.



Фиг. 12. Очила тип „авиатор“.



Фиг. 13. Очила тип „уейфър“.



Фиг. 14. Огледални слънчеви очила.

През 1953г. се появява и известният модел очила „уейфър“ (фиг. 13), които се считат за най-продаваните слънчеви очила в историята.

В съвремението има и огледални слънчеви очила (фиг. 14), които намаляват отразяваната от сняг, пясък и вода светлина.

2. Спортни очила

2.1. Летни спортове

Плуването е един от летните спортове, който използва очила (фиг. 15). За да вижда под вода, на човек му трябва въздушен слой, който да предпазва очите му от вредни вещества като солта в морето и океана или хлора в басейните. Първите прототипи на очила за плуване датират отдавна. През XIV-ти век персийците използват полирани черупки на костенурки като средство за гледане под вода. В началото на 30-те години на миналия век са изработени първите очила за плуване по подобие на авиаторските.

Очилата, които се използват от водолазите и при подводен риболов, са с много по-голяма площ и обхващат плътно не само очите, но и носа. Обикновено се използват в комбинация с шнорхел (фиг. 16).

Съвременните очила за плуване са два вида: силиконови и неопренови. За хора с влошено зрение се изработват и очила за плуване с диоптър.



Фиг. 15. Очила за плуване.



Фиг. 16. Очила за подводни спортове.



Фиг. 17. Очила за зимни спортове.

2.2. Зимни спортове

Зимни спортове като ски, сноубординг и алпинизъм също изискват носенето на специални очила (фиг. 17). Стъклата на тези очила са изработени от поликарбонат с няколко покривни слоя: против мъгла, против ярките отражения от снега и леда и против надраскване. Някои очила имат и огледално покритие.

3. Очила за нощно виждане

Основното приложение на очилата за нощно виждане е в армията и полицията. Очилата за нощно виждане са два основни вида: телескопични или бинокулярни (фиг. 18). Последните са с голям диаметър на обектива с цел да събират и концентрират необходимата, но твърде слаба светлина през нощта. Работят в близката инфрачервена област с дължина на вълната около 1 μm . Тези очила имат и недостатъци - тежки, големи и с ограничено зрително поле до 40° - 45° .

Очилата за нощно виждане имат приспособление, което работи на принципа на фотоелектричния ефект и увеличава значително интензитета на слабата светлина.

Могат да се използват и при нощно шофиране, лов или пилотиране на самолет.



Фиг. 18. Очила за нощно виждане тип бинокъл.

4. Лабораторни очила

Във всяка научна и изследователска лаборатория са задължителни защитните очила. Те покриват плътно и изцяло или частично горната част на лицето. Лещите са направени от поликарбонат, големи са, за да не пречат на периферното зрение и имат миниатюрни отвори за проветряване. Те предпазват очите от ултравиолетово лъчение и при работа в химичните лаборатории от химикали или запалителни вещества.

IV. Заключение

В заключение можем да кажем, че научните открития в областта на коригиране на зрението са оказали огромно влияние за реалното възприятие на заобикалящия ни свят. Те са били причина за разширяване на човешките възможности и развитието на бизнеса. Тези достижения са спомогнали и продължават да спомагат за подобряване условията на живот и труд на човека не само на Земята, но и в космическото пространство.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. <http://bg.wikipedia.org/wiki/>
- [2]. <http://euroshop.bg>
- [3]. <http://opto.bg/hostoryglasses>
- [4]. <http://nakratko.bg/category/29/79080/>
- [5]. <https://innovationstarterbox.bg>

ИЗПОЛЗВАНЕ НА СВРЪХПРОВОДИМА КЕРАМИКА В АЛКАЛНИ Ni/Zn БАТЕРИИ

Станимира Терзиева^{1,2}, Ангелина Стоянова-Иванова², Ивана Илиевска², Александър Васев²

¹Департамент по приложна физика, Технически Университет София,
e-mail: sterzieva@tu-sofia.bg

²Институт по Физика на Твърдото тяло “Академик Георги Наджаков”, Българска
Академия на Науките, e-mail: mira@issp.bas.bg

Резюме. Акумулирането и съхранението на енергия е област, в която успешно се комбинират водещи технологии за производство на нови материали и електролити с иновативни инженерни решения за евтини, екологично чисти и високо енергийни акумулаторни системи. Напоследък изследванията в тази област се задълбочават все повече, тъй като се търсят начини за оптимизиране свойствата на електрохимичните източници на ток. Използването на проводими системи (прахове) като добавка към цинкови електроди на алкални батерийни системи се прилага с цел увеличаване на електронната проводимост. Установено е, че никел-цинкова (Ni/Zn) батерийна клетка с добавка от свръхпроводима керамика, от вида итрий-барий-мед-кислород (YBCO, подобрява стабилността на капацитета при циклиране (с около 40%) спрямо батерийна клетка с въглеродна добавка. Получените резултати дават възможност за приложение на свръхпроводимите керамики като добавка към електродната маса на цинкови електроди в алкални акумулаторни батерийни системи, което да допринесе за по-дълъг живот на батерията.

Ключови думи: свръхпроводимост, батерии.

1. Увод

Атрактивните перспективи, предложени от високотемпературните свръхпроводници (работещи при температури около 77 K) предизвикват много изследвания и разработки свързани с тяхното реално използване. Керамичните свръхпроводници познати като оксидни системи от Y-Ba-Cu-O и Bi-Sr-Ca-Cu-O продължават да са обект на широко изучаване за намиране на интердисциплинарни приложения в електрохимията, биофизиката, електротехниката и материалознанието. Акумулирането и съхранението на енергия е област, в която успешно се комбинират водещи технологии за производство на нови материали и електролити с иновативни инженерни решения за евтини, екологично чисти и високоенергийни акумулаторни системи.

Въпреки интензивното изследване на високотемпературните свръхпроводници, в научната литература се откриват малко статии свързани с изучаване на тяхното химично поведение в различни среди. Известно е

разрушителното влияние на водата върху тези материали [1-4], както и влошаването на свръхпроводимостта при итриевата (YBCO) и бисмутовата (BSCCO) системи свръхпроводници, тествано още след тяхното откриване (1986г.) [5, 6].

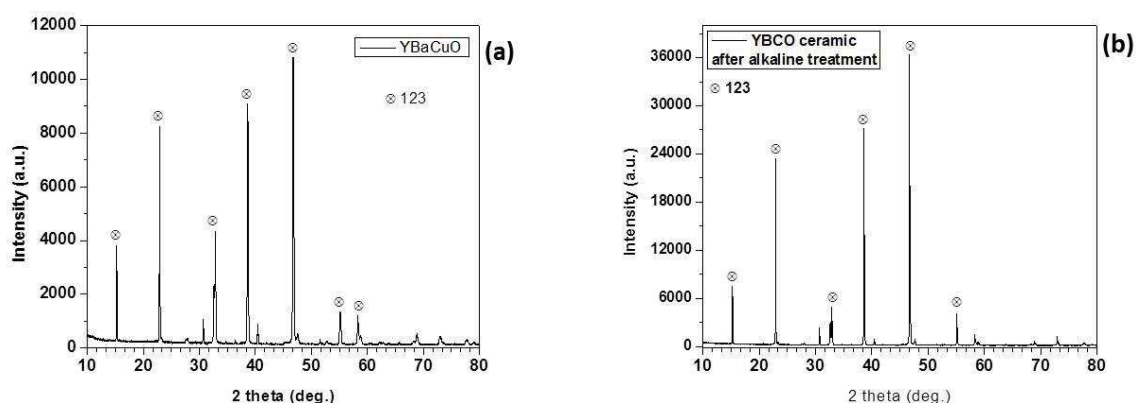
Един иновативен подход в развитието на електрохимичните източници на ток е използването на оксиди на преходни метали и редкоземни елементи, каквито се срещат точно в свръхпроводимите системи (Y_2O_3 , Sr_2O_3 , $BiCO_3$) [7]. Това засилва интереса да бъде изследвано влиянието на силно алкални среди върху свръхпроводимите свойства на такива материали с цел използването им като опроводяваща добавка към активната маса в алкални батерии.

Целта на настоящата работа е да представи получени резултати от изследването на ефекта от добавката на свръхпроводими купратни керамични материали към електродната маса на цинковия електрод в алкални никел-цинкови акумулаторни системи върху неговите електрохимични характеристики.

2. Резултати и обсъждане

Използваните свръхпроводими керамики от вида Y-Ba-Cu-O са синтезирани по стандартна керамична технология извършена чрез тристепенен режим на термична обработка [8]. Преди да бъдат добавени към електродната маса на цинков електрод, образците са тествани за установяване на корозионната им устойчивост в електролитен разтвор на 7М KOH, 0.9М KF и 0.1М LiOH, наситен с ZnO съответно за 48, 72, 98 и 120 часа при стайна температура.

От направеният рентгеноструктурен анализ (XRD) е установено запазване на свръхпроводимата фаза (123), което доказва устойчивостта на керамиката в електролитния разтвор, фиг. 1.

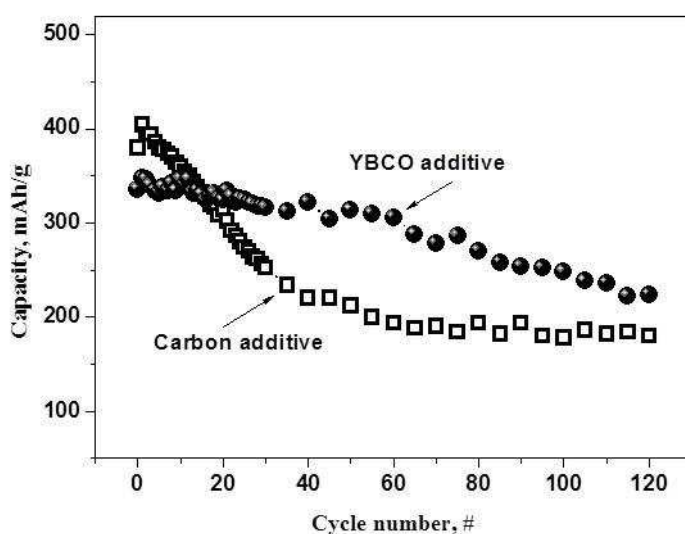


Фиг. 1. Рентгенографски спектри на свръхпроводима керамика от вида YBCO преди (a) и след престой в алкален електролитен разтвор (b)[8].

Така охарактеризирана свръхпроводимата керамика с номинален състав $Y_1Ba_2Cu_3O_x$ е използвана като добавка към цинкова паста. Изготвянето на цинков електрод следва процедурата описана в [8].

Резултатите от сравнителните електрохимични изследвания на никел-цинковите батерийни алкални клетки, показани на фиг. 2, илюстрират предимствата на цинковите електроди с активна маса, съдържаща добавка от свръхпроводима купратна керамика - повишен специфичен капацитет (Ah/g) и устойчивост на капацитета при циклиране.

На фиг. 2 е показана съпоставка на промяната на разрядния капацитет във времето за 120 цикъла на клетка с използвана YBCO проводима керамика като добавка към активната маса и на същата клетка с въглеродна добавка.



Фиг. 2. Зависимост на капацитета от броя цикли за никел-цинкова алкална батерийна клетка с цинкови електроди с електродни маси с добавки от свръхпроводима купратна керамика YBCO 123 и въглероден материал - ацетиленови сажди [8].

От представените резултати се вижда, че внасянето на YBCO проводима керамика към активната маса за изготвяне на цинковия електрод повишава разрядния капацитет на клетката. В началото на процеса на циклиране капацитетът на клетката с добавка от YBCO проводима керамика е с около 12% по-малък от този получен за клетка с въглеродна добавка. С напредването на процеса на циклиране разрядният капацитет за клетка с въглеродна добавка стръмно спада, докато при внасянето на керамика, този спад е значително по-плавен. Така например при 30-тия цикъл разрядният капацитет на Zn/Ni клетка с добавка на YBCO проводима керамика е с около 48% по-висок в сравнение с въглеродна добавка, а при 50-тия цикъл разликата е около 70%.

3. Заключение

Първичните тестове от добавянето на свръхпроводима керамика YBCO към активната маса на алкална потвърждават позитивния ефект на свръхпроводимата керамика върху устойчивостта на циклиране на цинковия електрод в състава на реална Ni/Zn клетка. Резултатите дават възможност за нови изследвания с добавки от различни видове свръхпроводима керамика, с цел по-нататъшно подобряване свойствата и характеристиките на отрицателния цинков електрод за използването му в алкални акумулаторни системи.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] J. Zhou, D. Riley, A. Manthiram, M. Arendt, M. Schmerling and, J. McDevitt, Appl.Phys.Lett. **63** (1993) 548
- [2] R. Zhao, and S. Myhra, Physica C 230 (1994)75
- [3] W. Günther and R. Schöllhorn, Physica C **271**(1996) 241
- [4] O. Smrckova, D. Sykorova, and P. Vasek, Journal of Superconductivity: Incorporating Novel Magnetism, Vol. **13**, 6, (2000) 1-3
- [5] J. Dominec, L. Smrc'ka, P. Vas'ek, S. Geurten, O. Smrc'kova' , and D. Sy'korova' , Sol. State Commun. **65**, (1988) 373
- [6] O. Smrc'kova' , D. Sy'korova' , P. Svoboda, and P. Vas'ek, Collect. Czech. Chem. Commun. **58**, (1993) 1548
- [7] Huang H., Zhang L., Zhang W.K., Gan Y., SHao H., Journal of Power Sources **184** (2008) 663
- [8] A. K. Stoyanova-Ivanova, S. D. Terzieva, G. D. Ivanova, M. A. Mladenov, D. G. Kovacheva, R. G. Raicheff, S. I. Georgieva, B. S. Blagoev, A. J. Zaleski, V. Mikli, Bulg.Chem. Commun., **47**, 1 (2015) 211-218

ПРИЛОЖЕНИЕ НА САТЕЛИТНИТЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ В МЕТЕОРОЛОГИЧНАТА ПРОГНОЗА

Радостина Ташева и Валентина Танева-Тончева

Департамент по приложна физика, Технически университет - София,
бул. „Кл.Охридски“ №8, e-mail rad_tasheva@abv.bg

Резюме. Разглеждат се приложенията на сателитните изображения за определяне на основните метеорологични елементи и явления, свързани със синоптичната прогноза. Дискутират се предимствата и недостатъците на изображенията във видимата, инфрачервената и микровълновата област на спектъра, както и тяхното комплексно използване за определяне интензитета и разпределението на валежите, свързани с тропичните циклони.

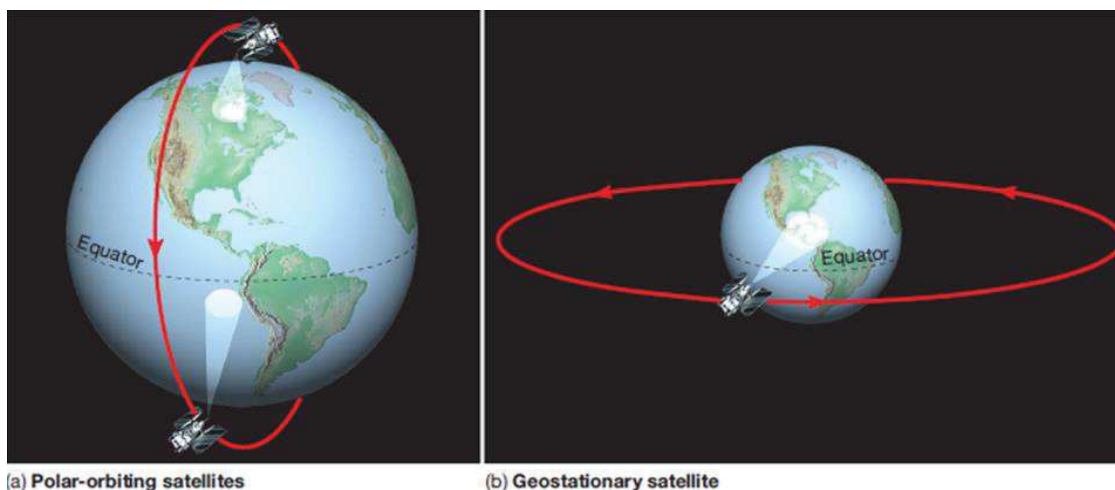
Ключови думи: сателити с геостационарна и полярна орбита, сателитни изображения на земната атмосфера във видимата, инфрачервената и микровълновата част на спектъра, тропични циклони

1. Увод

За целите на метеорологичните прогнози се използват изображенията, направени от два вида сателити - геостационарни и такива с почти полярни орбити, с присъщите им преимущества и недостатъци [1].

Геостационарните сателити обикновено се позиционират на приблизително 36 000 km над областта на екватора. Тъй като периодът им на обикаляне съвпада с денонощието, те имат фиксирана позиция над определен участък, а високата орбита им позволява да покрият около една трета от земната повърхност. По тази причина те са изключително полезни за проследяване развитието на облачните системи като получените от тях изображения се свързват в анимации за по-добро визуализиране. Съществен недостатък на изображенията от геостационарните сателити, обаче, е тяхната ниска разделителна способност, резултат от големия радиус на орбитата им. Тези сателити не могат също така да правят изображения на полярните области - поради кривината на земната повърхност.

Сателитите с приблизително полярни орбити обикалят на разстояние 600-1000 km, правейки снимки с голяма разрешаваща способност, включително и на околополярните области. При всяка обиколка те се преместват с около 25° на запад, изпълнявайки приблизително 14 обиколки на денонощие и минавайки през екватора по едно и също локално време. Тъй като обаче имат много по-малък обхват на действие, те успяват да минават едва през 12 часа над дадено място и не са подходящи за проследяване развитието на облачната покривка.



Фиг. 1. Метеорологични спътници за наблюдение - с полярна (a) и геостационарна (b) орбита.

2. Видове сателитни изображения, използвани в метеорологичните прогнози

За получаването на сателитните изображения се използват два основни подхода - пасивно и активно сканиране. Използването на радари, получаващи активно информация, е сравнително нова област и ще бъде дискутирана по-нататък.

При изображенията, направени във видимата част на спектъра - $0,6 - 0,8 \mu\text{m}$, информацията се получава пасивно - наблюдава се отразената от обектите слънчева светлина. Затова снимките имат яркост зависеща от височината на Слънцето, ъгъла на виждане, отражателната способност (албедото) и разрешаващата способност на сателита. Понеже най-голяма роля играе албедото, тези образи могат да се разглеждат като карти на отражателната способност на лежащата под сателита повърхност. Например, дебелия облак (фиг. 2a) има по-голяма отражателна способност от тънките и водните облаци в сравнение с ледените. Облаците с малки капки отразяват повече от тези с големи капки и това е причината могат да изглеждат на такива снимки много светъл, макар че е с тънък слой. Интерпретацията на такива изображения свързва белите области с райони с най-голямо алbedo, черните - с райони с най-малко алbedo, а останалите са в различните степени на сивото. На такива карти облаците се виждат много ясно, освен ако под тях са области с голяма отражателна способност като сняг и лед (липсва контраст).



а) видима област



б) инфрачервена област

Фиг. 2. Сателитни изображения, направени във видимата ($0,6-0,8 \mu\text{m}$) и инфрачервената ($10,2-12,5 \mu\text{m}$) част на спектъра. Дебелите облаци изглеждат ослепително бели във видимия диапазон (фиг. 2а). В инфрачервения диапазон силно излъчващите области изглеждат тъмни (фиг. 2б), а слабо излъчващите - бели.

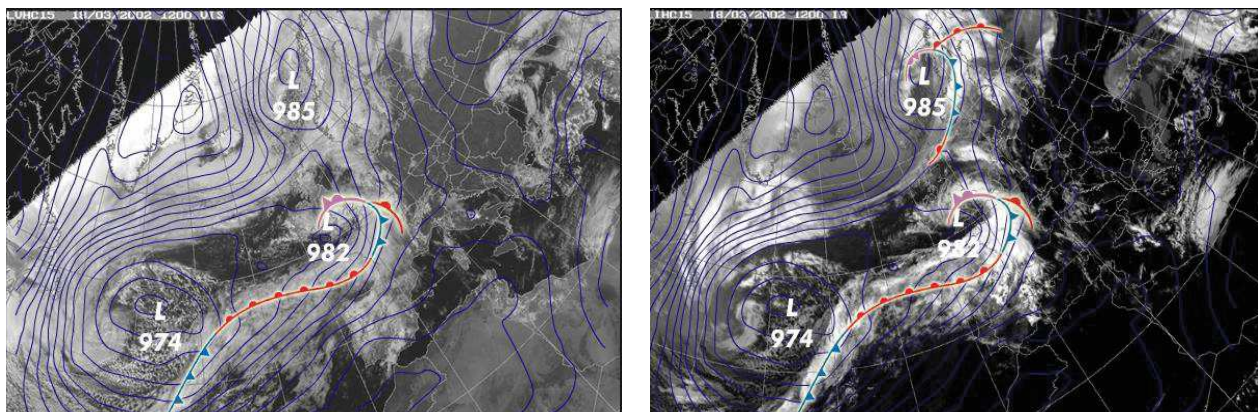
Инфрачервените изображения - в диапазона $10,5 - 12,5 \mu\text{m}$, имат голямото предимство да не зависят от слънчевото греене - получават се по всяко време на денонощието. Те зависят от енергията, излъчена от обектите в инфрачервения диапазон т.е. степента на „белота“ при тях може да се интерпретира като степен на „студенина“. Областите с най-силно топлинно излъчване изглеждат черни, тези с най-малко - бели.

Ако могат да се сравнят наблюденията на едни и същи области в едно и също време във видимия и инфрачервен диапазон, могат да се направят изводи за генезиса и развитието на редица метеорологични явления:

- да се определи местоположението на фронтовете по земната повърхност, както и на високите барични долини и гребени;
- да се проследят стадите в развитието на депресиите и тропическите циклони;
- да се очертаят основните ветрови структури,
- да се оцени стабилността на атмосферата и вероятността за образуване на планински вълни;
- да се предскаже посоката на вятъра по движението на облачните системи;
- при сравнение на ИЧ изображения от геостационарните облаци с температурния профил на атмосферата да се определи температурата, а оттам и височината на облачните върхове и възможността и интензивността на валежите;
- при липса на облачност да се оцени температурата на океаните, а оттам и областите с ледено покритие.

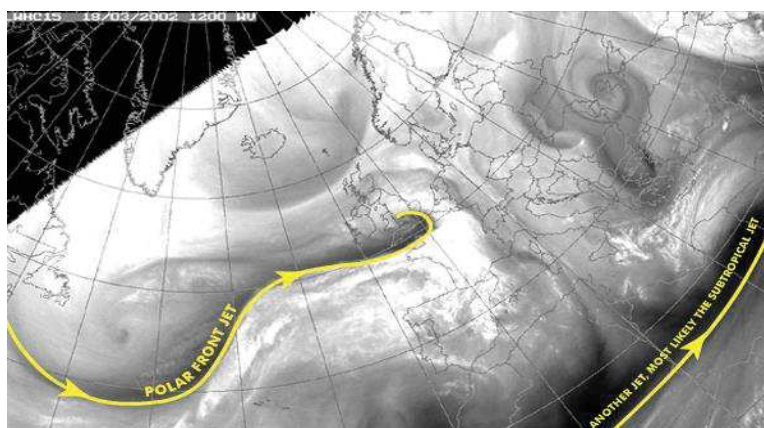
Пример - изображения, направени с МЕТЕОСАТ - геостационарен сателит, позициониран над Централна Африка във видимия и ИЧ диапазон. Повърхностната метеорологична обстановка наблюдавана във видимия

диапазон показва оклюдиран циклон с минимално налягане 982 hPa с център над Южна Англия и току-що зараждащ се над Атлантическия океан (фиг. 3а). Същата снимка в ИЧ лъчи показва друг циклон по-насевер, почти ненаблюдаем във видими лъчи (фиг. 3б).



Фиг. 3. Циклонални системи във видимия (а) и инфрачервения (б) диапазон.

Причината да се използват изображения в инфрачервения диапазон (5,7 – 7,1 μm) е, че това е диапазон на силно поглъщане (и съответно излъчване) на водната пара (фиг. 4). Светлите части на изображенията се асоциират с висока влажност, тъмните с ниска влажност. Получените образи не са толкова добре дефинирани както предишните две, но понякога се наблюдава ясна граница между сухия и влажния въздух. Един такъв случай е когато в сухата стратосфера навлиза влажен въздух от голям купесто-дъждовен облак, което е особено добре изразено в тропическите области. Друг случай на рязко очертана граница е когато влажния топъл въздух под тропичната тропопауза среща студения полярен въздух на полярната тропосфера. На тази граница се наблюдава полярното струйно течение.



Фиг. 4. Определяне позицията на струйните течения по границата между сух и влажен въздух върху сателитни изображения в диапазона 5,7 – 7,1 μm .

3. Използване на сателитните изображения за измерване на интензивността и разпределението на валежите

Причините валежите да са по-слабо изучени от останалите метеорологични явления са главно две - от една страна има малко на брой сензори за валежи в океанските области, а от друга - валежите са изключително променливи в сравнение с другите величини, определящи състоянието на атмосферата - като например налягането и температурата.

Пасивните сателитните измервания на валежите са базирани на интензитета на отразената или излъчена енергия от облаците и валежните хидрометеори във видимата, инфрачервената и микровълновата област, както и комбинации от тях. За инфрачервената и микровълнова радиация той най-често се изразява с яркостната температура - температурата, отговаряща на съответния интензитет на излъчване на абсолютно черно тяло по разпределението на Планк. За инфрачервения диапазон тя отговаря на физическата температура на върховете на облаците, защото повечето облаци са оптически дебели за инфрачервената радиация. Микровълновата радиация, наблюдавана от сателитите, измерва интегралния излъчвателен ефект на земната повърхност, атмосферните газове и хидрометеорите (водни капки и ледени кристали). Това я прави средство с голям потенциал за анализ на разпределението и интензивността на валежите [2].

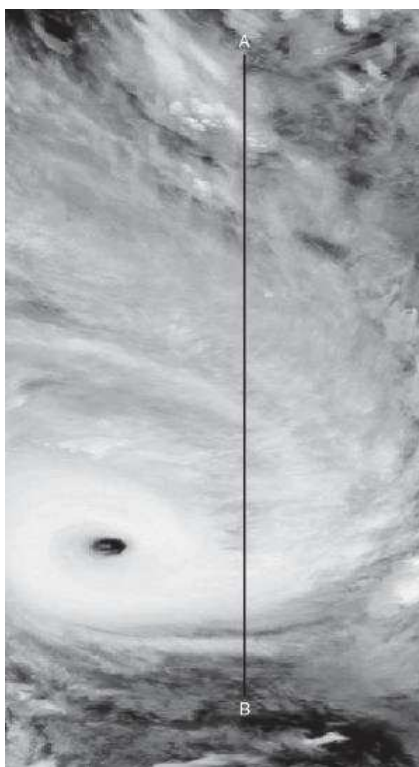
Активното наблюдение на валежите от Космоса засега е ограничено до единствения радар за валежите - Tropical Rainfall Measuring Mission Precipitation Radar, предназначен основно за проследяване на тропическите урагани.

Радиационните особености на валежите могат да бъдат разбрани, разглеждайки наблюденията на урагана на фиг. 5 от различните сензори на Tropical Rainfall Measuring Mission Precipitation Radar, покриващи област 720×3050 km. Радарните данни показват, че основната част от валежите съответстват на дебелата облачна покривка вдясно от „Окото на урагана”.

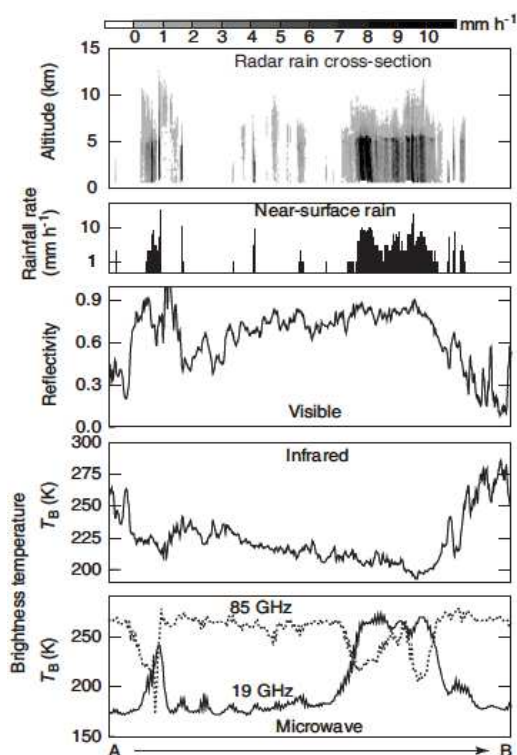
Ако сравним данните там с тези - близо до т.В (съответстваща на област почти свободна от облаци) виждаме по-голяма отражателна способност, ниска инфрачервена яркостна температура, висока яркостна температура за 19 GHz и ниска яркостна температура за 85GHz. Повечето от спиралните ръкави не носят валежи, въпреки че там облаците имат ниска инфрачервена яркостна температура и висока отражателна способност. Само микровълновата яркостна повърхностна температура следва отблизо наблюдаваните с радар вариации във валежите.

Визуалната отражателна способност се увеличава с оптическата дебелина, която от своя страна е приблизително пропорционална на височината на колоната на течната вода. Следователно, по-дебелите облаци са по-вероятни носители на дъжд. При големи оптични дебелини обаче, превишаващи 100 и повече, което често се наблюдава при облаци с валежи чувствителността на видимия диапазон практически клони към нула. Следователно вместо цялата

колона, видимата радиация отразява свойствата само в близост до върха на облака.



Фиг. 5а. Инфрачервено изображение на ураган над югоизточния Тих океан на 5 януари 1998 година.



Фиг. 5б. Радиационни свойства на облаците на урагана в сечението A-B, включващи разрез на урагана във височина, интензитет на приземния валеж, отражателна способност във видимата част на спектъра и яркостна температура при $11\ \mu\text{m}$ (инфрачервен) и 19 GHz и 85GHz (микровълни).

Заради голямата поглъщателна способност на водните молекули в инфрачервения диапазон, яркостната температура получена от наблюденията показва температурата на облачните върхове. В тропиците повечето валежи се асоциират с добре развити конвективни системи и високи облачни върхове. Пониските яркостни температури, асоциирани с тях, обикновено са индикатори за проливни дъждове на повърхността. В същото време високата облачност (Ci) също има ниска яркостна температура, но от нея не се очакват валежи. От друга страна, понякога плитка конвекция с топли облачни върхове създава значителни валежи. Нещо повече, в умерените ширини повечето валежи са предизвикани от фронтални слоести облаци, за които корелацията между яркостна температура на върховете и валежите не е така добре изразена.

Микровълновата яркостна температура, наблюдавана от сателитите, расте или намалява с увеличаване интензивността на валежите в зависимост от честотата на наблюдение и микрофизичните свойства на облака. Нека имаме идеален валежен облак, съдържащ валежни капки под нивото на замръзване и ледени частици над него. В първо приближение, без отчитане на обмена на

радиационна енергия, яркостната температура T_B приета от сателита според [3] има вида:

$$T_B \approx T_S \left[1 - e^{-2\tau_w} (1 - \epsilon_S) \right] e^{-\tau_i}, \quad (1)$$

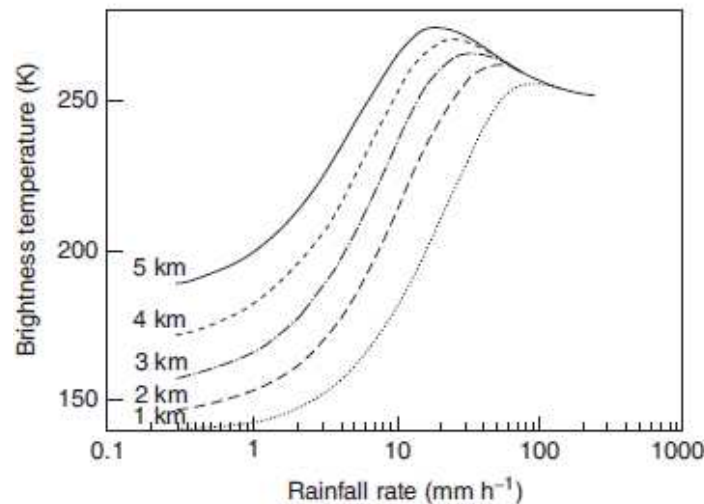
където T_S е повърхностната температура, τ_w и τ_i са оптичните дебелини за водни капки и ледени кристали и ϵ_S е излъчвателната способност на повърхността. За обичайно използваните микровълнови честоти $\epsilon_S \approx 1$ за сушата и $\epsilon_S \approx 0,5$ за водна повърхност.

За **ниски честоти (<20GHz)** разсейването от ледени частици е малко и $\tau_i \approx 0$. Тогава:

$$T_B \approx T_S \quad \text{над сушата;} \quad (2a)$$

$$T_B \approx T_S \left[1 - e^{-2\tau_w} (1 - \epsilon_S) \right] \quad \text{над океана.} \quad (2b)$$

Следователно дъжд над сушата не може да се регистрира, заради голямата ѝ отражателна способност. Що се отнася до океаните, там малките временни или пространствени вариации на яркостната температура могат да се припишат на изменения в оптичестката дебелина на валежните частици, т.е. на интензитета на пълното количество валеж. Следователно яркостната температура дава директна индикация за интензитета на валежи, което се наблюдава на фиг 5б за честота 19 GHz. Ако се построи зависимостта между яркостната температура и интензитета на валежа за различни нива на замръзване се вижда, че яркостната температура расте с увеличаване интензитета на валежа докато достигне зоната на насищане. Оттам нататък, ако интензитета на валежа продължи да расте, яркостната температура започва да намалява, т.е. по-интензивните валежи няма да бъдат регистрирани.



Фиг. 6. Зависимост между яркостната температура и интензитета на валежа за различни нива на замръзване. Вижда се ефекта на насищане на повърхностната температура с увеличаване на интензитета на валежа.

За **високи честоти (> 80 GHz)** разсейването от ледени частици във височина не може да се пренебрегне, а е доминиращо. Обратно, оптичестката

дебелина за водните капки е толкова голяма, че $e^{-\tau_w} \approx 0$. Яркостната температура тогава намалява с увеличаване на оптичската дебелина на ледените частици:

$$T_B \approx T_S e^{-\tau_i}.$$

Сечението за разсейване на ледените частици е пропорционално на d^6 (d - диаметър на ледените частици), т.е най-големите и тежки частици допринасят най-много за τ_i . Следователно, ниска яркостна температура при високи честоти показва големи ледени частици във височина, което води до силни валежи при земната повърхност. В сравнение с ниските честоти, тази температура е относително индиректна индикация на валежите.

4. Заключение

Сателитните изображения са неизменна част от съвременната метеорологична прогноза, показваща в развитие метеорологичните елементи и явления. Тенденциите в тяхното развитие е свързана, от една страна с комплексното използване на пасивни изображения във видимия, инфрачервения и микровълновия диапазон, а от друга страна с оборудването на сателитите с ниски полярни орбити с радари в тези диапазони, особено микровълновия заради голямата му проникваща способност. Тъй като ще са необходими голям набор от данни, очевидно ще се разчита на международното сътрудничество.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Stephens Gl (1994). Remote sensing of the Lower Atmosphere, An Introduction. Oxford: Oxford University press, p. 52
- [2]. Holton, J. R. (2004). Dynamic Meteorology. Elsevier. p. 347.
- [3]. Guosheng Lui(2003), Encylopedy of Atmospheric science, Elsevier. p. 1979

ПРИЛОЖНА ГЕОФИЗИКА В ДЕЙСТВИЕ

Миглена Янкова¹, Християн Цанков², Атанас Кисъов³

¹ Геологопроучвателен факултет, Минно-геоложки университет „Св.Иван Рилски“, гр.София, ул. „Боян Каменов“, e-mail: miglenayankova@gmail.com

² Геологопроучвателен факултет, Минно-геоложки университет „Св.Иван Рилски“, гр.София, ул. „Боян Каменов“, e-mail: ch.tzankov@gmail.com

³ Геологопроучвателен факултет, Минно-геоложки университет „Св.Иван Рилски“, гр.София, ул. „Боян Каменов“, e-mail: at.kisyov@gmail.com

Ключови думи: приложна геофизика, геофизични методи на изследване, електросъпротивителни методи, георадарен метод, магнитопроучване, капаметрични измервания, гравипроучване, сеизмопроучване

1. Увод

Приложната геофизика е самостоятелно научно-приложно направление в науките за Земята. [1]. В световната практика под понятието „приложна геофизика“ е прието да се разбират различните научно-приложни направления, в които геофизичните изследвания са средство не само за изучаване на земните недра, но и за решаването на редица проблеми, непосредствено свързани с търсенето и проучването на находища на полезни изкопаеми, разрешаването на редица задачи на инженерната геология, хидрогеологията, минното дело, екологията, строителството, археологията и др.

2. Основни методи и тяхното приложение

При геофизичните методи се изучава разпределението на различни физични полета. Това разпределение зависи от характеристиката по един или повече физически параметри на средите, които изграждат конкретното пространство. Следователно основна предпоставка за ефективното прилагане на геофизичните методи е диференциацията на скалите по физични параметри. Основната част от геофизичните методи са косвени методи - при тях се изучават физични параметри, а косвено се съди за различни геоложки характеристики. Геоложката ефективност на конкретен метод или комплекс от методи е толкова по-голяма, колкото по-тясна е връзката между физичните параметри, които формират полетата и изучаваните геоложки характеристики. [1]. Затова от първостепенно значение за проектирането на геофизичните проучвания и анализа (интерпретацията) на получените данни е доброто познаване на диференциацията на скалите и полезните изкопаеми по физични свойства.

Трябва много добре да се знае влиянието на различните фактори и главно влиянието на веществения състав и текстурата на скалите върху тези свойства.

Електросъпротивителни методи

Разпределението на постояннотоковите полета зависи от специфичното електрично съпротивление ρ на средите които изграждат изследваното пространство. Затова методите, които изучават тези полета, се наричат електросъпротивителни методи.

Методиката при изпълнението на тези методи е следната: постоянен ток се пропуска чрез заземители (метални шишове), които се забиват в земята. Те се наричат токови електроди и с достатъчна точност се приемат за “точкови” източници на ток. Токът се разпространява само в земята, защото въздухът има практически безкрайно голямо специфично електрическо съпротивление. Измерванията при електросъпротивителните методи се свеждат до измерване на тока I в захранващата верига и на потенциалната разлика ΔU в измервателната верига.

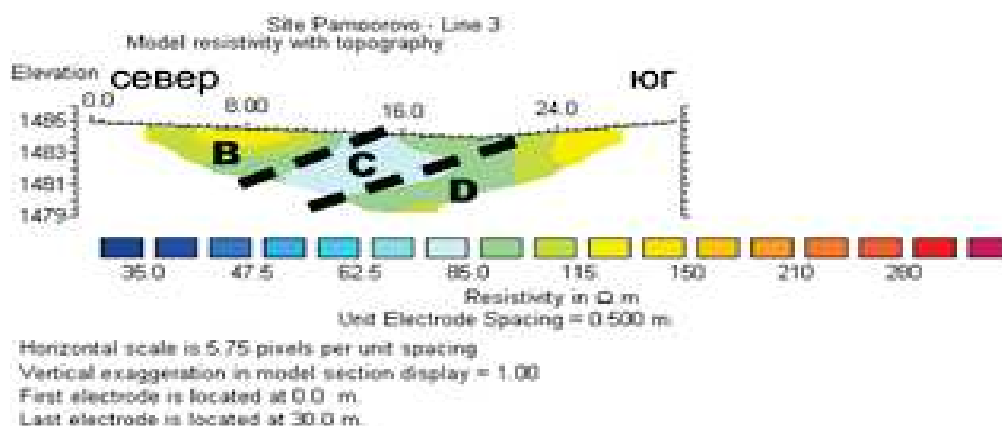
Апаратурата, с която се правят измерванията, е показана на фиг.1 – Terrameter SAS 1000. Тя работи с изходно напрежение 450 V и максимален изходен ток 1000 mA. Състои се от предавател, приемник и микропроцесор, обединени в едно тяло. Към тялото се включват кабели, които се разпъват по профилна линия, а към тях посредством щипки се захващат електродите (токови и приемни).



Фиг. 1. Снимка на измервателната апаратура и техническото оборудване, използвани при електросъпротивителни измервания.

Резултатите от електросъпротивителните методи се представят най-често под формата на профили и карти на разпределението на привидното съпротивление. На фиг. 2 е показан именно един такъв профил. Изследваната са

проведени на територия попадаща в район с много сложен геоложки строеж и тектоника.



Фиг. 2. *Разпределение на електричното съпротивление по профил.*

Електросъпротивителна среда - зона В, има най-високи стойности на електричното съпротивление. Тя маркира изветрялата и неводонаситена част на скалния масив от палеогенски пясъчници.

Електросъпротивителна среда - зона С, се характеризира с относително ниски стойности на електричното съпротивление спрямо зона В. Зона С очертава изветрялата водонаситена част от палеогенските пясъчници, която е частично засегната и от тектонски процеси. Нейната ос най-вероятно проследява пространственото положение на границата между пясъчниците и мраморите. (фиг. 3)

Електросъпротивителна среда - Зона D се характеризира с относително високи стойности на електричното съпротивление спрямо зона С. Тази зона картира здравия скален масив. [2]



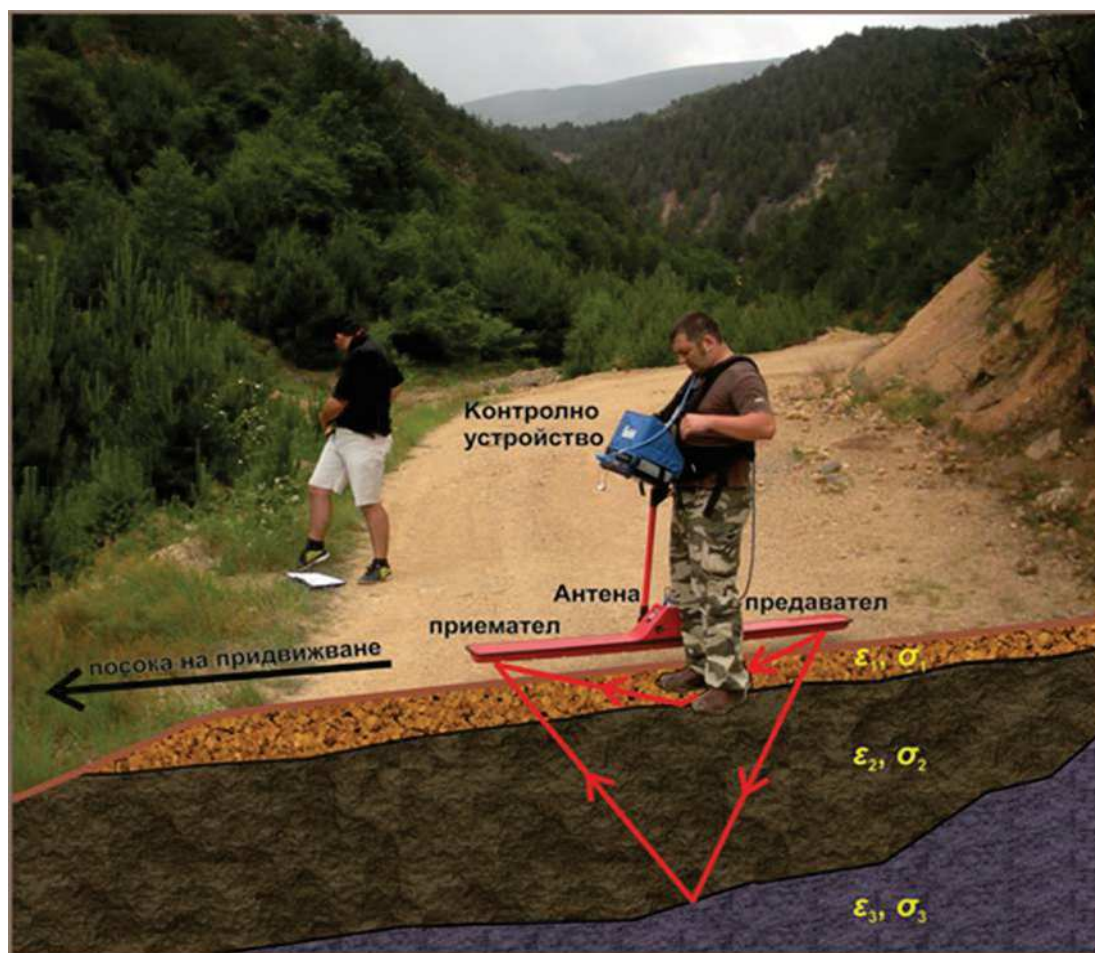
Фиг. 3. *Разкритие на контакта между пясъчници и мрамори.*

Георадарен метод

Физичната основа за прилагане на георадара в практиката се обуславя от наличието на контраст в диелектричните свойства на проучваната среда и/или търсените обекти.

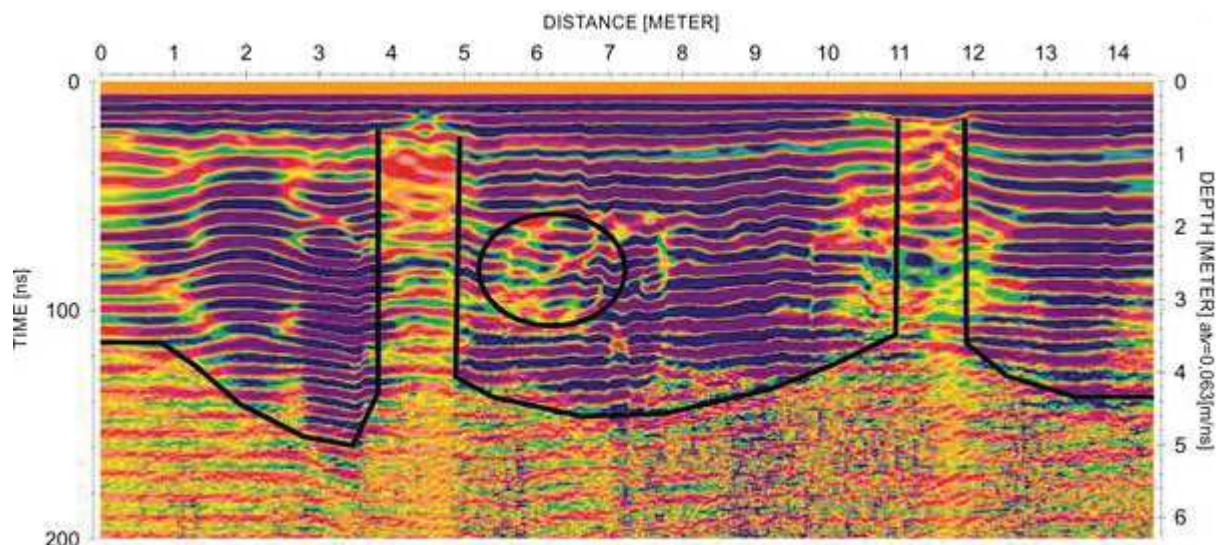
При този метод се излъчват електромагнитни вълни в изследваната среда, приемат се отразените от елементите на средата сигнали и се анализират получените георадарни данни. Изследванията се провеждат сравнително просто, като натрупаната в процеса на работа информация подлежи на компютърна обработка. Полученото в резултат на проведените измервания и допълнителна обработка изображение дава представа за размерите и пространственото положение на скритите обекти и/или аномални структури.[3]

Уредът, с който се правят измерванията, се нарича георадар (GPR). Най-общо погледнато, георадарът се състои от командно устройство, кабели, антена (предавател и приемник) и захранване. (фиг. 4)



Фиг. 4. Снимка от прилагане на георадарния метод с обозначени елементи на апаратурата.

Георадарът е удобен и ефективен геофизичен метод, с който се провеждат бързи и точни изследвания на подповърхностното пространство. Използва се за изследвания на вертикални разрези с висока разделителна способност (фиг. 5).



Фиг. 5. Обработена радарграма, от която са разчетени две вертикални шахти над подземно съоръжение с разуплътнена зона между тях (елипсата).

Магнитопроучване

Магнитопроучването се основава върху формирането на магнитни аномалии от “смутители” (скали, полезни изкопаеми и др.) с аномални магнитни свойства спрямо вместищата ги среда.

За целите на магнитопроучването се извършват относителни измервания на Т (тотален вектор на интензитета на геомагнитното поле), Z (вертикална компонента) и Н (хоризонтална компонента). При този вид измервания се определя разликата между измерваната величина в точките на измерване (1, 2,, j,) спрямо избрана базова точка, т.е. определя се относителната стойност на всяка j-та измервателна точка спрямо друга точка, наречена базова. [1]

В съвременното магнитопроучване най-широко приложение намират протонните магнитометри. С тях се измерва тоталния вектор на земното магнитно поле. Използва се влиянието на геомагнитното поле върху прецесията на атомното ядро. Както е известно, атомното ядро притежава механичен момент на въртене (спин), който обуславя неговия магнитен момент. Земното магнитно поле влияе върху честотата f на прецесионното движение.

На фиг. 6 е показан магнитометър GSM-19T на фирма GEM Systems, Inc. А на фиг. 7 - снимка от провеждането на изследване по магнитния метод на археологически обект в ИАР „Сборяново“ от катедра „Приложна геофизика“ на Минно-геоложки университет, през 2014г. [4].

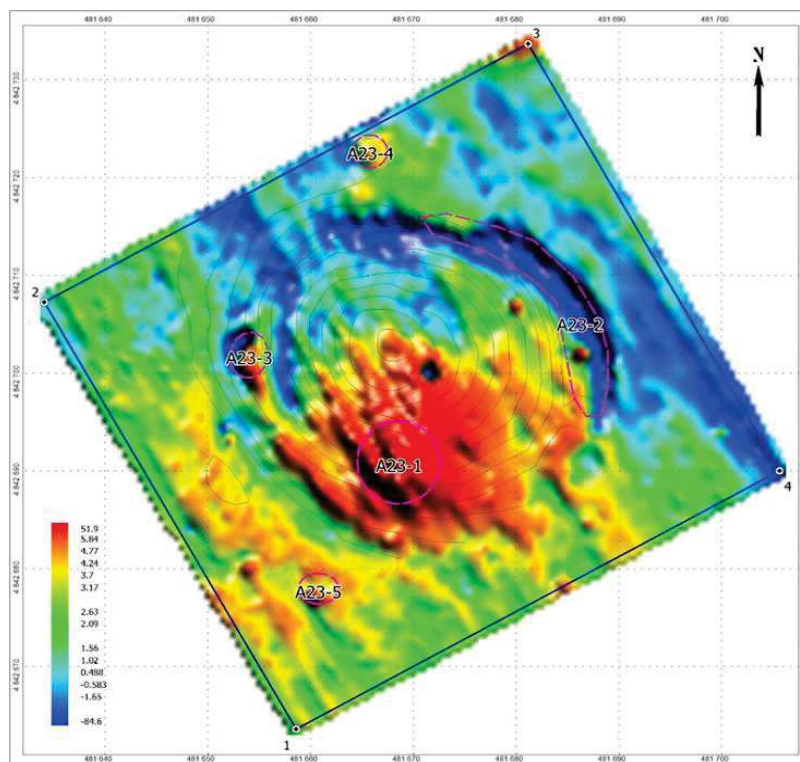


Фиг. 6. *Магнитометър GSM-19T на фирма GEM Systems, Inc.*



Фиг. 7. *Момент от провеждането на магнитопроучването на археологически обект в ИАР „Сборяново“.*

По създадените геомагнитни карти на този обект ясно се набелязват няколко характерни особености на разпределението на аномалното поле очертани на представената по-долу фиг. 8. Добре изразеният максимум, локализиран южно от центъра на около 10 m от центъра на могилата, е отбелязан като аномалия A23-1. Голямата площна засебеност на аномалията и широкият диапазон на изменение на полето (от -30 nT до 20 nT за Ta1) говорят за наличието на обект/и със силно изразени магнитни свойства на сравнително голяма дълбочина. Първоначалните предположения бяха свързани с наличието на железни предмети, огнище, структура от скали с високо съдържание на фемични минерали и/или струпване на голямо количество керамика. [4]



Фиг. 8. *Хистограмно изравнена карта на аномалното магнитно поле на археологичен обект в ИАР „Сборяново“ с наложени аномални зони съгласно направената качествена интерпретация на полето*

Последвалите разкрития на дълбочина до над 6 m от върха на могилата (4 m под кота терен) донесоха много положителни емоции и удовлетворение на целия екип, свързан с геофизичните, изкопните и археоложките работи. Бяха намерени горели кости заедно с няколко фрагменти от амфора; бе разкрит правоъгълен цветен олтар (есхара), около който бяха концентрирани разнообразни обредни дарове. В центъра на есхарата бе открит уникален железен канделабър с форма на палмово дърво и изящна украса (фиг. 9).



Фиг. 9. *Разкритият и частично консервиран уникален железен канделабър с форма на палмово дърво и изящна украса, разположен непосредствено до есхарата (долу вляво).*

За да се постигне по-добра диференциация и интерпретация на наблюдаваните при магнитните работи аномалии и аномални зони, се извършват и капаметрични измервания. Те се извършват основно с цел да бъде направена характеристика на най-често срещаните материали в рамките на проучваните обекти. Магнитната възприемчивост χ е безразмерен параметър, който характеризира способността на веществата да се намагнитват под действие на външно магнитно поле. Магнитната възприемчивост χ на скалите зависи от техния минерален (веществен) състав. На същият археологичен обект са извършени в капаметрични измервания в отделни точки от повърхността, на участъци с разкрития от насипния материал (фиг. 10), както и върху характерни за района строителни материали, от които са изградени погребалните камери, помещенията и др.



Фиг. 10. Моменти от провеждането на капаметрични измервания на археологичен обект в ИАР „Сборяново“ [4]

Гравипроучване

Гравипроучването изучава аномалиите на полето на силата на тежестта, свързани с плътностни нееднородности. В измерените относителни стойности на силата на тежестта по земната повърхнина се включва освен влиянието на аномалните по плътност скални маси, така също и влиянието на други фактори, като:

- различните височини на точките на измерване;
- нормалното изменение на силата на тежестта в зависимост от географската ширина;
- масите на земния релеф (спрямо височината на измервателната точка).

За да се използват за нуждите на геологията стойностите трябва да се коригират, така че да остане само влиянието на геоложките фактори (плътностните нееднородности). Това се постига като в стойностите се внасят необходимите поправки:

- 1) поправка за височина (поправка за свободен въздух; поправка на Фай);

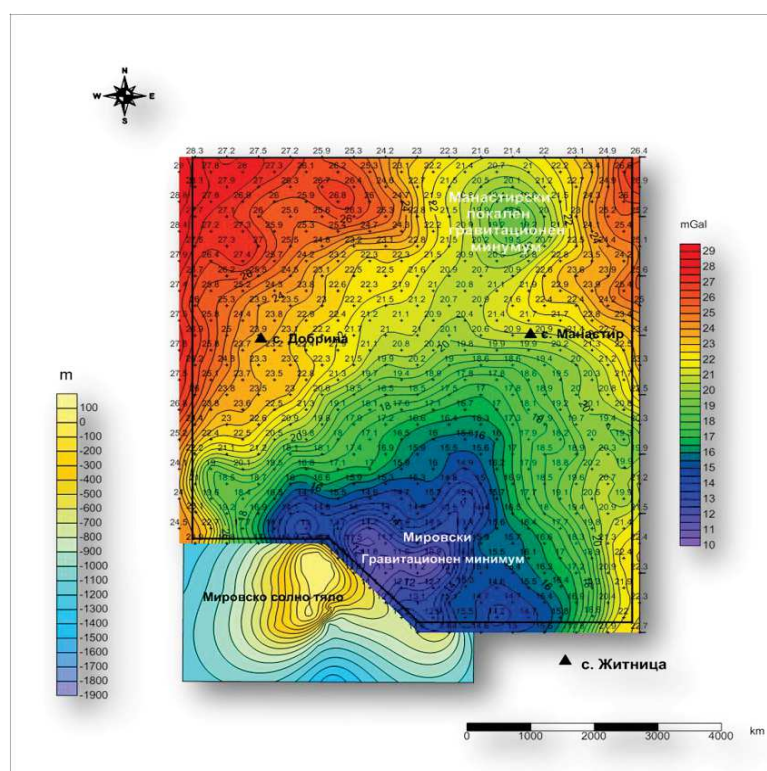
- 2) поправка за междинен материален слой;
- 3) поправка за релеф;
- 4) поправка за нормален градиент (поправка за географска ширина).

Гравипроучването се основава върху формирането на гравитационни аномалии от “смутители” (скали, полезни изкопаеми и др.) с аномална маса, т.е. с аномална плътност спрямо вместищата ги среда.

Уредът, с който се извършват измерванията, се нарича гравиметър.

Въз основа на данните от гравиметричните измервания, след внасяне на необходимите поправки, се съставят профили и карти на разпределение на Δg .

На фиг. 11 е показана карта на разпределението на Δg над Мировското солно тяло, на която солното тяло е много добре очертано от гравитационен минимум.[5]



Фиг. 11. Карта на аномалиите Буге в района на с. Манастир, с. Добрина и с. Житница, общ. Провадия.

Сеизмопроучване

Сеизмопроучването се основава върху диференциацията на скалите по скорост на разпространение на сеизмичните вълни.

При сеизмопроучването се създават сеизмичните колебания чрез взрив, удар с чук, синхронизиране на група вибратори и др.(фиг. 12)

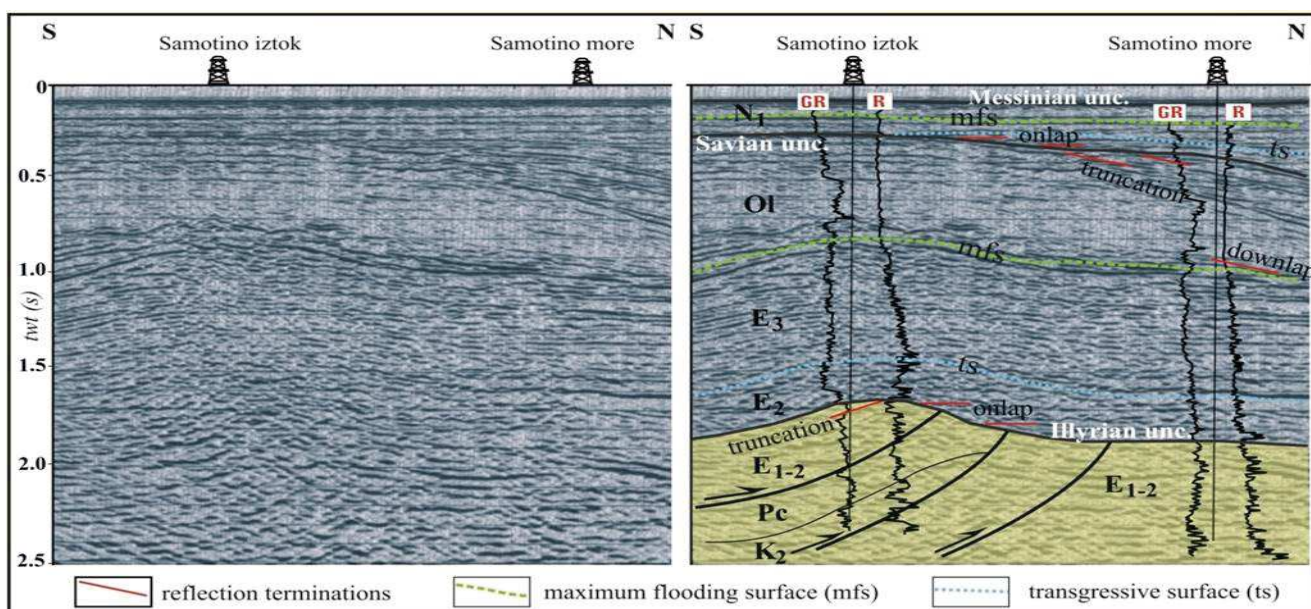


Фиг. 12. Възбуждане на сеизмични вълни посредством удар с чук (ляво); синхронизация на група вибратори (дясно).

От пункта на възбуждане сеизмичните вълни се разпространяват в дълбочина и когато срещнат граница между скали (пластове) с различни еластични свойства енергията им се преразпределя в отразена и пречупена вълна.

Измерванията се свеждат до регистриране в точки, разположени на различни разстояния от пункта на възбуждане, на “трептенията”, предизвикани от сеизмичните вълни. Тези трептения се регистрират от сеизмоприемници. В сеизмопроучването се регистрират едновременно трептенията в редица точки на наблюдение. За тази цел се използват многоканални сеизмични станции.

Сеизмопроучването в наземен и морски вариант е основен метод при търсене и проучване на нефтени и газови находища. В резултат от неговото провеждане се получават сеизмограми, в които след внасяне на необходими корекции и допълване на данните от сондажни проучвания, се получават следните интерпретирани сеизмични разрези фиг. 13 [6].



Фиг. 15. Фрагмент от сеизмичен разрез, на който е показана корелацията между каротажните криви от прокараните сондажи и основните сеизмични отразителни граници.

3. Заключение

Геофизичните методи са бързи, безопасни, високоточни и неразрушителни.

Прилагат се за решаване на задачи в геологията и хидрогеологията, минното дело, екологията, строителството и инфраструктурни изследвания, картирането на подземни съоръжения; археологията, криминалистиката, военното дело, гласиология и др.

ЛИТЕРАТУРА

[1] ДИМОВСКИ, С. Ръководство за практически занятия по приложна геофизика. – София : ИК Св. Иван Рилски, 2003, 184 с

[2] ДИМОВСКИ, С. Електротомографски изследвания на геоложката среда. –Автореферат на дисертация за получаване на научната степен " Доктор на геологическите науки ", София, 2010, 68 с.

[3] ЦАНКОВ, Х. и др. Георадарът навлиза широко в полевата геофизиката. Минно дело и геология, 68, 2013, №5-6, 31-35 с..

[4] Цанков, Х. и др. Геофизични изследвания за целите на археологията в археоложки резерват „Сборяново“ през есента на 2014 г. 7-ма национална конференция с международно участие, 20-23 май 2015, София, България (CD-ROM), под печат

[5] Цанков, Х. Разработване на алгоритми, програми и методика за моделиране и интерпретация на гравитационни аномалии в интерактивен режим. –Автореферат на дисертация за получаване на ОНС „Доктор“, София, 2013, 60 с.

[6] Dimitrov, H., Georgiev, G. 2011. Correlation between main seismic sequence boundaries in Kamchia basin (offshore Bulgaria) and Western Black Sea basin. In: 73rd EAGE Conference & Exhibition incorporating SPE EUROPEC, 23-26 May 2011, Vienna, Austria, Extended

ПО СЛЕДИТЕ НА ЕНЕРГИЯТА

Ива Митева¹ и Пламена Колева²

¹ МГУ "Св. Иван Рилски" ЕООС, ул. "проф. Боян Каменов", София 1700,

e-mail: ivcheto_95@abv.bg

² МГУ "Св. Иван Рилски", Биотехнологии, ул. "проф. Боян Каменов", София 1700

Резюме. В този доклад са представени най-новите тенденции в областта на енергетиката. Засегната е една изключително разисквана тема, която все повече и повече добива популярност, а именно - неизчерпаемите източници на енергия. Изброяват се наличните и познати източници като – Слънце, вода, вятър, биомаса, геотермална енергия и водород. Начинът, по който човекът възприема и развива своите ресурси, е показателен за напредъка на човечеството и осъзнаването на нуждата за опазване на природата

Ключови думи: енергия, източници на енергия, ресурс

В наши дни нуждата от възобновяеми и неизчерпаеми източници все повече се налага, тъй като в много близко бъдеще количеството традиционни горива като петрол и въглища значително ще намалее, а това само ще доведе до оскъпяването им. Решението на този проблем изисква да са насочи вниманието към съвременните технологии и начинът, по който те могат да спомогнат за опазването и съхраняването на природата!

Източниците на енергия се делят на два вида - първични и вторични. Първичните енергийни източници са ресурсите с потенциална енергия, намиращи се непосредствено в природата - Слънце, вятър, реки, планински езера, приливи и отливи, излъчвана от Земята топлина, въглища, природен газ, нефт, уран, микроорганизми, биомаси. Вторичните енергийни източници са плод на извършени от човека преобразувания чрез прилагане на технологични иновации за превръщане на първичните енергийни източници в по-добре отговарящи на неговите потребности и по-изгоден продукт. Такъв е случаят с геотермалната енергия. Това е енергия, получавана от земната топлина. Тя се прихваща на няколко метра дълбочина в земната кора чрез геотермална топлинна помпа, а в някои райони на Земята може да бъде прихващана и на дълбочина до няколко километра.

Изкопаеми горива

Изкопаемите горива произлизат от динозаврите, мидите, растенията, водораслите и различните микроорганизми, които чрез процес, продължаващ милиони години са се превърнали във вкаменелости. При процеса на изгаряне

изкопаемите горива освобождават натрупаното в себе си огромно количество физична и химична енергия. Използват се най-широко в термоелектрическите централи. При изгарянето им се отделя във въздуха серен диоксид, прахове, азотни оксиди, въглеродни оксиди или въглероден диоксид.

Слънцето и Слънчевите централи

Използването на Слънцето за енергийни цели е познато от древността. То е най-големият напълно възобновяем ресурс за производство на електроенергия, което е свързано с два факта: първо – дефицитността на конвенционалните енергогорива и второ, но не по-малко важно – напълно природосъобразното производство на електричество. Протичащите в Слънцето термоядрени реакции водят до отделяне на лъчиста енергия, която се предава на цялото заобикалящо го космическо пространство.

Слънчевата енергия, достигаща до земната повърхност, се равнява на 80 000 милиарда тона петролен еквивалент и това води до заключението, че Слънцето би могло да покрие 10 000 пъти енергийните нужди на цялото човечество.



Фиг. 1. Действащи слънчеви панели (а)



Нанасяне на „слънчева боя“ върху панелите (б)

Съществуват няколко начина за директно оползотворяване на енергията от Слънцето, но за най-перспективен се счита получаването на ток директно от слъчевата светлина чрез фотоволтаични (PV) панели (фиг. 1а). Събирайки произволен брой панели на едно място, може да се изгради фотоволтаична електроцентрала - ФЕЦ, с произволна мощност – до няколко гавата. Вече и в България ФЕЦ с мощности над 1 MW не са рядкост.

Изобретено е едно ново творение, наречено слънчева боя (фиг. 1б). Инженери от университета Остин в Тексас изобретиха соларен нано спрей. В основата на боята стоят нанокристали - комбинация от елементите мед, индий, галий и селен (CIGS), поставени в специален разтворител. Новото соларно мастило може да бъде нанасяно върху най-различни повърхности - хартия, метал, дърво, стъкло, керамика и дори плат. Тази слънчева боя ще има същите функции като големите фотоволтаични соларни колектори върху сградите и слънчевите централи по света. При тях основният пласт, който абсорбира и

преобразува светлината, е покрит от двете страни с метални повърхности, които извличат образувания заряд.

Вятърът и вятърните паркове

Вятърът се образува от слънчевата топлина, която неравномерно нагрява атмосферата, земната повърхност и океаните. Топлият въздух се изкачва нагоре, а студеният слиза надолу, в резултат на което се преместват големи въздушни маси.



Фиг. 2. Ветропарк.

При вятърната централа енергията на вятъра задвижва перките и апаратурата я превръща от кинетичната енергия директно в електрически ток. Механизмът на вятърната перка е същият като този на хартиената въртележка (фиг. 2).

Разположението на ветрогенераторите се изчислява много внимателно, не само, за да се използват възможно най-добре вятърните течения, но и за да не загрозяват пейзажа и да не пречат на маршрута на

прелетните птици. Най-подходящите зони за инсталиране на вятърни паркове са билата на хълмовете, ветровити долини и крайбрежни зони. За да може ветрогенераторът да бъде задвижен, вятърът трябва да бъде постоянен и да развива скорост поне $3\div 4$ m/s.

Водата и водноелектрическите централи

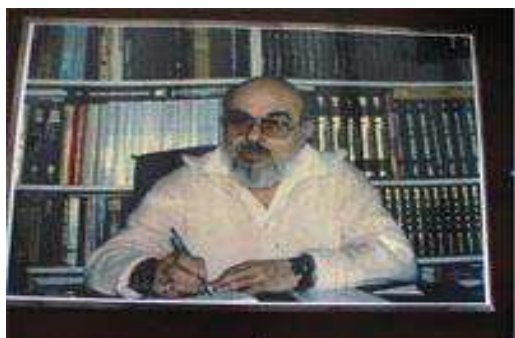
Водноелектрическите централи се изграждат в основата на язовирни стени, за да използват високото налягане на водата, което се образува в основата на водния басейн и с неговата енергия се задвижват турбините, произвеждащи електроенергия.

Кинетичната енергия на водата се получава от преобразуване на потенциална гравитационна енергия, т.е. от потенциалната енергия, която определена водна маса губи при пад или изтичане под наклон.

Електроенергията, произведена от ВЕЦ-овете, е много по-евтина. Струва около $1/4$ от необходимото за производство на слънчева енергия и $1/2$ от необходимото за производство на вятърна енергия.

Оксидиращият газ или още наречен “Браун газ” е получен чрез електролиза на водата, при която водородът и кислородът се разделят. Резултатът е стабилен горивен газ, създаден само от вода и който отделя само вода вследствие на горене. Когато двата газа се смесят, дори и под налягане, те не експлодират, а се смесват съвсем естествено. Уникалността на газа е в това, че той няма определена температура на горене. Когато гори, той реагира според

материалите, с които е в контакт. Във въздуха може да гори при 230°C , но като е в контакт с твърд метал, може да го пробие с температура над 6000°C . Поради това негово свойство е познат като „интелигентният газ”. Неговото приложение



Фиг. 3. Създателят на Брауновия газ - Илия Вълков.

в икономиката е като заместител на горивото. Браун газ може да се използва за бойлери, машини за рязане на метал и дори в двигатели с вътрешно горене, което би намалило вредните емисии с 90%.

Изключително горди трябва да сме с факта, че този уникален газ е измислен от българина Илия Вълков, всеизвестен като Юл Браун (фиг.3).

Биомаса

Биомаса се нарича всяко органично вещество, растително или животинско, предназначено за производство на енергия. Тя представлява форма на акумулиране на слънчева енергия, като част от приетата слънчева енергия се запазва в растенията под формата на химическа енергия, която растенията отдават обратно когато ги горим.

При организирана ферментация на биологични продукти в анаеробна (без наличие на кислород) среда се получава горивен газ, наречен биогаз (фиг. 4). Най-разпространени са биодизел, биоетанол и метан.



Фиг. 4 Различни видове биогазове.

Етанолът е алкохол, който се получава от ферментирането на всяка биомаса, богата на въглехидрати (като царевицата) чрез процес, подобен на този на получаването на бира. Етанолът се използва предимно като добавка към горивото за намаляване на въглеродния моно-оксид отделян от превозното средство, както и на други емисии, причиняващи смог.

Биодизелът е вид естер, който се получава от растителни масла, животински мазнини, водорасли, или дори рециклирани готварски мазнини. Той може да се използва като добавка към дизела за намаляване на емисиите на превозното средство или в чиста форма като гориво.

При разлагането на гниеци органични отпадъци се отлага въглероден диоксид и метан. Той е мощен газ и при изгарянето му се получава голямо количество енергия. Газът задвижва турбина, подобна на двигателя на реактивния самолет с тази разлика, че тя завърта електрически генератор вместо перките на самолета. От разлагането на биомасата в сметищата също се произвежда газ – метан, който може да се гори в парен котел за произвеждането на пара за генериране на електричество или за промишлени цели.

Биомасата по света

- Използвайки местни производствени отпадъци, в Холандия се провежда експеримент с централа, в която въглищата са заменени с пресовани обелки от кафе.
- В Австралия се произвежда електричество от банани! Проучване е доказало, че при анаеробна ферментация на 40 000 тона бракуван плод може годишно да се произвежда електроенергия, достатъчна за хранване на 500 жилища.
- От 2001г. в Испания се произвежда електричество и от отпадъчни продукти при производство на зехтин. Благодарение на задържащата се мазнина, тази биомаса гори лесно при намалени замърсяващи емисии.

Геотермия и геотермални централи

Геотермия е наука, изучаваща източниците на **топлинна енергия** в земните недра и разпределението на температурата в земните слоеве. В разговорния език думата **геотермия** е по-популярна като процес на **извличане на топлинна енергия от земните недра чрез термопомпи** и използването на тази енергия за отопление на сгради. Ресурсите на геотермална енергия се простират от малки дълбочини до горещите води и скали, намиращи се на няколко мили под земната повърхност и дори още по-дълбоко - до изключително високите температури на разтопените скали. Геотермалната енергия е топлинна енергия в разтопената магма в ядрото на Земята. Топлината достига до повърхността на Земята чрез топлинната проводимост и навлизането на магмата в земната кора. Достигайки повърхността магмата се превръща в лава, в повечето случаи обаче остава под земната кора като нагрива скалите и водата, които се намират в близост до нея. Известно количество от нагрятата вода минава през пукнатини и достига повърхността на Земята под формата на горещи извори и гейзери.

Геотермалните отоплителни системи доставят топлина като изпомпват с помпи геотермална вода от кладенци, сондирани в геотермален водоизточник. От там геотермалната вода преминава през топлинен преобразувател, който извлича топлината от нея и с тази топлина се загрява друга вода, която по тръби



Фиг. 5. Геотермална централа.

отива за отопление на сгради. След като премине през топлинния преобразувател, геотермалната вода се инжектира обратно във водоизточника, където отново се затопля и се използва повторно (фиг. 5). Горещата вода близо до земната повърхност може да бъде използвана директно за отопление. Преките приложения включват отопляване на сгради, отглеждане на растения в оранжерии, сушене на земеделски култури,

затопляне на вода в рибарници и някои промишлени процеси като пастеризирането на мляко.

Енергията, която се съдържа в естествената гореща вода, се нарича хидротермална енергия. Там където има само горещи сухи скали, е възможно да се инжектира вода, след което горещата вода или парата могат да бъдат използвани за производство на хидротермална енергия.

Съществуват и така наречените бинарни електроцентрали. Резервоар с температура от 120°C до 180°C не е достатъчно горещ, за да образува достатъчно пара, но въпреки това може да се използва за производство на електричество в бинарна електроцентрала. В бинарната система геотермалната вода преминава през топлинен преобразувател, където топлината ѝ затопля втора течност като изопентан, който замира при по-ниска температура от водата. При нагряване втората течност се трансформира в пара, която задвижва турбината и се охлажда, втечнява се, а след това наново се загрява. Така се използва многократно. В този затворен цикъл няма вредни емисии във въздуха.

Водород

Въпреки простота си и широко си разпространение, водородът не се среща естествено под формата на газ на Земята - той винаги е свързан с други елементи. Водород може да се получи от въглеводороди, чрез голямо количество топлина, процес познат като "ре-формиране" на водород (фиг. 6). Чрез друг метод с използване на електрически ток също е възможно разпадането на водата до



Фиг. 6. Система за получаване на водород с използване на слънчева енергия.

съставните ѝ компоненти: кислород и водород. Някои водорасли и бактерии, които използват слънчевата светлина като основен източник на енергия, при определени обстоятелства отделят водород. Водородът е богат на енергия и освен това двигател, който изгаря чист водород, почти не замърсява околната среда. НАСА още от 70-те години използва течен водород за извеждане на совазки и други ракети в орбита. Камерите на водородното гориво захранват електрическите системи на совазката, при което се отделя чист биологичен продукт - чиста вода, която се пие от екипажа. Може да се мисли за горивната камера като за батерия, която постоянно се зарежда чрез добавяне на гориво - тази батерия никога не се изтощава.

Диамант

В парка „Вила Демидов“ в Пратолино местната администрация на Флоренция и Енел показаха първия пример за напредничава централа-Диамант. През деня енергията от Слънцето се хваща от фотоволтаичните панели и се преобразува в нисковолтажна енергия за потребление. Излишната енергия се прехвърля в електризатор, който разделя водата на кислород и водород. След това водородът се съхранява в специален резервоар.

Произведената, неизползвана и съхранена през деня енергия, през нощта се използва от енергийни клетки, които трансформират химическата енергия на водорода в електрическа и гарантират постоянно енергийно захранване на потребителите. Построен от стъкло и стомана, „Диамантът“ е висок 12 m и широк 8 m и се сглобява бързо и лесно.

Заклучение

Научавайки новостите в енергетиката, ние разбираме колко неограничени възможности има пред нас. Темата за енергията може да обедини млади поколения от различни националности, преодолявайки географските граници. Важно е да се повишава съзнанието на младите хора, в чиито ръце е бъдещето на света, по въпросите на устойчивото развитие, енергийната ефективност и значимостта на научните изследвания. Необходимо е по-добро осмисляне от страна на обществото на това колко важно е да използваме своя енергиен „капитал“ по разумен и целесъобразен начин.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] <http://inews.bg>
- [2] <http://www.multiclimate.bg>
- [3] <http://www.eco-energy-bg.eu>
- [4] <http://www.chambersz.com>
- [5] <http://ekozora.com>

СЛЪНЧЕВАТА И ВЯТЪРНАТА ЕНЕРГИЯ „ДА ПОГЛЕДНЕМ НА СВЕТА С ДРУГИ ОЧИ”

**Илияна Гарванова¹, Милен Момчилов¹, Румениге Юруков¹, Михаел
Александров¹, гл.ас. Юлия Илчева²**

¹ МГУ ”Св. Иван Рилски” “Хидрогеология и инженерна геология” – 1 к, ул. "проф. Боян Каменов", София 1700

² МГУ ”Св. Иван Рилски”, ул. "проф. Боян Каменов", София 1700

1. Увод

През последното десетилетие редица световни и регионални организации с голяма загриженост поставят проблемите за състоянието на природата и човешкото общество. Глобалните екологични проблеми обхващат природата като цяло и човешкото общество на планетата и непрекъснато създават опасности за тяхното развитие и съществуване. Ограничаването на неблагоприятните тенденции може да се постигне чрез ново отношение и поведение на човека към природата. Смисълът на това ново географско поведение е вложен в основния девиз на географската харта на света „Мисли глобално, а действай локално“.

Рядко в днешно време се замисляме за природата, част от която сме и самите ние. Колко по-добре бихме живели чрез помощта на технологиите, които ни заобикалят, и колко по-щастливи бихме били без всички тези иновации в технологиите? Дори и с малко помощ от човешка ръка, черпенето на енергия от природата би подпомогнало разрешаване на някои глобални проблеми, застрашаващи света ни. Създадена е техника, чрез която се събира и използва в ежедневието ни слънчевата и вятърната енергия (както и много други видове природни енергии). Разгледани са една част от тях. Нека да погледнем на света с други очи!

2. Слънцето – източник на енергия

Слънчевата енергия е лъчиста енергия, произведена в Слънцето, в резултат от термоядрен синтез. За една година Земята получава от Слънцето около $1,96 \cdot 10^{21}$ kcal лъчиста енергия, която е около 10 пъти повече от всички нейни енергийни запаси, взети заедно. Почти същото количество енергия се излъчва от Земята обратно в Космоса - затова температурата ѝ не се различава от тази, необходима за съществуване на живота във вида, в който го познаваме (част от енергията, която Земята излъчва в Космоса, се получава от ядрен разпад). Слънцето не е просто източник на енергия - то е източник на нискоентропийна енергия. То излъчва фотони с енергия, която е по-висока от енергията на

фотоните, които Земята излъчва в Космоса. Животът на планетата е възможен, благодарение на ниската ентропия, която ни осигурява Слънцето. Температурата на слънчевата корона е 6000 °C. В резултат на процесите, които протичат в нея, към пространството и в частност към Земята, се излъчват видимата светлина, космически лъчи, инфрачервени, ултравиолетови и други лъчи от слънчевия спектър.

Използването на Слънцето за енергийни цели е познато от древността. То е най-големият напълно възобновяем ресурс за производство на електроенергия, не само на Земята, но и на всички планети и спътници в Слънчевата система. Не е тайна, че всички космически кораби и станции, изпратени от Земята, ползват за основен енергиен източник слънчева енергия. Мащабното използване на слънчевата енергия за производство на електричество означава оборудването на големи площи със съоръжения за „улавяне“ на слънчевите лъчи в регионите, където излъчването на нашия основен светлинен и топлинен източник е най-силно и където блестящите синкави ореоли биха пречили най-малко на населението. Получената по този начин електрическа енергия би могла да служи за разделяне на водата на водород и кислород, като полученият водород бъде транспортиран с кораби или магистрални тръбопроводи до потребителите. Специалистите предполагат, че това ще бъде осъществено до 2050 година. Слънчевата батерия трябва да стане по-ефективна, по-надеждна и преди всичко - да функционира по-икономично. При това в бъдеще размерът на елементарните части на батериите (клетките) ще играе решаваща роля. Благодарение на най-новите покрития с полупроводникови наночастици, чиято големина е само една милионна част от милиметъра, може да се очаква намаляване на разходите за производство на единица енергия да намалее в размер до 80% в сравнение с използваните днес силициеви технологии за производството на слънчеви батерии.

Друг вид използване на слънчевата енергия е този, с който се добива топла вода, пак чрез улавянето на слънчевите лъчи и тяхната топлинна енергия. В повечето случаи системите са съставени от два компонента: колектор и водосъдържател (бойлер). Тези системи се делят на два класа: пасивни и активни, като вторите предават топлината от колектора на бойлера активно: с помощта на захранвана с електричество помпа. Системите се делят също на сезонни и такива, които функционират цялгодишно, тъй като при вторите течността в колектора е незамръзваща. Ефективността на една система за оползотворяване на слънчевата енергия зависи най-вече от температурата навън, температурата, до която ще се нагрива водата, и количеството слънчева топлина, което достига до колектора - устройството, предназначено за улавяне на слънчевата енергия.

Слънчевите отоплителни системи са не само изгодна инвестиция за пестене на средства за отопление - те са модерен начин на мислене. Освен това, оползотворяването на слънчевата енергия за затопляне на вода за битови нужди е приложимо при почти всякакви климатични условия. Все повече потребители

- собственици на жилища и помещения в обществени сгради в световен мащаб използват слънчевата енергия за ефективно затопляне на вода за битови нужди при почти всякакви климатични условия. Научният физичен начин за отделяне и използване в бита на слънчевата енергия открива различни перспективи и за в бъдеще (фиг. 1). Разбира се, с всяка изминала година апаратите за извличане на енергията (слънчеви панели за извличане на соларна енергия) все повече се модернизират.

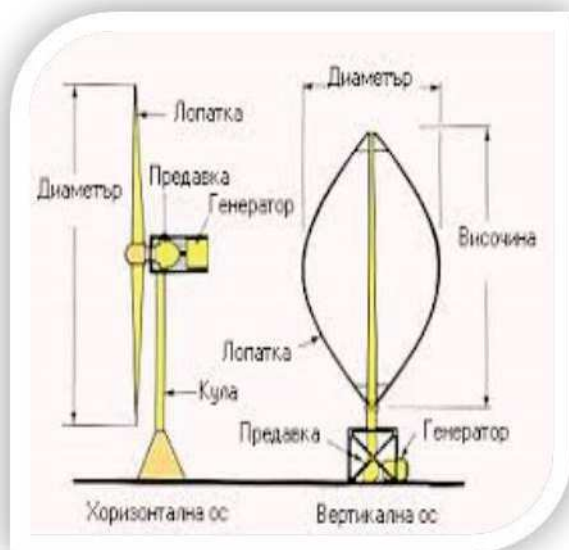


Фиг. 1. Съчетаване на различни видове източници на енергия
(вятърна, слънчева)

3. Вятърът – източник на енергия

Вятърната енергия заема голяма част в живота ни. Вятърът е практически неизчерпаем източник на енергия и не води до замърсяване и до климатични аномалии, с други думи притежава качества, с които нито един от традиционните източници за производство на електроенергия не може да се похвали (фиг. 1). Чистите и ефективни модерни технологии дават надежда, че бъдещето може да е основано на неизчерпаеми и незамърсяващи околната среда производства. Приложенията на вятърната енергия са: за производство на електричество в така наречените „вятърни ферми“, за зареждане на акумулатори, осветление на сгради, паркинги, паркове, за хранване на офис-оборудване и климатични инсталации и по принцип за задоволяване на всякакъв вид енергийни нужди.

Ветрогенераторът е устройство, което преобразува кинетичната енергия от движението на въздушните маси над земната повърхност в електрическа енергия, т.е. използва вятърна енергия за производството на електричество (фиг. 2 и 3). Той е в основата на изграждането на вятърни електроцентрали и ветропаркове, разполагащи с много на брой електрически генератори и произвеждащи за потребителите значително количество електрическа енергия.



Фиг. 2. Принципна схема на ветрогенератор.



Фиг. 3. Ветрогенератори с ротори с комбинирано действие.

Изключителните предимства са в това, че са екологично чисти и използват възобновяема енергия. Движението на въздушните маси - вятър, е предизвикано от топлината на Слънцето и движението на Земята. Въздухът задвижва ротор със специална конструкция или въздушен винт като силов агрегат на ветро-енергийното съоръжение в резултат на разликата в налягането върху повърхностите на витлата. Въртенето им води до директно производство на механична енергия, която може да се превърне в електрична с помощта на електрогенератор. Вятърните турбини могат да бъдат използвани самостоятелно или да бъдат свързани към електрическа мрежа, или дори комбинирани с клетки за събиране на слънчева енергия. Те се монтират върху кула. В повечето случаи вятърът е толкова по-силен, постоянен и по-малко завихрен, колкото по-голяма е височината, до която достига кулата. Самостоятелните турбини обикновено се използват за изпомпване на вода или комуникации, но домакинствата и отдалечените селища, намиращи се в по-ветровити зони, могат да ги използват за генериране на електрична енергия. Роторът се състои от хъб, три витла и система за стъпково регулиране на ъгъла на атака на всяко витло спрямо въздушния поток, като всички компоненти са разположени насрещно на вятъра. Те са със специална аеродинамична форма, за да могат да създават и използват подемната сила на въздушното течение. Механичната мощност на роторните витла се подава към генератора посредством трансмисионната система. Тя се състои от кутия с предавателен блок от зъбни колела, блокираща система, както и от спомагателни - смазваща и охлаждаща системи. Предавателния блок от зъбни колела осъществява преобразуване на оборотите. Блокиращата система е разработена да „заклучва” генератора, когато турбината е спряна. Въртящата система обръща корпуса

(кутията) на ротора по направлението на „вятърната атака“, използвайки задвижващ зъбен механизъм. Микропроцесорна система следи и контролира състоянието на системите на вятърния генератор. Регулиращите системи са разработени за дистанционно обслужване от станция посредством оптични влакна.

4. Заключение

Замърсяването на околната среда и последвалото го глобално затопляне наложи много страни в света да обединят усилията си в борбата за решаване на настъпилите екологични проблеми. От изложеното се вижда, че у нас вече има известен опит и силен инвеститорски интерес за промишлено производство на електроенергия чрез използване на слънчевата и вятърната енергия. Относно използването на тази енергия от отделни домакинства у нас все още няма прозрачност и налична статистика. Но всички действия, насочени в посока на използване на екологично чиста енергия, ще доведат до известно намаляване на отделяните емисии вредни газове. Затова трябва да се замислим над това, че природата, ако ние самите не я пазим, така както ни дава, така може и да ни отнеме най-важното в живота - самия живот. Не трябва да забравяме, че дори и едно малко растение е част от целия кръговрат в природата. Затова нашето предизвикателство е „**Не се страхувай да погледнеш света с други очи!**“.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Алтернативни източници на енергия,
http://www.altenergy.nat.bg/solar_energy.html
- [2] Вятърна енергия, <http://www.kolektori.com/chev.html>
- [3] Вятърната енергия в България,
http://www.mee.government.bg/geoterm/docs/eco_viatar.pdf
- [4] Инвестиционен процес при използване на слънчева енергия,
http://www.mee.government.bg/geoterm/docs/Slunsheva_energia_BUL.pdf
- [5] Енциклопедия “Светът на Физиката”
- [6] Слънчева и вятърна енергия, http://bg.wikipedia.org/wiki/Слънчева_енергия
- [7] http://bg.wikipedia.org/wiki/Вятърна_енергия

КИНЕМАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА НА СЕИЗМИЧНИТЕ ВЪЛНИ

Мая Григорова

Геологопроучвателен факултет, Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, ул. Проф. Боян Каменов, e-mail: maya_mgu@abv.bg

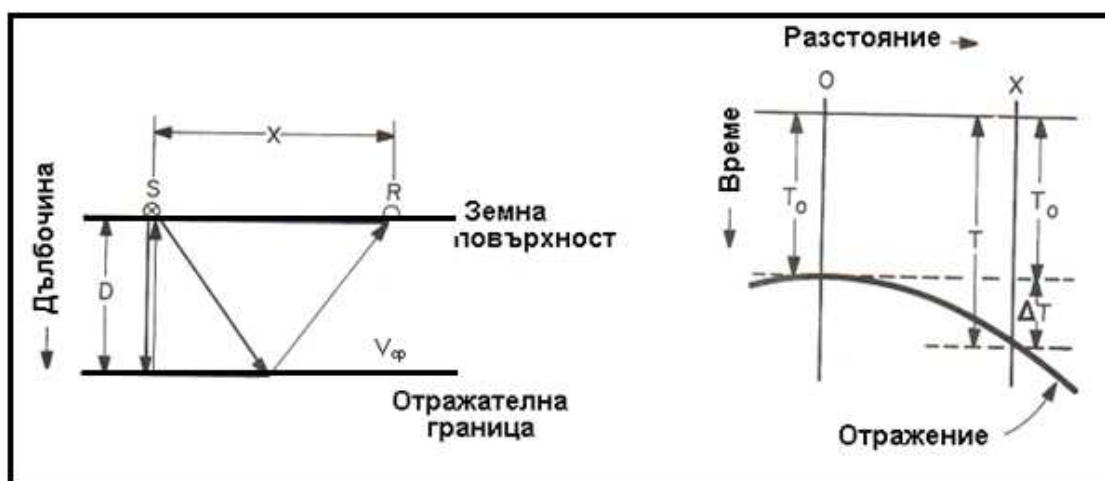
Резюме. В съвременната сеизмична практика изискванията за получаване на високо разрешаващи сеизмични разрези налагат търсенето на нови подходи в обработката и интерпретацията на данните. Съставянето на адекватен скоростен модел на данните е ключов момент за получаване на сеизмични разрези с висока резолюция, които от своя страна дават възможност за по-уверена и по-надеждна интерпретация на сеизмичните данни.

Ключови думи: кинематика, сеизмични вълни, ходограф, пречещи вълни, скоростен модел

1. Кинематична характеристика на сеизмичните вълни - физико-математична основа

На сеизмичния запис реалното отражение от хоризонтална граница се изобразява като парабола. Това е така, защото времето, което вълната изминава от източника до приемника през земните пластовете е по-дълго отколкото разстоянието между източника и приемника измерено на земната повърхност. Вертикалният път на вълната от източника до отражателната граница и обратно (T_0) се равнява на 2 пъти дълбочината до съответната отражателна граница (D) разделена на средната скорост на разпространение на вълната в тази среда (V_{cp}):

$$T_0 = \frac{2D}{V_{cp}} \quad (1)$$



Фиг. 1. Вертикалният път на вълната от източника до отражателната граница и обратно до земната повърхност.

Тогава дълбочината до съответната граница може да се определи по следния начин:

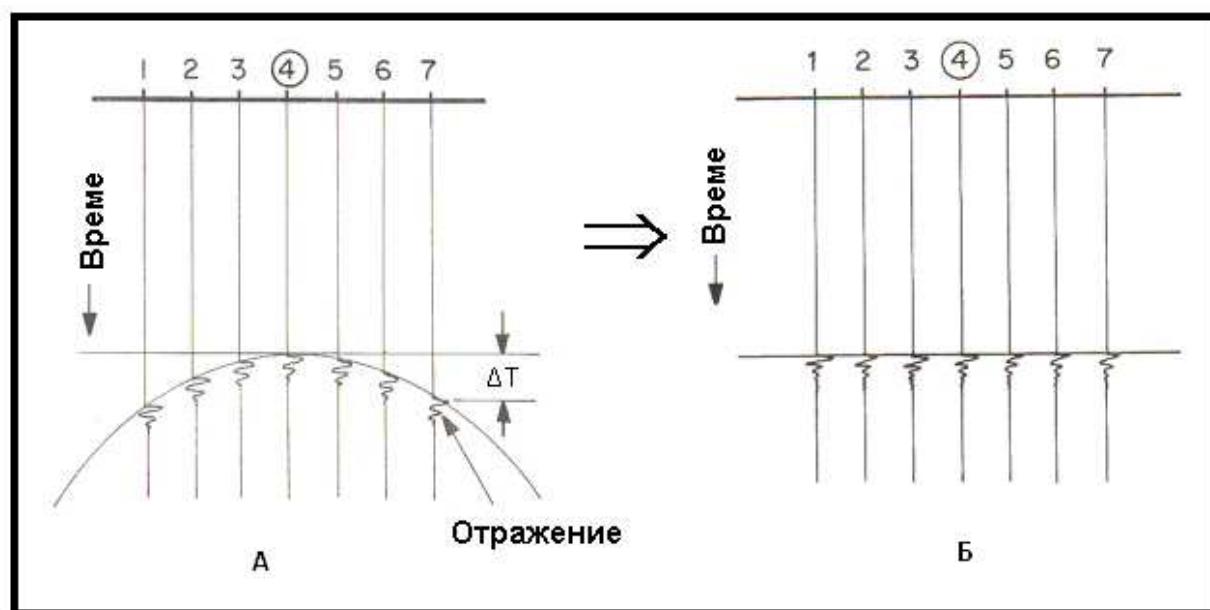
$$2D = T_0 V_{cp} \quad (2)$$

В такъв случай разстоянието до приемника на земната повърхност може да се разглежда като TV_{cp} , където T е времето, за което отражението изминава пътя от източника до отражателната граница и оттам до приемника на земната повърхност, намиращ се на разстояние x от източника.

Разликата във времето, необходимо на вълната да измине пътя от източника до отражателната граница и обратно (T_0) и времето, за което тя изминава разстоянието от източника до отражателната граница и оттам до приемника в точка x се нарича кинематична характеристика на вълната (ΔT):

$$T = T_0 + \Delta T \quad (3)$$

Кинематичната характеристика представлява разликата във времената на пристигане на вълната с отдалечаване от източника. По този начин с увеличаване на разстоянието източник – приемник закъснението при регистриране на вълната в приемника става все по-голямо, което води до параболичната форма на ходографа на отразената вълна.



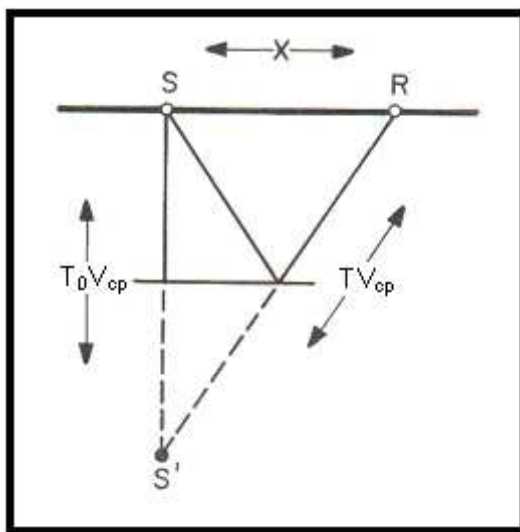
Фиг. 2. Сеизмичен запис: *А* – преди кинематична поправка; *Б* – след кинематична поправка.

Ако се проектира позицията на източника S в точката S' , така че разстоянието $SS' = T_0 V_{cp}$ се образува правоъгълен триъгълник ($SS'R$) (фиг. 3) и според Питагоровата теорема:

$$T^2 V_{cp}^2 = T_0^2 V_{cp}^2 + x^2 \quad (4)$$

Тъй като $T = T_0 + \Delta T$ следва, че:

$$\begin{aligned}
 (T_0 + \Delta T)^2 V_{cp}^2 &= T_0^2 V_{cp}^2 + x^2 \\
 (T_0 + \Delta T)^2 &= T_0^2 + \frac{x^2}{V_{cp}^2} \\
 T_0 + \Delta T &= \sqrt{T_0^2 + \frac{x^2}{V_{cp}^2}} \\
 \Delta T &= \sqrt{T_0^2 + \frac{x^2}{V_{cp}^2}} - T_0
 \end{aligned} \tag{5}$$



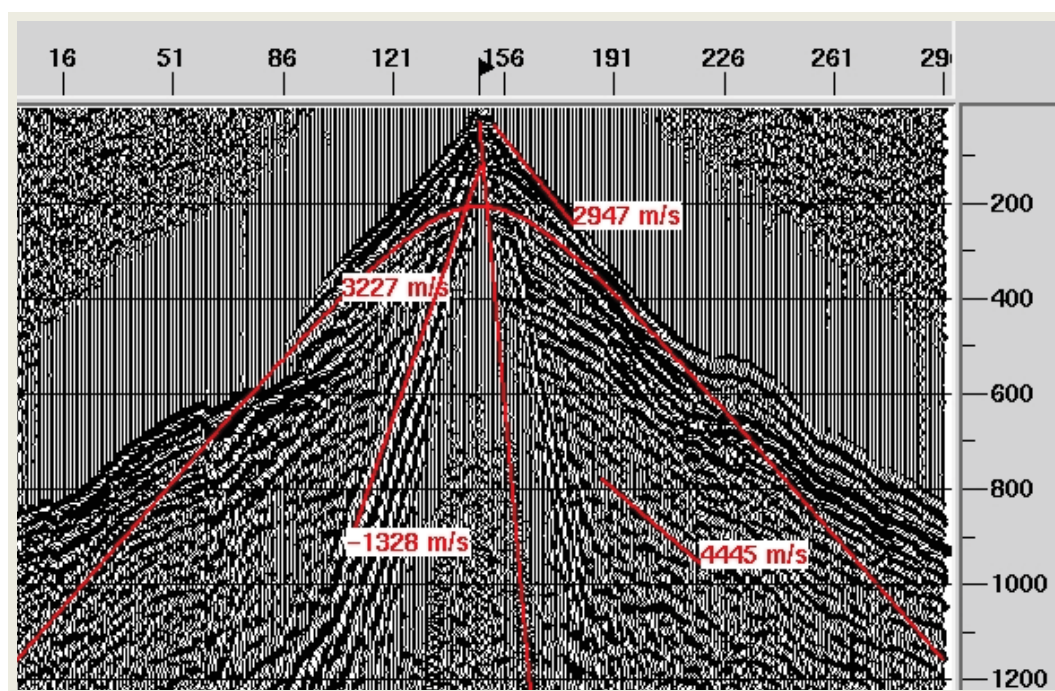
Фиг. 3. Графично изображение за извеждане формулата на кинематичната поправка.

Оттук следва, че кинематичната характеристика е функция от средната скорост, разстоянието между източника и приемника и времето, за което вълната изминава пътя от източника до отражателната граница и обратно. В сеизмичните изследвания са известни времената на пристигане на вълните и разстоянието източник – приемник, следователно за корекция на кинематичната характеристика е необходимо да се добие информация само за средната скорост на разпространение на вълните в съответната среда [1].

2. Скоростна диференциация на полезния сигнал и различните по вид шумове в обработката на сеизмичните данни

В скоростният анализ основна цел се явява намирането на подходяща функция на скоростта спрямо времето, която да осигури най-добра кинематична поправка. В не малко случаи скоростният анализ дава възможност да се извърши скоростна диференциация между полезния и пречещия сигнал регистрирани във почти всяка сеизмограма. За тази цел е необходимо добро

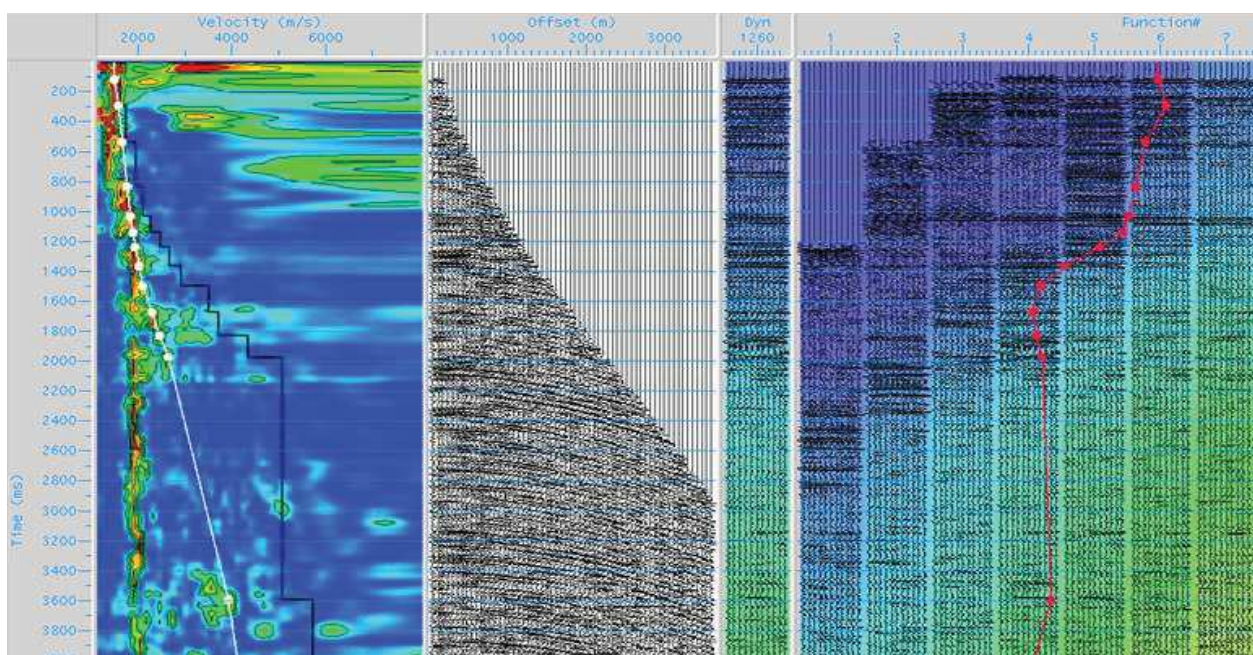
познаване на характеристиките на различните видове вълни разпространяващи се в земната кора.



Фиг. 4. Сеизмограма получена при зареждане на сурови полеви данни и някои основни типове вълни дефинирани по отношение на техните скорости на разпространение.

На фиг. 4 е показана реална сеизмограма, върху която са разграничени различни видове вълни по отношение на техните скорости на разпространение в земните пластовете - със скорост 3227 m/s - полезен сигнал; 2947 m/s - директна вълна; 1328 m/s - повърхностни вълни и граунд-рол вълни; 342 m/s - въздушни вълни; 4445 m/s - високоскоростна пречеца вълна регистрирана извън плоскостта на сеизмичния разрез. По такъв начин, разпознавайки пречициия от полезния сигнал, става възможно неговото локализиране по записите и впоследствие отстраняването му, чрез подходяща филтрация.

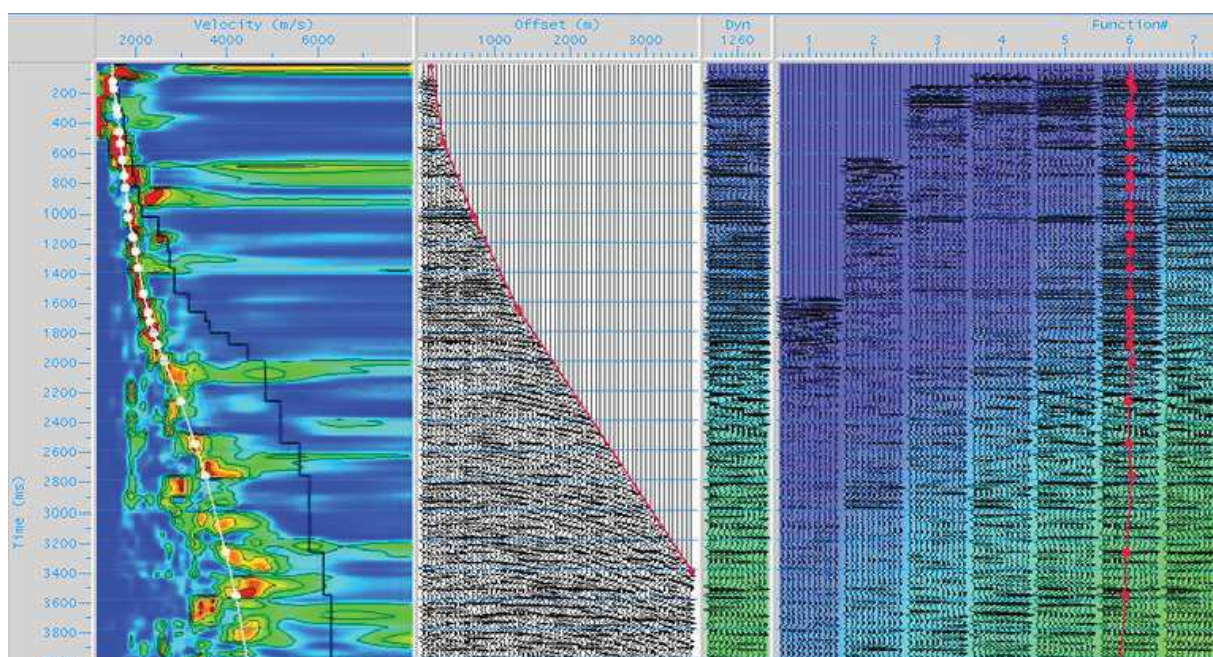
Скоростта на реалните отражения следва да нараства по оста на времето тъй като според закона за изменение на скоростта в дълбочина, скоростта нараства с увеличаване на дълбочината. Така по-плитката част на разреза се характеризира с относително по-ниски скорости на вълните, в сравнение с по-дълбоките части на разреза. По този начин може да се извърши скоростна диференциация и на друг вид пречеци вълни - кратните вълни. Това е възможно, тъй като кратните вълни се разпространяват главно в плитката част на разреза и следователно имат значително по-ниски скорости на разпространение в сравнение с реалните отражения регистрирани за същото време (фиг. 5).



Фиг. 5. *Скоростен анализ при наличие на кратни вълни.*

Като характерна особеност на кратните вълни, свързана с тяхното разграничаване от полезния сигнал върху скоростния анализ, може да се посочи относително постоянната им скорост на разпространение в средата [2].

На контурната карта на фиг. 5 могат да се проследят максимуми на подобие разположени в приблизително права, отвесна линия, което означава, че за няколко поредни записа скоростта необходима за прилагане на кинематична поправка е приблизително еднаква. Подобна особеност наблюдавана на скоростния анализ е пряка индикация за наличие на кратни вълни с по-ниски скорости на разпространение в средата [3].

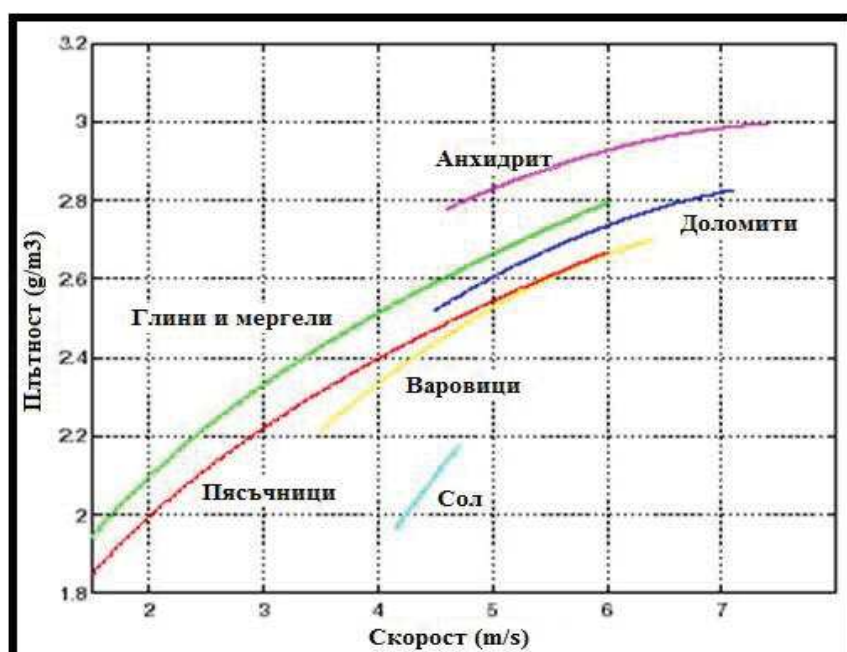


Фиг. 6. *Скоростен анализ след потушаване на кратните вълни.*

По този начин чрез прилагане на кинематична поправка за изправяне ходографите на реалните отразени вълни, характеризиращи се с по-високи скорости, кратните вълни биват премахнати от данните (фиг. 6). Това е изпълнимо само при условие, че съществува значителна разлика в скоростите на реалните и кратните отражения [4].

3. Връзката между скоростта на сеизмичните вълни и различните видове скали

Благодарение на еластичността на скалите е възможно разпространението на сеизмичната енергия в средата. Скоростта на разпространение на вълните в земята зависи главно от две основни характеристики на средата – нейната плътност и еластичност (фиг. 7).



Фиг. 7. Графика на зависимостта на скоростта на сеизмичните вълни от плътността на средата.

Проследяването и изучаването на отразяващите граници в пространството дава възможност да се съди за геоложкия строеж на района. От друга страна, като се изучават скоростите на вълните може да се определи литоложкия състав на скалите, изграждащи изследваната територия [5].

По правило с нарастване плътността на средата, нараства и скоростта на разпространение на сеизмичните вълни през нея.

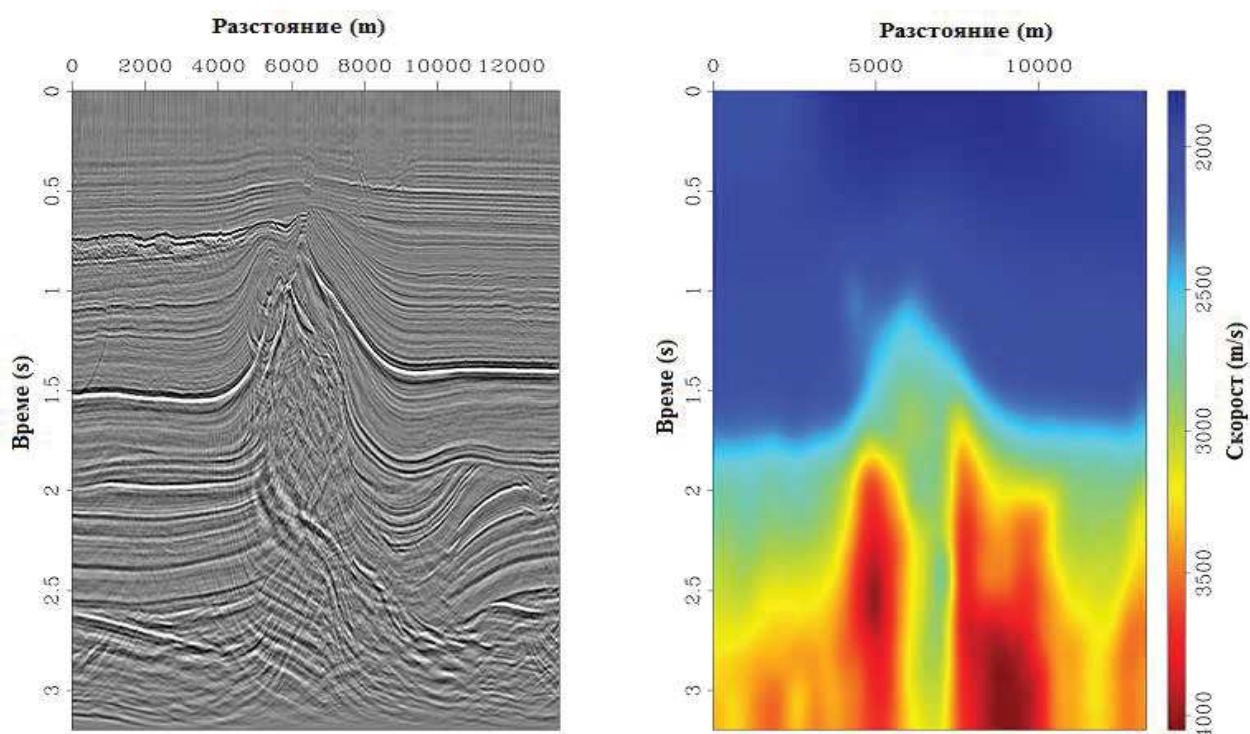
С най-голяма скорост се характеризират плътните магмени и метаморфни скали. За интрузивните магмени скали с уплътнена текстура скоростта изцяло се определя от твърдата фаза. За тези скали скоростта на разпространение на сеизмичните вълни нараства от киселите (5000 - 6200 m/s) към базичните и ултрабазичните (7000 - 8000 m/s). При ефузивните скали текстурата е

разуплътнена и се наблюдава повишена порестост, следователно за тези скали едновременно влияние върху скоростта на разпространение оказват както минералният състав, така и присъствието на течна и газообразна фаза.

За метаморфните скали скоростта на разпространение на сеизмичните вълни зависи главно от скоростта за скалообразуващите минерали, от които тези скали са произлезли, както и от проявлението на метаморфизма уплътняващо или разуплътняващо.

При седиментните скали доминиращо е влиянието на коефициента на порестост. Така скоростта на разпространение на сеизмичните вълни за разуплътнени седиментни скали се променя в границите от 800 - 1000 m/s, докато за плътните варовици и доломити тя варира от 5500 до 6200 m/s [6]. Мергели, шисти и пясъчници се характеризират със скорост 3000 - 4000 m/s, а пясъчно-глинестите скали - с 2000 - 3500 m/s. Аномално ниски скорости - 150 - 1000 m/s, се наблюдават при изветрелите скали, разположени близо до земната повърхност, независимо от техния литоложки състав. Нещо повече скали с един и същи литоложки състав могат рязко да се отличават по скоростта на разпространение на еластичните вълни в зависимост от степента на тяхното уплътняване. Независимо от това, когато приблизително са известни особеностите на геоложкия разрез в изучавания район, по стойностите на скоростта може да се определи литоложкия състав на скалите. Параметрите на еластичността дават възможност сеизмичните хоризонти да бъдат отнесени към определени литолого-стратиграфски граници [5].

Промените в геологията на разреза обикновено са съпроводени с промени в скоростната характеристика на средата.



Фиг. 8. Сеизмичен разрез (в ляво) и полето на скоростите, с които е получен (в дясно).

На сеизмичния разрез на фиг. 8 се открояват някои основни отразяващи сеизмични повърхнини, кореспондиращи си по форма със съответни участъци от полето на скоростите. Въз основа на полученото по такъв начин изображение на разреза се правят изводи за дълбочината до перспективните в нефто-газоносно отношение геоложки структури, литологията на разреза, наличието на нарушения и други характеристики свързани с еластичните свойства на скалите, в които се разпространяват сеизмичните вълни.

4. Практически изводи и препоръки

В сеизмичните изследвания основна цел се явява коректното изобразяване на структурата на изследвания разрез. От точността, с която се определя пространственото изменение на скоростта в средата и до основните отразяващи граници, до голяма степен зависи и точността на построяване на сеизмичните разрез.

При избора на скоростен модел на средата могат да се направят следните изводи:

1. Съставянето на адекватен, високо разрешаващ скоростен модел на средата се явява основна стъпка към изграждането на реалистичен геоложки разрез.

2. Построяването на коректен скоростен модел на средата изисква разпознаване и диференциране на полезния сигнал от пречещите вълни.

3. Ключов момент при подбора на надежден скоростен модел на средата е проследяването за структурната логичност на разреза.

По такъв начин анализа на кинематичната поправка на сеизмичните вълни има ключова роля в процеса на високо разрешаващата обработка на сеизмични данни.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Yilmaz, Ö., 2001, Seismic Data Analysis: processing, inversion, and interpretation of seismic data, Society of Exploration Geophysicists.

[2] Verschuur, D. 2006, Seismic Multiple Removal Techniques – past, present and future, EAGE Publications.

[3] Grigorova, M., 2012, The aim of kinematics in 2d land seismic processing data for enhancing signal-to-noise ratio, BMPC, Sozopol.

[4] Meunier, J., Seismic Acquisition from Yesterday to Tomorrow, SEG/EAGE Publications.

[5] Добрев, Т. 1984, Сеизмични методи в геофизиката, Издателство Техника.

[6] <http://bg.wikipedia.org/wiki>

МИКРОСЕИЗМИЧНО СОНДИРАНЕ И НЯКОИ ПРИЛОЖЕНИЯ

Емил Ойнаков¹, Бойко Рангелов¹

¹ Геологопроучвателен Факултет, Минно Геоложки Университет, София, e-mail: emil.ilievmg@gmail.com, branguelov@gmail.com

Резюме: Представен е метод за построяване на дълбочинни разрези по относителната вариация на амплитудите и относителния контраст на сеизмичните скорости. Характерно за дълбочинното сеизмично сондиране е, че не се използват активни източници. Препоръки на метода са: от една страна съответства на съвременните екологични изисквания за невзривно изучаване на дълбочинния разрез, а от друга е с много по-ниски разходи за осъществяване на измерванията, особено ако се имат предвид изследвания на значителни дълбочини. Показани са резултатите от обработката на данните от полевите измервания в северо-източната част на България (зоната на т.н. Интермизийски разлом) по Метода на Микросеизмичното Сондиране. Те са съпоставени с предишни известни резултати.

Ключови думи: сеизмика, метод на микросеизмичното сондиране, Интермизийски разлом

1. Въведение

Микросеизмичното сондиране е пасивен метод, използващ съществуващото вълново поле, което може да има както природен така и техногенен произход. Полевите измервания с методите на пасивната сеизмика не причиняват вреда на околната среда и могат да се провеждат и в границите на гъсто населени места. Естествени източници на сеизмични вълни (микросеизми) могат да бъдат местни и далечни земетресения, изригване на вулкани, морски прибой, вятър и други подобни природни явления генериращи вибрации. Пример за техногенни източници са градския вибрационен шум от трафик, технически дейности, провеждането на различни геоложко-технически мероприятия или работата на сондите и др.

Микросеизмите са открити през 1875г. от италианския астроном F.Bertelli. Вече повече от сто години микросеизмите привличат вниманието на изследователите, както от гледна точка на проучване на техния произход, така и от гледна точка на тяхното използване. Микросеизмите представляват слаби фонове колебания на земната среда и се явяват суперпозиция най-общо казано на свързани помежду си колебателни процеси от различни, по положение и природа, сеизмични източници. Микросеизмичните вълни винаги присъстват на повърхността на Земята във всяка нейна точка. В колебателните процеси участват както горните, така и по дълбоките части на земната кора, а също така и горната мантия. Благодарение на това, микросеизмите предоставят на

изследователите възможност да изследват земните недра до относително големи дълбочини и влиянието на особеностите на геоложките структури в широк диапазон.

В последно време все по-голямо внимание се отделя на използването на микросейзмичния шум на Земята в качеството на основен сондиращ сигнал за изучаване на дълбоките геоложки структури.

Резултатите от изследването на микросейзмичното поле показват, че микросейзмичните колебания се проявяват в широк честотен и динамичен диапазон. Честотите варират от стотни части от Hz до няколко kHz, а амплитудата на колебание на точките на средата от части от нанометъра до няколко микрона. Основната енергия на микросейзмичния шум е концентрирана в диапазона честоти 0.05-0.25 Hz (периоди 12-20 s). Енергетичният спектър на микросейзмите, характерен за наблюденията на сушата, има два максимума: първият в честотния диапазон 0.05-0.08 Hz (периоди 12-20 s), вторият 0.01-0.25 Hz (периоди 4-10 s). По своята природа микросейзмите се явяват повърхностни еластични вълни.

В настояще време съществува добре установена класификация на фоновото поле по характерния честотен диапазон. Разграничават се дългопериодни сигнали с $T > 1s$ и късопериодни - с период $T \leq 1s$. Това в първо приближение съответства на разделянето на микросейзмите на такива с естествен и изкуствен произход [1].

2. Метод на микросейзмичното сондиране.

През 2005 година е патентован нов начин на пасивно сеизмопроучване основан на анализа на пространствените вариации на спектъра на локалното микросейзмично поле [2]. Методът се базира на експериментално предположение за това, че вертикалната компонента на преместването в микросейзмичния шум е представена основно от вертикалната компонента на преместване на фундаменталната мода на вълните на Релей. Такова предположение е състоятелно, първо защото микросейзмичното поле се състои повече от повърхностни вълни и второ, повърхностното вълново поле съдържа преимуществено вълни на Релей и Ляв. Вълната на Ляв се явява хоризонтално поляризирана SH-вълна, затова няма принос към вертикалната компонента на колебанието. Трето както показват многобройните полеви измервания и експерименти, вълните на Релей са представени предимно от основната (нулева) мода. Приносът на първата мода съставлява не повече от няколко процента в амплитудата, а приносът на висшите моди е незначителен по отношение на първата.

Възможността за използване на пространствените вариации на енергетичния спектър на микросейзмичното поле за изучаване на дълбочинния геоложки строеж на средата, е формулиран по-късно като метод на микросейзмичното сондиране, и е идентифициран от руския изследовател А.В. Горбатиков. Той

провежда микросейсмични изследвания на о. Ланцерот от Канарския Архипелаг [3] и по-късно на о. Ел Иеро. Доказано е експериментално и е изследвано върху числени модели, че нееднородностите в Земната кора в определен вид изкривяват спектъра на нискочестотното микросейсмическо поле [4]. Това означава, че на повърхността на Земята над високоскоростните нееднородности спектралните амплитуди на определена честота f намаляват, а над нискоскоростните нееднородности нарастват (фиг. 1). Честотата f е



Фиг. 1. Модел на взаимодействието на локалните нееднородности с фундаменталната мода на вълната на Релей (двумерен)

свързана с дълбочината на залягане на нееднородността H и скоростта на фундаменталната мода на вълните на Релей $V_R(f)$ със съотношението

$$H = 0.5 \frac{V_R(f)}{f} \quad (1)$$

където, $V_R(f)$ и f са съответно - фазова скорост на фундаменталната мода на вълната на Релей с честота f и честотата в спектъра на микросейсмичния сигнал, за който се правят изчисленията.

При това микросейсмичното поле се разглежда като суперпозиция от пакети на фундаменталните моди на вълните на Релей с различно честотно запълване. Разработената и тествана в редица експериментални изследвания технология, позволява да се определи дълбочинната структура на сложни геоложки обекти, на базата на използване на фоновото микросейсмическо поле.

Използва се следния алгоритъм от процедури включващи:

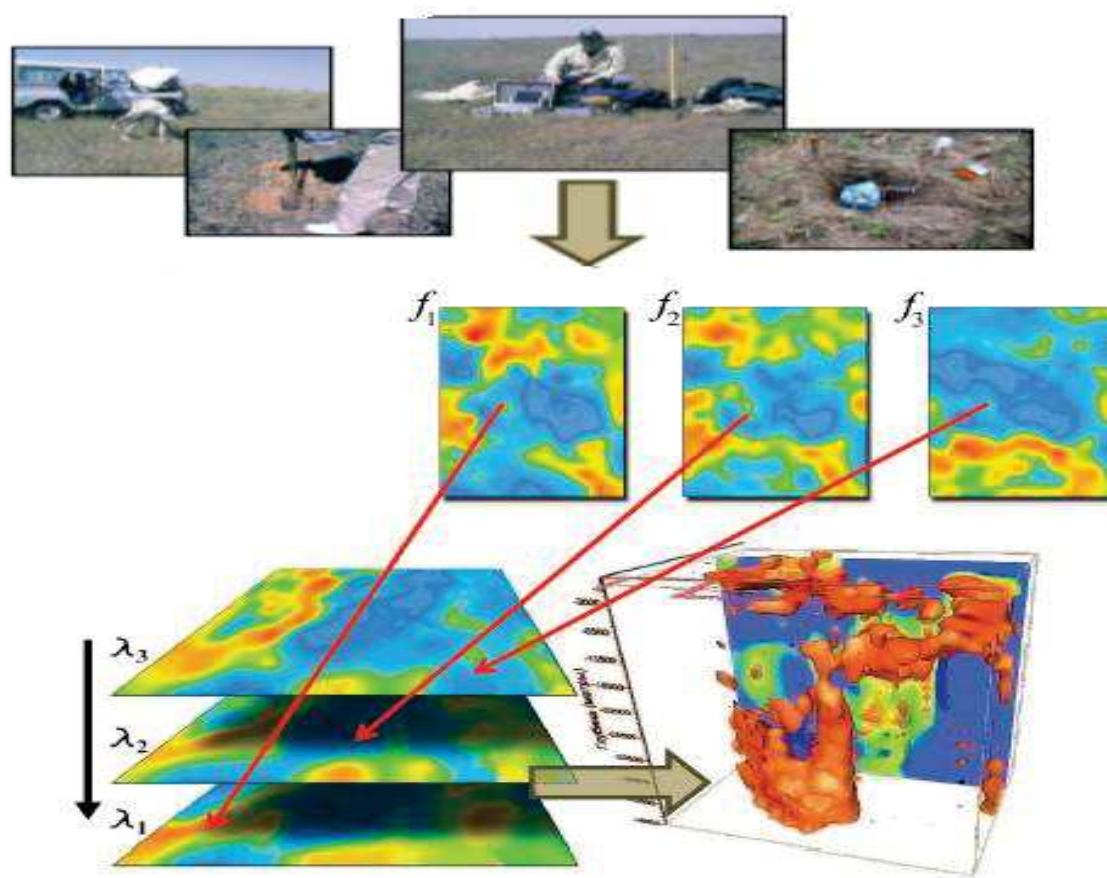
1. Последователно измерване на статистически устойчивите спектри на микросейсмите във всички точки на мрежата или профила. Достигане на статистически устойчив микросейсмичен сигнал, натрупан в течение на експериментално определения период на стационарност на сигнала. Това става в рамките на няколко часа.

2. Построяване на карта, или на профил на разпределение, на амплитудата, за всяка честота в спектъра.

3. Привързване на получените карти или профили към съответната дълбочина, изхождайки от отношението:

$$H(f) = k_G \lambda_R(f) = K_G \frac{v(f)}{f}, \quad (2)$$

където $H(f)$ -дълбочина на слоя, за който се строи изображението, $\lambda_R(f)$ -дължината на вълната на фундаменталната мода на Релей, f -честота в спектъра на микросеизмичния сигнал, за който се правят изчисленията, $V_R(f)$ - фазова скорост на фундаменталната мода на вълната на Релей с честота f , k_G – коефициент на дълбочинно привързване, оценен емпирично в диапазона 0.4 – 0.5 (фиг. 2).



Фиг. 2. Схема на обработка на данните от микросеизмичното сондиране.

Обработката и построяването на изображението се състои в това, че за всяка честота f , в спектъра се построява пространствена крива (или карта), на разпределението на вариациите на интензивността на микросеизмичния сигнал. Тази крива (карта) се привързва към дълбочината. Въз основа на съвкупността от профилните криви, се построява тримерно изображение, където по хоризонталната ос са координатите, а по вертикалната ос - дълбочината,

съответстваща на профила (картата). Основен параметър при картирането се явява амплитудата на сигнала или негови разновидности.

Реализацията на този подход води до необходимостта да се контролират два фактора: 1) определяне на преобладаващия тип вълни в анализираното микросейсмично поле за правилната интерпретация на резултатите и 2) стационарността на измерваните статистически параметри, за установяване на еднозначна връзка между пространствените особености на геоложкия строеж и пространствените характеристики на микросейсмите. Второто условие се налага, ако измерванията в точките на измервателната мрежа не се изпълняват едновременно (а например, последователно).

За да се изключат проблемите, свързани с различните периоди на стационарност на микросейсмите в различните честотни диапазони и ограничеността на тези периоди [4], е предложено микросейсмичното сондиране да се изпълнява, като се приема, че една от точките в изследвания полигон е опорна. Измерванията в останалите точки от мрежата се правят едновременно с измерванията в опорната точка. Този алгоритъм, позволява едновременно, да се реши проблемът с нормировката на спектъра. Понеже реалния микросейсмичен спектър има сложна форма с области на повишение и понижения, то за сондиране е необходимо да има сигнал с унифицирани спектрални характеристики. Не по-маловажно е, че използването на опорна точка, позволява сондирането да се изпълни само с две станции, като минимално необходимо количество от инструменти.

3. Изследване структурата на Интермизийския разлом (ИМР) с Метода на Микросейсмичното сондиране (ММС).

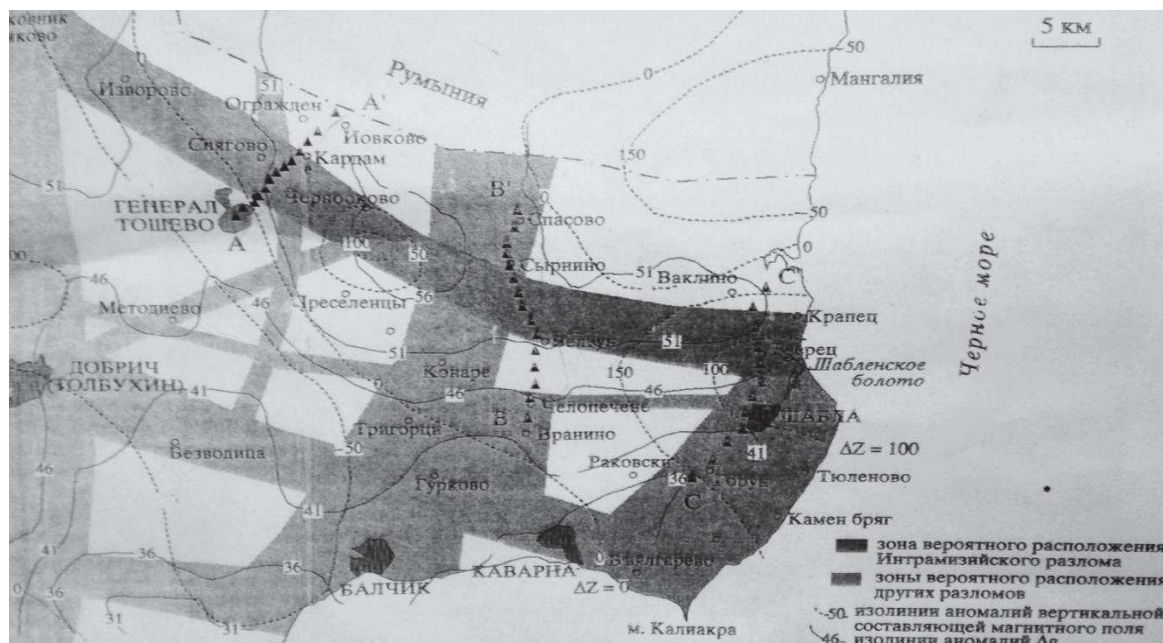
Изследването е извършено през 2006г. от съвместен екип учени на РАН и БАН (Е.А.Рогожин, Ю.В. Харизанова, А.В. Горбатиков, С. Шанов, А. Митев) по програма „Строеж и съвременна активност на Интермизийския разлом по резултати от комплекса нови геолого-геофизически методи“. Данните от измерванията любезно са предоставени от проф. Ст. Шанов.

Тектонична позиция и сеизмична активност

Зоната на ИМР пресича Мизийската плоча в северо-западно направление (фиг. 3). Тя повече или по-малко уверено се проследява на разстояние 250 km. от Предкарпатското понижение на северо-запад до Черноморското крайбрежие в района на гр. Шабла и с. Ваклино на юго-изток [5].

Мизийската платформа е сравнително млада платформа. Тя е разположена в централната част на сеизмично активния Карпато-Балкански регион между планинските масиви Карпати и Балкани. На юго-запад граничи със старата Източно-Европейска платформа, североизточно е отделена от Скитската плоча с орогена Северна Добруджа, а на изток достига Черно море.

Мизийската плоча е изразена в релефа във вид на невысоко издигане (с височина 100-200 m над морското равнище) с равна, слабо хълмиста повърхност. От сеизмична гледна точка, Мизийската плоча се явява „остров“ на стабилност между сеизмически активните зони Карпати и Балкани, но тя не е лишена от рядка и нерегулярна сеизмичност с магнитуд на земетресенията между 3 и 4. Има данни и за по-силни сеизмични събития, но те не са достатъчно надеждни.



Фиг. 3. Схема на северо-източна България с показани обобщени разломни зони по данни от различни автори и изолинии на гравитационното и магнитно поле. С триъгълници са означени точките на измерване по профилите на микросеизмичното сондиране.

Дълбочинен строеж по сондажни данни

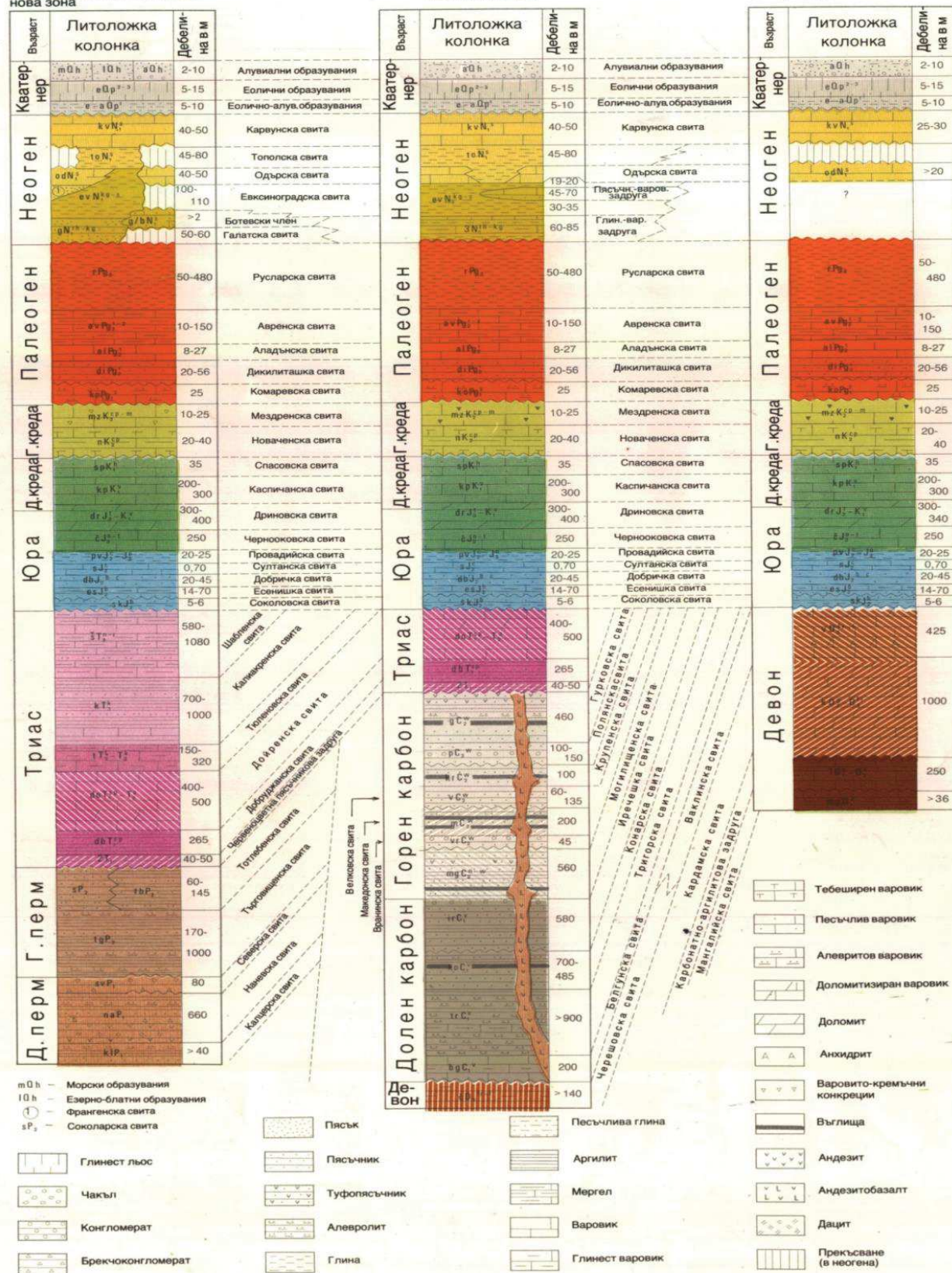
В съответствие с геоложката карта на България [6] и сондаж Р-121 до с.Горун, се разкрива разрез до дълбочина 4 km. от ранния перм до миоцена. Дълбочините от 3700 m до 4000 m и, възможно по дълбоко са представени от андезити и андезито-базалти, явяващи се високоскоростна основа за отгоре лежащите слоеве. Диапазонът 3000-3700 m е представен от глинести варовици, а по-нагоре до 1500 m залягат пъстри аргилити с прослойка пясъчници. В диапазона 800-1500 m залягат доломити и варовици, представляващи сами по себе си в сеизмическо отношение контрастен високоскоростен слой. Над 800 m залягат пясъчливи варовици, мергели и глини. В северната част в района на с. Ваклино преходът към високоскоростни скали от горния девон, представен от доломитизирани варовици, става на дълбочина около 1600 m. (фиг. 4.)

СТРАТИГРАФСКИ КОЛОНКИ

Балчишко понижение и Шабленско - Българевска грабенова зона

Вранински хорст

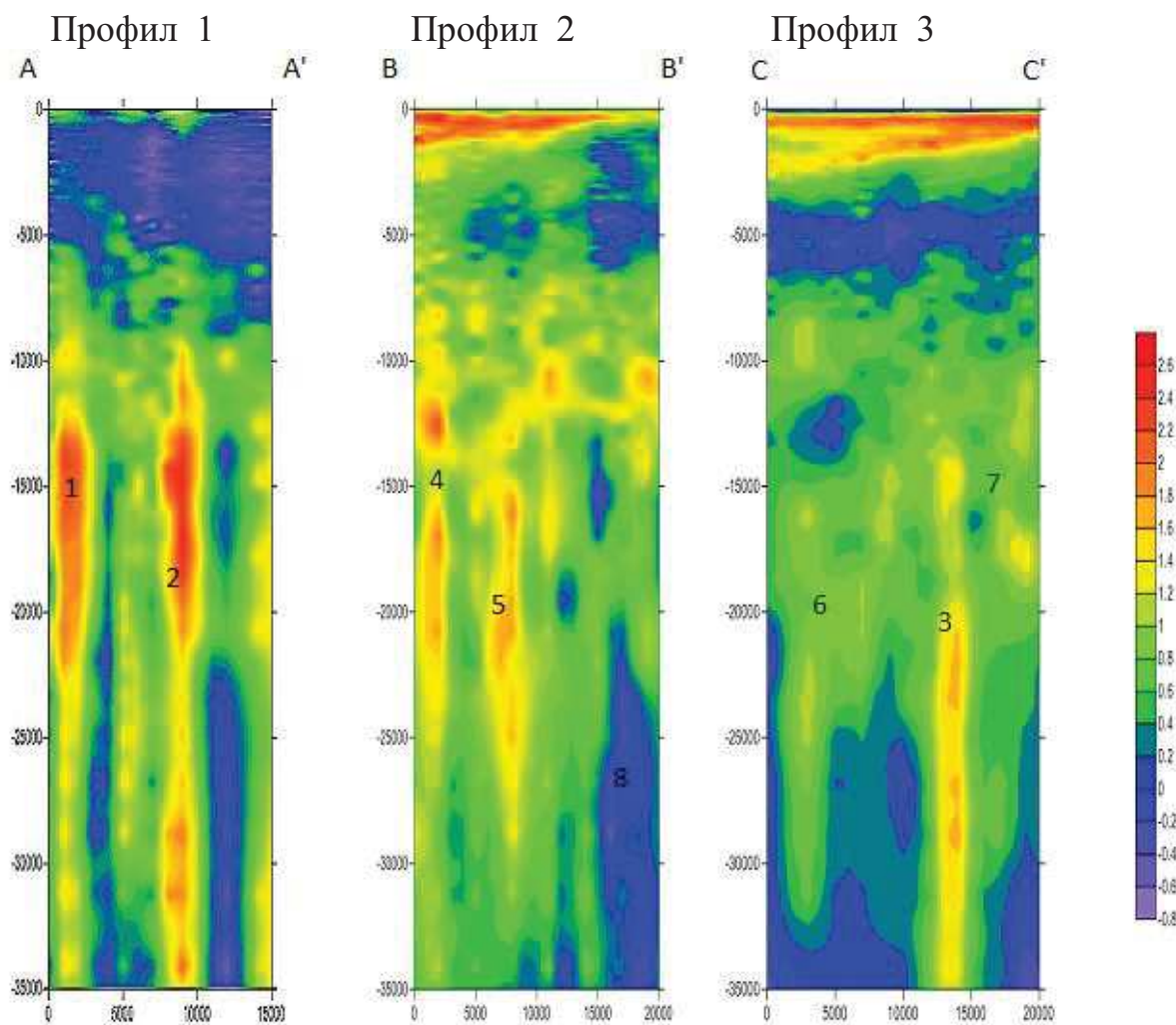
Добруджански масив



Фиг. 4.Обобщени стратиграфски колонки за Североизточна България.

Микросеизмично сондиране и резултати

Дълбочинните геофизични изследвания по трите профила, показани на фиг. 3 са направени по Метода на Микросеизмичното Сондиране (ММС) с разстояние между сеизмоприемниците средно 1000 m. Тази технология позволява на базата на използваното фоново микросеизмично поле да се определи дълбочинната структура на зоната на предполагаемото преминаване на Интермизийския разлом (фиг. 5 и 6). Трите вертикални разреза на фиг. 5 са построени по параметъра вариации на амплитудите, а на фиг. 6 по контраста на сеизмичните скорости.

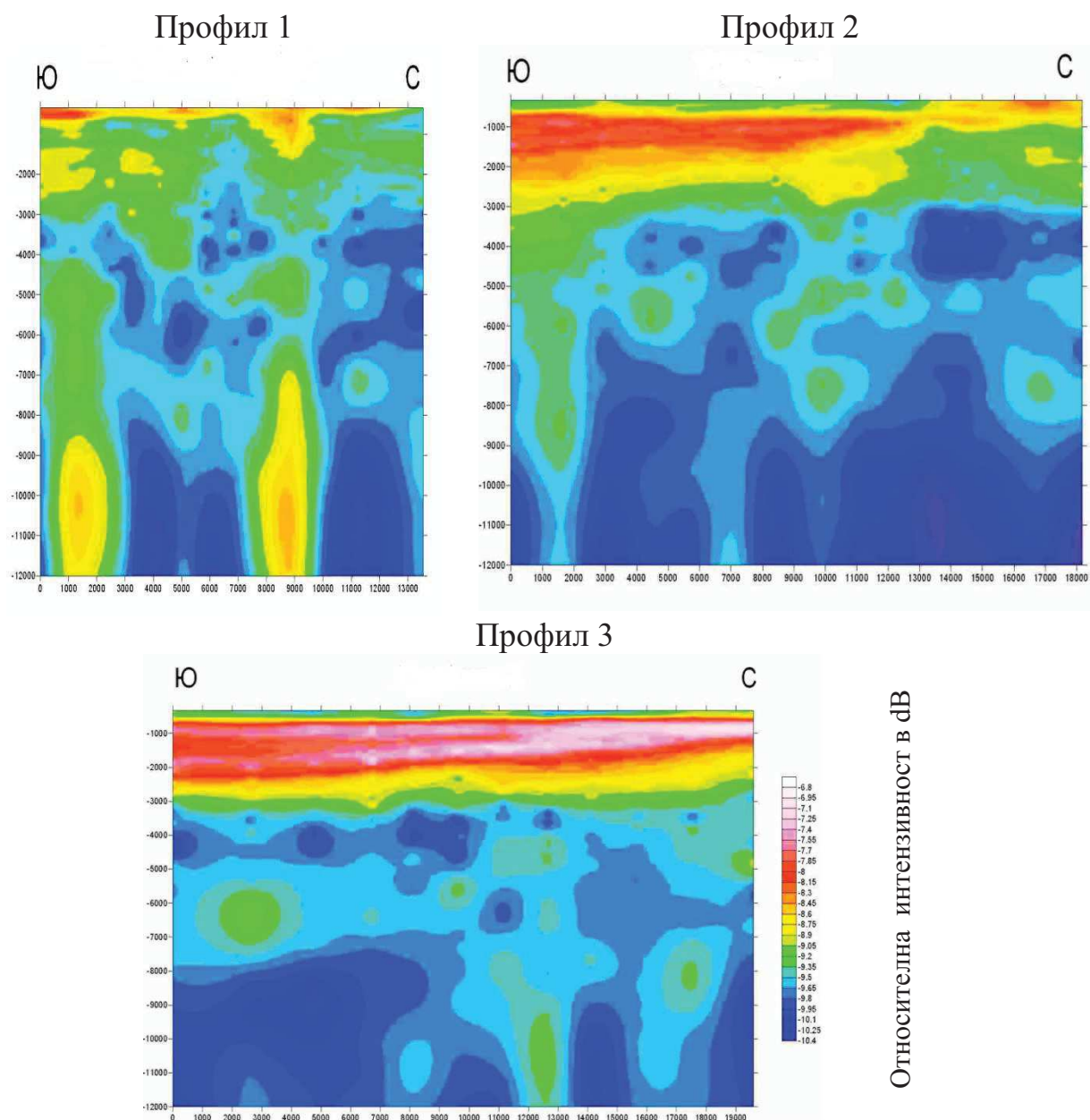


Фиг. 5. *Относителна вариация на амплитудата на микросеизмите в dB за трите профила по метода на микросеизмичното сондиране.*

В съответствие с физическите основи на метода, областите от средата, имащи сравнително високи сеизмични скорости, се проявяват в измереното на повърхността микросеизмично поле във вид на понижаване на интензивността на сигнала за еквивалентния хоризонт. И обратно, нискоскоростните области се проявяват във вид на повишена относителна интензивност. Относителна интензивност означава, че измерванията са направени по отношение на опорна станция (сеизмостанция Преселенци). На

профилите В-В' и С-С' отчетливо се отделя седиментната покривка, във вид на светли хоризонти, в горната част на разреза на земната кора, изклиняващи от юг на север. Това съвпада с наличните геоложки и геофизични данни и отразява известния дълбочинен строеж на Варненската падина.

На разрезите А-А' и С-С' (фиг. 5) се проследяват светли вертикални зони с ширина около 2 km. На разреза А-А' има две такива зони (1 и 2), проследяващи се от дълбочини, около 10 km до 35 km. На профила С-С' се отделя една зона (3) от дълбочини 12-15 km до 35 km. Забелязва се, че светлата зона 2 на разреза А-А' трасира не много отчетливо, една светла ивица до повърхността (фиг. 6), докато за зоните 1 и 3, такова проникване в най-горния слой, няма. Може да се отбележи също наличието на други, не много силно изразени, вертикални структури на разрезите В-В' и С-С', а именно зоните 4, 5, 6, и 7.

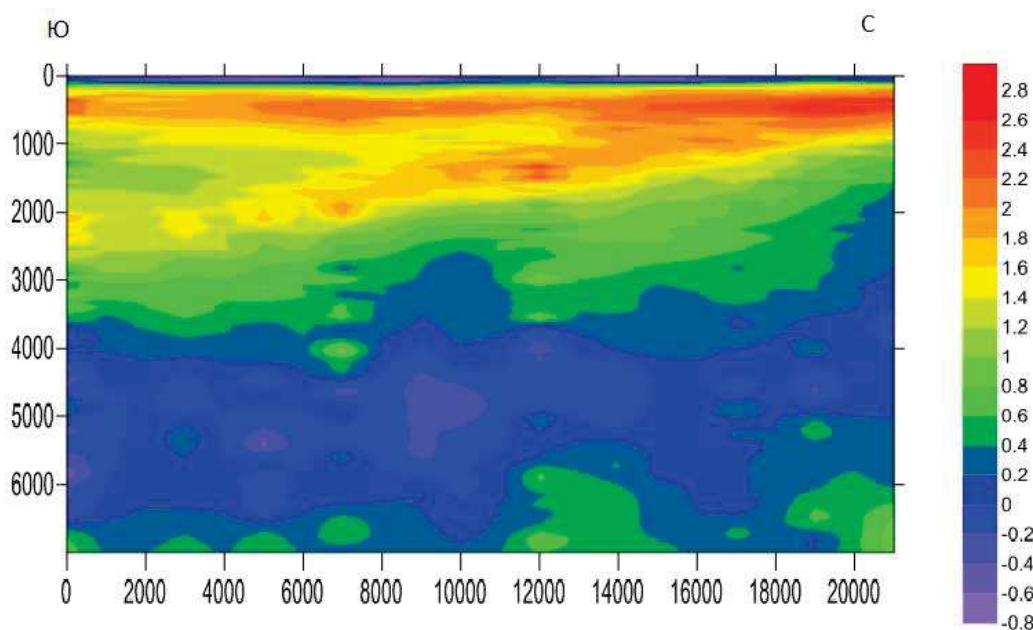


Фиг. 6. Контраст на сеизмичните скорости в dB.

Формата и сравнително низките стойности за зоните 1, 2 и 3, дават основание да се интерпретират, като погребани корени на разлома. При това може да се предположи, че яркостта и наличието на трасировка до повърхността на зона 2, говорят за относителна съвременна активност на дадения фрагмент от разлома.

Съпоставяйки материалите, получени с различни методи, може да се отбележи, че зоните, интерпретирани на микросейсмичните профили като разломи (фиг. 5 и 6), в план съответстват на известните зони на разлома (фиг.3). Те са потвърдени в процеса на геолого-геоморфоложки изследвания. Зона 1 от профил А-А' лежи на линия с северозападно простиране, проследена с фрагменти от повърхностни приразломни депресии. В същото време, тя гравитира към северната граница на затъмнената зона на Интермизийския разлом (фиг. 3). На вертикалните разрези по профила А-А' (фиг. 5 и 6) може да се забележи, че зоната на разлома 1 е запечатана от много по-късни отложения, започвайки от дълбочина около 5 km. Зона 2 също е покрита, започвайки от дълбочина 7-8 km, но при това, както отбелязахме по-горе, се наблюдава фрагментно продължение на тази зона нагоре до повърхността. Наблюдава се ясна привързаност на зона 5 от профила В-В' към южния клон на зоната на ИМР, а зона 4 към друга, по-южна разломна система (фиг. 3). Отбелязва се, че за зона 5 също има съответствие на геоморфоложките форми на повърхностните разломи. Още една ярка и дълбока разломна зона - 3 от профил С-С', също така съвпада в план със зоната на ИМР и намира потвърждение в резултатите от геоморфологичното проучване на района. Въпреки нейното ясно проявление във вертикалния разрез на дълбочина от 17 до 35 km, а възможно и по-дълбоко, тя няма ясни признаци на трасиране до повърхността. Взимайки под внимание характера на всички отделени по метода на микросейсмичното сондиране разломни зони, може обосновавано да се предположи, че ИМР не се явява активен в настояще време. Напротив, съдейки по ярката изразеност в разреза и на повърхността, той пресича система от по-активни в настояще време разломи със субмеридиално простиране (фиг. 3).

На фиг. 7 е представен получения микросейсмичен разрез за профил 3 до дълбочина 7 km, на който се наблюдава изразено потъване на фундамента. То е представено като, систематично увеличаване на дълбочината на залягане на покривката от високоскоростни скали, приблизително от 1.5 km на север до 4 km в южната част на профила. Също се вижда наличие на дъно на високоскоростения слой, което заляга от 5-5.5 km на север до 6.5-7 km на юг. Под високоскоростния слой се виждат фрагменти от слой с понижени скорости в северната част на разреза. В южната част на разреза се наблюдава вклиняване на относително високоскоростен слой на дълбочина 1000-1700 m, което, видимо съответства на слоя доломити от горна юра, известен от сондажите в района.



Фиг. 7. Разрез по профил 3 до дълбочина 7000 m, относителна вариация на амплитудите в dB.

Очевидно полученият резултат в микросейсмичната картина, съответства на потъването на фундамента на Мизийската плоча в южно направление, известно от резултатите от по-ранни геолого-геофизични изследвания. Това още един път потвърждава, че дълбоките геоложки структури, влияят на формирането на микросейсмичното поле, увеличавайки амплитудите на Релеевите вълни на съответните честоти. Това е вярно при условие, че нееднородността има ниска сейсмична скорост, а в противния случай – амплитудите намаляват.

Изследването показва, че под влияние на локалните повърхностни и дълбоки геоложки структури, микросейсмичното поле в честотния диапазон 0.03-1.0 Hz, изпитва аномално изкривяване. То показва, че амплитудите на микросейсмите намаляват над високоскоростните и се увеличават над нискоскоростните нееднородности. Като е предпоставено, че състава на микросейсмичното поле, е суперпозиция от пакети на фундаменталните моди на вълните на Релей с различно честотно запълване, е намерена връзка между дълбочината на залягане на нееднородностите и спектралната честота f на микросейсмичния сигнал. При това се получават аномалии, които се определят с релацията

$$H=0.5\lambda_R \quad (3)$$

където H е дълбочината на залягане на нееднородността, λ_R - дължината на фундаменталната мода на вълната на Релей:

$$\lambda_R = \frac{V(f)}{f} \quad (4)$$

$V(f)$ е фазовата скорост на вълната на Релей на честота f .

4. Заключение

Получените резултати, потвърждават възможността за използване на микросейсмите за изучаване на дълбочинния строеж на разреза и прилагането им при някои основни структурни изследвания в определени райони на България.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Bard P. Microtremor measurements: A Tool for the Effect Estimation? The Effects of Surface Geology on Seismic Motion. Balkeman. Rotterdam. 1999

[2] Горбатиков А.В. Патент на изобретение № RU2271554. „Способ сейсморазведки“. Дата приоритета 25.03.2005

[3] Gorbatikov A.V., Kalinina A.V., Volokov V.A., Arnoso J., Vieira R., Velez E. Results of Analysis of Data of Microseismic Survey at Lanzarote Island, Canary, Spain// Pure appl. Geophys. 2004. V.161.P.1561-1578

[4] Горбатиков А.В., Степанова М.Ю., Кораблев Г.Е. Закономерности формирования микросейсмического поля под влиянием локальных геологических неоднородностей и зондирование среды с помощью микросейсм. Физика Земли, 2008.

[5] Дачева Хр., Станев В., Боков П. Резултати изследований сектора Черного моря и сопредельных районов суши. Строение и эволюция земной коры и верхней мантии Черного моря/ Под ред. Белоусова В.В., Вольвовского Б.С.М. 1989. С. 163-165 [3]М.Ю.Степанова. Результаты исследований статистических характеристик и свойств стационарности низкочастотных микросейсмических сигналов. // Физика Земли, 2008, Л"21, с. 57-67.

[6] Г. Чешитев, Ц. Чонтова, Н.Попов, Е.Кюмджиева. Геоложка карта на България. Мащаб 1: 1000000. 1991г

СТАТИСТИЧЕСКО ОПИСАНИЕ НА СТРУКТУРАТА НА МОЛЕКУЛЯРНИТЕ ОБЛАЦИ, ХАРАКТЕРИЗИРАЩИ СЕ С ВЕРОЯТНОСТНО РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ НА ОБЕМНАТА ПЛЪТНОСТ ОТ ВИДА „СТЕПЕННА ОПАШКА”

Сава Донков

Департамент по приложна физика, Технически Университет-София, София 1000,
бул."Кл. Охридски" 8, България, e-mail: savadd@tu-sofia.bg

Резюме. В представеното изследване ние въвеждаме понятието за абстрактна скала при зададено разпределение на плътността на един молекулярен облак. Свързваме тази абстрактна скала с съответстващата ѝ маса и средна плътност чрез скалиращи закони, като по този начин тези две важни величини също се изразяват чрез разпределението на плътността. Това е направено в случая на разпределение от тип „степенна опашка”, а също и за произволно непрекъснато разпределение. Във втория случай е получена диференциална връзка между средната плътност на дадена скала, при фиксирано ниво на обрязване и структурния параметър на тази скала.

Ключови думи: молекулярни облаци, структура, статистически подход, скалиращи закони.

1. Увод

Молекулярните облаци (MC-Molecular clouds) в Галактиката са мястото, където се раждат звездите. Тяхната морфология и еволюция е сложна и се обяснява с комплексната физика, която ги управлява. Тяхното възникване от топлия атомен междузвезден газ (предимно водород), според съвременната парадигма ([1], [2]), е резултат на сблъскване на два или повече макротока (размери от порядъка на $150 \times 50 \times 50$ pc- парсек) с температури 5000 - 10000 K, плътност (има се предвид концентрация) $\sim 0.1 \text{ cm}^{-3}$ и махови числа (на турбулентните флуктуации на скоростта в тях) $\sim 1-2$. Газът в мястото на сблъска започва бързо да се охлажда чрез изобарно свиване и достига до температури $\sim 10-30 \text{ K}$, плътности $\sim 100 \text{ cm}^{-3}$ и махови числа на унаследената турбулентност $\sim 20-30$. Същевременно този газ става молекулярен (водород), защото се самоекранира от иначе силното лъчение в междузвездната среда. На този етап възникват гигантските молекулярни облаци (GMC-Giant molecular clouds)- ориентировъчни линейни размери от 10 до 30 pc. Тяхната последваща еволюция се определя от два основни, действащи едновременно, фактора - свръхзвуковата свиваема изотермична турбулентност и самогравитацията ([3], [4], [5]).

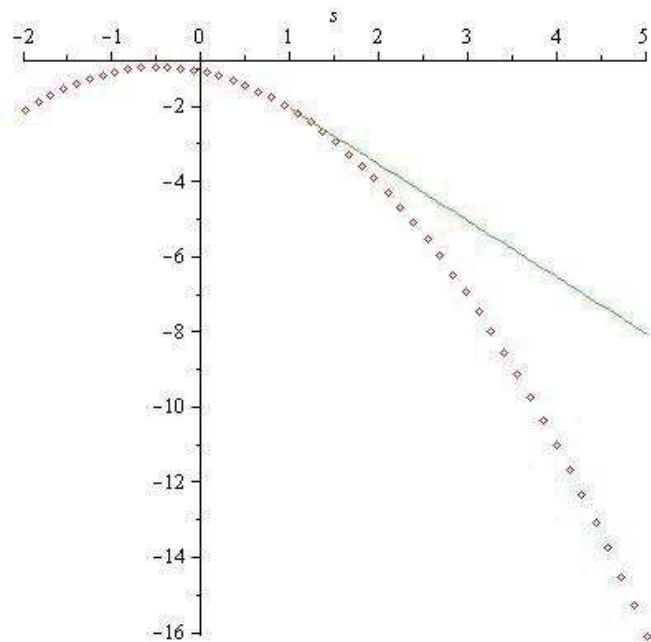
Първият оформя, още в ранните етапи ($\sim$ няколко милиона години) от еволюцията на нововъзникналия MC, сложна мрежа от сгъстявания и разреждания, която се подчинява на логнормално разпределение на плътността

на вероятността ([3], [4]) за масовата плътност (или алтернативно можем да мислим за концентрацията) - това всъщност е гаусово разпределение на логаритъма на плътността (виж фиг.1). Това разпределение на плътността на вероятността (оттук нататък ще го наричаме и PDF - Probability density function) е съгласувано с йерархична (фрактална) структура на газовите сгъстявания в облака, което обуславя наличието на добре дефинирани скалиращи закони за турбулентните флуктуации на скоростта, а също на средната плътност и масата на структурите и подструктурите във фрактала ([4], [5]).

Малко по-късно, но в същия порядък на времевите интервали ([1]), започва да се усеща осезаемото влияние на самогравитацията, която води към колапс облака на всички скали от неговата йерархия ([6]) - по-големите и разреждени структури по-бавно, а по-малките и гъсти образувания по-бързо. Действието на самогравитацията постепенно променя разпределението на плътността на вероятността и плътната (дясна) част на логнормалното разпределение „прераства“ в така наречената „степенна опашка“ (виж фиг.1 и уравнение (1)) ([7]). Газовите сгъстявания, в които се раждат звездите, „пребивават“ именно в тази част на разпределението. Същевременно се забелязва изравняване на гравитационната и кинетичната (турбулентна) енергия на нивата на структурите (скалите) и подструктурите (отделни сгъстявания) на облака. Понякога тези енергии достигат до вириално равновесие ([8], [9], [10]).

В същото време върху МС продължава да акретира материя от халото от атомен газ, което обгражда облака ([11]). Преминавайки през фазовата граница със студената молекулярна фаза, този газ се охлажда допълнително и води до постепенно увеличаване на масата на първоначално образувания облак. Междувременно най-гъстите кондензати от молекулярен газ колапсират до звездни клъстери и отделни масивни звезди. Така, до известна степен, в един период от няколко милиона години от живота на облака, имаме динамично равновесие на всички скали и процеси в облачната йерархия. Отвън постъпва топъл атомен газ, който се охлажда през фазовия преход, след което, под действие на свръхзвуковата турбулентност и гравитацията, преминава през всички скали на фрактала и накрая част от него се превръща във звезди, а повечето се диспергира отново в междувъзвездната среда под действие на различни фактори (на самата турбулентност, на експлозия на свръхнови или на лъчистото налягане от най-масивните звезди). В тази динамична картина равновесието е статистическо (да се разбира в усреднен смисъл и за абстрактни обекти, каквито са например скалите на фрактала) и се изразява в това, че PDF на масовата плътност се запазва относително стабилен (само наклонът на „опашката“ леко еволюира към по-плосък - [7]), запазва се фракталната структура на газовите сгъстявания (т.е. на облака, като цяло) и съпътстващите ги скалиращи закони (за скоростта, средната плътност и масата). По тази причина изучаването на облачната структура в термините на абстрактно дефинирани скали и съответните скалиращи закони, при конкретно зададен PDF (секция 2 и 3) или в общия случай (секция 4), е от ключова важност за

разбирането на това как е изградена фракталната йерархия в МС, а оттам и каква е връзката между разпределението по маси на газовите сгъстявания в облака (CMF-Clump mass function) и началната функция на звездните маси (IMF-Initial stellar mass function).



Фиг. 1. Логнормално разпределение (точки) и разпределение тип „степенна опашка“ (линия), в което „прераства“ дясната (отговаряща на по-големите плътности) част на логнормалата в по-късните етапи от еволюцията на МС, под действие на гравитацията ([7]). И по двете оси имаме логаритмичен мащаб - $s = \ln(\rho / \langle \rho \rangle_c)$ по абсцисата, а логаритмичният мащаб по ордината превръща гаусовото разпределение ($p(s) = B \exp(-(s - \bar{s})^2 / 2\sigma^2)$) в полином от втора степен, а „степенна опашка“ (виж уравнение (1)) в права линия.

В изложението по-нататък ще изпозваме обемно претеглен PDF $p(s)$ на масовата плътност (обемно претеглен означава, че статистиката на плътността е получена от нейните стойности във всеки един пиксел на картата на МС; самите пиксели се разглеждат, като елементарни клетки с равен обем). Тук $s = \ln(\rho / \langle \rho \rangle_c)$ е т. нар. логаритмична плътност, която е естествената променлива при изучаване на нашите обекти ($\langle \rho \rangle_c$ е средната плътност за целия МС). Абстрактните скали на фрактала ще дефинираме чрез $p(s)$ по следния начин:

$$L \equiv l_c \left[\int_s^\infty p(s) ds \right]^{1/3},$$

където l_c е размера на целия облак, " ∞ " е просто горната граница на интегриране (която на практика не е безкрайна, но достатъчно голяма спрямо s), а самото s е междинна стойност на логаритмичната плътност, за която искаме да дефинираме абстрактна скала.

2. Разпределение на плътността тип „степенна опашка” и съответстващият му профил на плътността. Скалиране на средната плътност и на масата. Връзка между скалиращите показатели.

Нека си представим, че разглежданият от нас обект - МС, има разпределение на плътността на вероятността за обемната плътност на масата (PDF_V), което е от вида „степенна опашка”, а именно:

$$PDF_V(L) = \frac{d(V_L / \Delta V)}{d \ln(\rho_L / \rho_c)} = A \left(\frac{\rho_L}{\rho_c} \right)^q = A \exp(q \ln(\rho_L / \rho_c)). \quad (1)$$

Тук индексът V означава, че разпределението е обемно претеглено. L - употребено като аргумент или индекс, означава, че съответната величина е функция на междинна (текуща) скала. Ще смятаме: $l_0 \leq L \leq l_c$, където l_0 е най-малката скала в нашите разглеждания и съответства на ядрото на облака (най-вътрешната, най-малката и най-плътната част от облака), а l_c е най-голямата скала и съответства на целия облак. Подобен смисъл имат и индексите на плътността: ρ_L е плътността на текущата скала (има се предвид не средната плътност, а тази на нейния външен край), ρ_0 е плътността на ядрото, а ρ_c е плътността на външния край на облака. Ясно е, че $\rho_0 \leq \rho_L \leq \rho_c$. q е безразмерен степенен показател, който приема типични стойности: $-3 \leq q \leq -1.5$, а A е нормировъчен множител, чиято стойност се определя от условието:

$$\int_{\rho_c}^{\rho_0} A \exp(q \ln(\rho_L / \rho_c)) d \ln(\rho_L / \rho_c) = 1 \Rightarrow A = q / \left[(\rho_0 / \rho_c)^q - 1 \right] \approx -q. \quad (2)$$

Тъй като $d(V_L / \Delta V) = A \exp(q \ln(\rho_L / \rho_c)) d \ln(\rho_L / \rho_c)$, то

$\int_{\rho_L}^{\rho_0} d(V_L / \Delta V) = 1 \Rightarrow \Delta V = V_0 - V_c$, където $V_0 = 4/3\pi l_0^3$ е обема на ядрото, а $V_c = 4/3\pi l_c^3$ е обема на целия облак. От друга страна, ако интегрираме горното (диференциално) равенство в граници от $\rho_L(L)$ до $\rho_0(l_0) \leq \rho_L(L)$, ще получим

$$\frac{V_L - V_0}{V_c - V_0} = \frac{A}{q} \left[\left(\frac{\rho_0}{\rho_c} \right)^q - \left(\frac{\rho_L}{\rho_c} \right)^q \right]. \quad (3)$$

Отчитайки, че при $\rho_0(l_0) \leq \rho_L(L) \leq \rho_c(l_c)$ и свързаната с това релация $l_0 \leq L \leq l_c$, лявата страна ще бъде приблизително равна на $V_L / V_c = L^3 / l_c^3$, а дясната съответно на $(\rho_L / \rho_c)^q$, в крайна сметка ще получим уравнение за профила на плътността:

$$\rho_L \approx \rho_c \left(\frac{L}{l_c} \right)^{\frac{3}{q}}. \quad (4)$$

Често пъти степенният показател в (4) се бележи като " $-p$ ", като само " p " се нарича профил на плътността. В този случай е ясно, че $p = -3/q \Leftrightarrow q = -3/p$.

Нека разгледаме сега въпроса за скалирането на масата (на дадена скала L) и свързаната с нея средна плътност. Обикновено пишем:

$$M_L = M_c \left(\frac{L}{l_c} \right)^\gamma \quad (5)$$

-закон за скалиране на масата, където M_c е масата на целия облак.

$$\langle \rho \rangle_L = M_L / V_L, \quad (6)$$

е съответната средна плътност на скалата L , която по предположение се скалира като $\langle \rho \rangle_L \propto (L/l_c)^\alpha$. Да свържем тези закони с направените досега разсъждения, като изразим скалиращите показатели чрез наклона на „опашката“ (q). Ако използваме получения профил на плътността (4), масата на скалата M_L може да се пресметне по следния начин:

$$\begin{aligned} M_L &= \int_{l_0}^L 4\pi \rho_L L^2 dL + M_0 = 4\pi \rho_c l_c^3 \int_{l_0}^L (L/l_c)^{2-p} d(L/l_c) + M_0 = \\ &= \frac{4\pi}{3-p} \rho_c l_c^3 \left[(L/l_c)^{3-p} - (l_0/l_c)^{3-p} \right] + M_0 \approx \frac{4\pi}{3-p} \rho_c l_c^3 (L/l_c)^{3-p}, \end{aligned} \quad (7)$$

където $M_0 = 4/3\pi l_0^3 \rho_0$ е масата на ядрото. За да направим приближението при поседното равенство на (7), съществено се ползваме от това, че $1 \leq p \leq 2$ (когато $-3 \leq q \leq -1.5$) и $l_0 \ll L \leq l_c$. При тези предположения имаме оценките:

$$(L/l_c)^{3-p} \gg (l_0/l_c)^{3-p}$$

и

$$\frac{4\pi}{3-p} \rho_c l_c^3 (L/l_c)^{3-p} / \frac{4\pi}{3} \rho_0 l_0^3 = \frac{3}{3-p} \frac{\rho_c}{\rho_0} \left(\frac{l_c}{l_0} \right)^3 \left(\frac{L}{l_c} \right)^{3-p} = \frac{3}{3-p} \left(\frac{L}{l_0} \right)^{3-p} \gg 1, \quad (8)$$

което ни позволява да пренебрегнем второто събираемо в квадратните скоби на (7), както и масата на ядрото. Полученият резултат показва, че $M_c = 4\pi/(3-p)\rho_c l_c^3$ и $\gamma = 3-p$ в уравнение (5), а също така

$$\langle \rho \rangle_L = \frac{3}{3-p} \rho_c (L/l_c)^{-p} \equiv \langle \rho \rangle_c (L/l_c)^{-p} \Rightarrow \alpha = -p, \quad (9)$$

което придава завършеност на (6). Тук $\langle \rho \rangle_c = 3/(3-p)\rho_c$ трябва да се разбира като средната плътност на целия облак.

Ще завършим тази точка с едно очевидно, но важно уравнение, свързващо нормираните маса, средна плътност и обем (размер) на дадена скала L :

$$\begin{aligned} \frac{M_L}{M_c} &= \left(\frac{L}{l_c} \right)^\gamma = \left(\frac{L}{l_c} \right)^{3-p} = \left(\frac{L}{l_c} \right)^{-p} \left(\frac{L}{l_c} \right)^3 = \frac{\langle \rho \rangle_L}{\langle \rho \rangle_c} \left(\frac{L}{l_c} \right)^3 \\ \Rightarrow \frac{M_L}{M_c} &= \frac{\langle \rho \rangle_L}{\langle \rho \rangle_c} \frac{V_L}{V_c}. \end{aligned} \quad (10)$$

3. Структурен параметър на скалите и връзката му с наклона на „опашката” (q)

При статистическия анализ на МС голяма роля играе връзката между масата и плътността на дадена структура от облачната йерархия. Тъй като една от най-важните статистически зависимости е така наречената CMF (статистика на газовите съгъстявания по маси), то логично е да потърсим повече яснота за подобна зависимост в контекста на нашето изследване. Ще въведем степенна релация между масата и средната плътност на дадена скала:

$$\frac{\langle \rho \rangle_L}{\langle \rho \rangle_c} = \left(\frac{M_L}{M_c} \right)^x, \quad (11)$$

където " x " ще наричаме структурен параметър (виж подобен подход, но не за скали, а за техни подструктури в [10]). Възползвайки се от уравнения (5) и (9), а също и от равенствата: $\gamma = 3 - p$, $p = -3/q$, ние лесно може да получим връзката $x = 1/(1+q)$.

Сега вече можем да обобщим, че профилът на плътността " p " и останалите три важни скалиращи показателя " γ " (за масата), " α " (за средната плътност) и " x " (структурният параметър) се изразяват чрез наклона на „опашката” " q ", както следва:

$$p = -\frac{3}{q}, \quad \gamma = 3\frac{1+q}{q}, \quad \alpha = \frac{3}{q}, \quad x = \frac{1}{1+q}. \quad (12)$$

Силата на този резултат ще се прояви тогава, когато успеем да свържем разпределението на плътността (PDF) със спомената по-горе статистика на газовите съгъстявания в облаците (CMF) и произтичащата от нея зависимост за масите на новородените звезди (т. нар. IMF), възползвайки се именно от (12). Тази задача, обаче не е цел на настоящия доклад и ще бъде развита в предстояща работа.

4. Обобщаване на понятието за скали и скалиращи закони при произволен PDF. Диференциална връзка между логаритмичната средна плътност и структурния параметър при зададено ниво на обрязване.

Нека $p(s)$ е произволен PDF_V (т.е. обемно претеглено вероятностно разпределение на масовата плътност в МС), като единственото изискване към него е да бъде непрекъснат. Тук $s = \ln(\rho/\langle \rho \rangle_c)$ отново е логаритмичната плътност, където $\langle \rho \rangle_c = M_c/V_c$ е средната плътност за целия МС (съответно M_c, V_c са масата и обемът на целия облак). Разбира се щом $p(s)$ е плътност на вероятността, изпълнено е изискването за нормировка:

$$\int_{-\infty}^{\infty} p(s) ds = 1. \quad (13)$$

Нека с $s' = \ln(\rho' / \langle \rho \rangle_c)$ да бележим т. нар. ниво на обрязване по плътност (cut-off level). Смисълът е, че върху „картата” на МС ще разглеждаме само тези подструктури, които имат логаритмична плътност $s \geq s'$. При това можем лесно да дефинираме масата, обема, средната плътност и скалата, които съответстват на това ниво на обрязване, а също и някои производни, които ще са ни полезни по-нататък:

$$\frac{V'}{V_c} = \int_{s'}^{\infty} p(s) ds \Rightarrow \frac{d}{ds'} \left(\frac{V'}{V_c} \right) = -p(s') , \quad (14)$$

$$\frac{M'}{M_c} = \int_{s'}^{\infty} e^s p(s) ds \Rightarrow \frac{d}{ds'} \left(\frac{M'}{M_c} \right) = -e^{s'} p(s') , \quad (15)$$

$$(14), (15) \Rightarrow \frac{d}{ds'} \left(\frac{M'}{M_c} \right) = e^{s'} \frac{d}{ds'} \left(\frac{V'}{V_c} \right) , \quad (16)$$

$$\langle \rho \rangle' = \frac{M'}{V'} = \langle \rho \rangle_c \frac{\int_{s'}^{\infty} e^{s'} p(s) ds}{\int_{s'}^{\infty} p(s) ds} \Rightarrow \frac{M'}{M_c} = \frac{\langle \rho \rangle'}{\langle \rho \rangle_c} \frac{V'}{V_c} , \quad (17)$$

$$L' = l_c \left[\int_{s'}^{\infty} p(s) ds \right]^{1/3} , \quad V_c = \frac{4}{3} \pi l_c^3 , \quad V' = \frac{4}{3} \pi (L')^3 . \quad (18)$$

Сега ще получим една диференциална връзка между логаритмичната средна плътност и структурния параметър при зададено ниво на обрязване. Нека напишем (17) във вида $V' / V_c = \left(\langle \rho \rangle' / \langle \rho \rangle_c \right)^{-1} (M' / M_c)$ и да го диференцираме по s' .

$$\frac{d}{ds'} \left(\frac{V'}{V_c} \right) = \left(\frac{\langle \rho \rangle'}{\langle \rho \rangle_c} \right)^{-1} \frac{d}{ds'} \left(\frac{M'}{M_c} \right) - \left(\frac{\langle \rho \rangle'}{\langle \rho \rangle_c} \right)^{-2} \left(\frac{M'}{M_c} \right) \frac{d}{ds'} \left(\frac{\langle \rho \rangle'}{\langle \rho \rangle_c} \right) . \quad (19)$$

Като се възползваме от (16) и след някои несложни алгебрични преобразувания, получаваме:

$$\frac{d}{ds'} \ln \left(\frac{\langle \rho \rangle'}{\langle \rho \rangle_c} \right) = \left[1 - e^{-s'} \left(\frac{\langle \rho \rangle'}{\langle \rho \rangle_c} \right) \right] \frac{d}{ds'} \ln \left(\frac{M'}{M_c} \right) . \quad (20)$$

От друга страна имаме релация между масата и средната плътност на скалите, посредством структурния параметър:

$$\left(\frac{\langle \rho \rangle'}{\langle \rho \rangle_c} \right) = \left(\frac{M'}{M_c} \right)^x \Leftrightarrow \ln \left(\frac{\langle \rho \rangle'}{\langle \rho \rangle_c} \right) = x \ln \left(\frac{M'}{M_c} \right) . \quad (21)$$

Да диференцираме логаритмуваното равенство

$$\frac{d}{ds'} \ln \left(\frac{\langle \rho \rangle'}{\langle \rho \rangle_c} \right) = x \frac{d}{ds'} \ln \left(\frac{M'}{M_c} \right) + \ln \left(\frac{M'}{M_c} \right) \frac{d}{ds'} x . \quad (22)$$

Сега в (22) да заместим $d \ln(M' / M_c) / ds'$, което предварително сме изразили

от (20), а $\ln(M'/M_c)$ да заместим с $\ln(\langle\rho\rangle'/\langle\rho\rangle_c)/x$ от (21). След несложни преобразувания ще получим:

$$\left[1 - e^{-s'} \left(\frac{\langle\rho\rangle'}{\langle\rho\rangle_c}\right) - x\right] \frac{d}{ds'} \ln \left(\frac{\langle\rho\rangle'}{\langle\rho\rangle_c}\right) = \ln \left(\frac{\langle\rho\rangle'}{\langle\rho\rangle_c}\right) \left[1 - e^{-s'} \left(\frac{\langle\rho\rangle'}{\langle\rho\rangle_c}\right)\right] \frac{d}{ds'} \ln x, \quad (23)$$

което е окончателния вид на търсената диференциална връзка между логаритъма на средната плътност и структурния параметър, при зададено ниво на обрязване.

Можем да гледаме на (23), като на диференциално уравнение за структурния параметър x , при зададен PDF $p(s)$ и ниво на обрязване $s' = \ln(\rho'/\langle\rho\rangle_c)$. Тогава неговото точно решение се получава от (21), комбинирано с (15) и (17):

$$x = \ln \left(\frac{\langle\rho\rangle'}{\langle\rho\rangle_c}\right) / \ln \left(\frac{M'}{M_c}\right) = 1 - \frac{\ln \left(\int_{s'}^{\infty} p(s) ds\right)}{\ln \left(\int_{s'}^{\infty} e^{s'} p(s) ds\right)}. \quad (24)$$

Интересно приложение уравнение (23) намира, когато разпределението е от вида „степенна опашка”. Тогава $dx/ds' = 0$ и следователно дясната страна на (23) става нула. Това означава, че и лявата страна трябва да е нула, което е възможно само, ако изразът в скобите отляво е нула ($d \ln(\langle\rho\rangle'/\langle\rho\rangle_c)/ds' \neq 0$, защото средната плътност зависи от нивото на обрязване дори и при разпределение от вида „степенна опашка”). Тогава получаваме израз за x :

$$x = 1 - e^{-s'} \left(\frac{\langle\rho\rangle'}{\langle\rho\rangle_c}\right) = 1 - e^{-s'} \frac{\int_{s'}^{\infty} e^{s'} p(s) ds}{\int_{s'}^{\infty} p(s) ds}, \quad (25)$$

от който, след като заместим явния вид на $p(s)$ от (1), получаваме вече познатата стойност $x = 1/(1+q)$. Това е едно независимо потвърждение на израза за структурния параметър и същевременно демонстрира потенциала на диференциалната връзка (23), изведена при най-общи предположения за PDF. Само по себе си общото решение (24) би трябвало да доведе до същия елегантен резултат, но лесно може да се види, че това не е никак проста техническа задача.

Ако се върнем отново към общата постановка на въпроса за скалите в тази секция, използвайки (17), (18) и (21), можем да напишем общите скалиращи закони за масата и средната плътност на дадена скала:

$$\frac{M'}{M_c} = \left(\frac{L'}{l_c}\right)^{\gamma}, \quad \frac{\langle\rho\rangle'}{\langle\rho\rangle_c} = \left(\frac{L'}{l_c}\right)^{\alpha}, \quad (26)$$

където са в сила следните общи връзки между показателите γ , α и структурния

параметър x :

$$\gamma = 3 + \alpha \quad , \quad \gamma x = \alpha \quad . \quad (27)$$

5. Дискусия и заключение

В представеното изследване ние показахме как скалиращите закони за масата и средната плътност на дадена скала, а също степенната връзка маса-плътност (чрез структурния параметър), могат да се свържат с PDF на плътността. В секции 2 и 3 това беше направено за разпределение от тип „степенна опашка“, а в секция 4 в общия случай на произволно непрекъснато разпределение. PDF на плътността е една от най-важните характеристики на МС, която се получава директно от наблюдения или от числени симулации. Той съдържа в себе си богата информация за структурата на облака и свързаната с нея физика. От друга страна МС са газови фрактали, в които развитата свръхзвукова турбулентност и гравитацията създават йерархия от скали ([5], [12]). По тази причина връзката на абстрактното понятие за скала, използвано в нашата работа, и съответстващата й маса и средна плътност, от една страна и такава основна характеристика, каквато е разпределението на плътността, от друга, е от фундаментално значение за една по-систематична теория на молекулярните облаци. В това ние виждаме основния принос на изследването. Трябва да отбележим специално и диференциалната връзка (23), която свързва (в общия случай на произволен непрекъснат PDF) средната плътност на дадена скала, с нивото на обрязване и структурния параметър и позволява неговото полесно пресмятане в някои важни частни случаи.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] V´azquez-Semadeni E., G´omez G., Jappsen A., Ballesteros-Paredes J., Gonz´alez R., Klessen R. S., 2007, ApJ, 657, 870
- [2] Banerjee R., V´azquez-Semadeni E., Hennebelle P., Klessen R. S., 2009, MNRAS, 398, 1082
- [3] Klessen R. S., 2000, ApJ, 535, 869
- [4] Kritsuk A., Norman M., Padoan P., Wagner R., 2007, ApJ, 665, 416
- [5] Larson R., 1981, MNRAS, 194, 809
- [6] Ballesteros-Paredes J., Hartmann L., V´azquez-Semadeni E., Heitsch F., Zamora-Avil´es M., 2011, MNRAS, 411, 65
- [7] Girichidis, Philipp, Konstandin, Lukas, Whitworth, Anthony P., Klessen, Ralf S. 2014, ApJ, 781, 91G
- [8] Ballesteros-Paredes J., V´azquez-Semadeni E., 1995, Rev. Mex. Astron. Astrofis., 3, 105
- [9] Ballesteros-Paredes J., 2006, MNRAS, 372, 443
- [10] Donkov, S., Veltchev, T., Klessen, R. S., 2011, MNRAS, 418, 916
- [11] Klessen, R. S., & Hennebelle, P., 2010, A&A, 520, A17
- [12] Elmegreen B. G., 1997, ApJ, 486, 944

КВАЗИПЕРИОДИЧНИ ОСЦИЛАЦИИ В СПЕКТЪРА НА МАЛОМАСИВНИЯ РЕНТГЕНОВ ПУЛСАР IGR J17511-3057

Иван Стефанов

Департамент по приложна физика, Технически Университет – София,
e-mail: izhivkov@tu-sofia.bg

Резюме. В настоящата работа се разглеждат две основни компоненти на рентгеновия спектър на неутронната звезда IGR J17511-3057 - високочестотните квазипериодични осцилации. За тяхното обяснение е приложен е модела на релативистичната прецесия. Чрез апроксимация на наблюдаваните честоти се получават оценки за масата и ъгловия момент на изследвания обект.

Ключови думи: неутронни звезди, квазипериодични осцилации, рентгенова астрономия.

1. Увод

Неутронните звезди са естествена лаборатория за изследването на физичните закони и процеси в условия на силно гравитационно поле и висока плътност. Бурното развитие на рентгенова астрономия от последните две десетилетия позволи наблюденията да достигнат до зоните, намиращи се в непосредствена близост до компактни обекти като неутронни звезди и черни дупки, т.е. до зоните, в които релативистичните ефекти са съществени. Натрупано е голямо количество наблюдателни данни, което дава възможност да бъдат проверени моделите, описващи различните явления свързани с физиката на неутронните звезди, да бъде изучена по-задълбочено структурата на неутронните звезди и най-вече да бъдат проверени различните теории на гравитацията в условия на силни полета.

Ето и някои от причините за значителния изследователски интерес, който предизвикват данните, получени от наблюдения на неутронни звезди в рентгеновата част на електромагнитния спектър. Понастоящем доминиращата теория на гравитацията е Общата теория на относителността (ОТО). Тя е добре изучена и потвърдена в условия на достатъчно слаби полета. При силни полета обаче тя остава непроверена. Има редица релативистични ефекти, за които все още нямаме експериментално потвърждение. Такива са например съществуването на област от пространството в непосредствена близост до компактни обекти, в която свободните материални частици не могат да се движат по кръгови орбити, съществуването на максимум на радиалната епициклична честота, разглеждана като функция на радиуса на кръговата орбитата, съществуването на прецесионно движение, чиято честота е със сто и шестдесет порядъка по-голяма от тази на Меркурий, съществуването на област

от пространството в непосредствена близост до компактни обекти, в която отсъстват неподвижни наблюдатели, съществуването на област от пространството в непосредствена близост до компактни обекти, която не може да бъде напусната от попадналата в нея светлината. Списъкът може да бъде продължен, като към него трябва да се добавят и вероятно най-екзотичните предсказания на ОТО - хоризонти на събитията и черни дупки.

Нуждата от задълбочаване на експерименталните познания за гравитационното поле в условия на силни полета става все по-голяма с възникването на голям брой алтернативни теории на гравитацията. Те могат да бъдат отличени една от друга най-вече в екстремни условия на силно поле и висока плътност.

Рентгеновата астрономия и по-конкретно изследването на еволюцията на характеристиките на рентгеновото лъчение на маломасивни компактни обекти като неутронните звезди позволява да получим информация, отнасяща се до изброените релативистични ефекти. В спектралните криви, описващи изменението на мощността на излъчването могат да бъдат наблюдавани различни компоненти. Всяка от тях е породена от различни физични процеси и представлява достатъчно обширна област на изследване. Настоящото изследване е фокусирано върху компонентите, наречени високочестотни квазипериодични осцилации. Те се описват с Лоренциани при апроксимацията на спектралната крива. Честотите на тези осцилации са от порядъка на няколкостотин херца, т.е. техният порядък е близък до характерните времеви мащаби на движение на материята, намираща се в близост до неутронна звезда. Счита се, че именно тези компоненти от спектъра най-добре отразяват структурата на пространство-времето в близка околност на неутронната звезда. Характерно за високочестотните квазипериодични осцилации е, че често се наблюдават не една, а двойка едновременни честоти наречени долна и горна.

2. Обект на изследване

В представените от Kalamkar и съавтори [1] данни за маломасивния рентгенов пулсар IGR J17511-3057 двойка от едновременни високочестотни квазипериодични осцилации се срещат в три от групите от наблюдения 1-ва, 2-ра и 7-ма. Те са представени в Таблица 1.

Таблица 1.

група	ν_L , Hz	ν_U , Hz
1	139.7 ± 4.2	251.8 ± 13.9
2	129.9 ± 11.0	272.2 ± 13.9
7	72.5 ± 4.9	179.9 ± 14.9

Целта на настоящата работа е да се приложи модел за обяснението на наблюдаваните честоти и за определяне на основните параметри, описващи неутронната звезда, а именно маса и ъглов момент.

В текста по-долу се използват мерни единици характерни за областта астрофизиката и теория на гравитацията, при които $c=1=G$, където c и G са съответно скоростта на светлината и Нютоновата гравитационна константа.

3. Метод на най-малките квадрати за нелинейна зависимост

Методът на най-малките квадрати е основен метод за апроксимация на набор от експериментални точки. Нека експерименталното множество се състои от N двойки числа $\{x_i, y_i\}_{i=1..N}$, където x_i са стойностите на независимата случайна величина, които са известни точно, а y_i тези на зависимата случайна величина, всяка от които е измерена с някаква експериментална грешка. За грешките се счита, че са нормално разпределени, като средната стойност и дисперсията на всички точки могат да бъдат различни.

За да опишем зависимостта между двете величини използваме модел, който се изразява чрез функция $y(a_1, \dots, a_M; x_i)$, съдържаща M свободни параметъра. Методът на най-малките квадрати ни позволява да оценим правдоподобността на избрания модел и да получим точкова и интервална оценка за стойностите на свободните параметри. Методът може да бъде използван както за случай на линейна, така и за случай на нелинейна функционална зависимост. Свежда се до оптимизация на хи-квадрат функцията

$$\chi^2(a_1, \dots, a_M) = \sum_{i=1}^N \frac{(y(a_1, \dots, a_M; x_i) - y_i)^2}{\sigma_i^2} \quad (1)$$

където σ_i са грешките на зависимата променлива. Тази функция е случайна величина и зависи от конкретната извадка, получена от дадената популация. Функцията хи-квадрат се подчинява на свое разпределение. Нейното математическо очакване е равно на броя на степените на свобода $N-M$, а дисперсията ѝ е $2(N-M)$. Типичните стойности за хи-квадрат лежат в интервала $N-M \pm \sqrt{2(N-M)}$. Стойности извън този интервал са индикация за неправдоподобността на използвания модел.

Като точкова оценка на свободните параметри се взимат стойностите, които минимизират хи-квадрат функцията. Интервални оценки за свободните параметри се получават, като се използва фактът, че при достатъчно малки отклонения на свободните параметри от техните оптимални стойности хи-квадрат остава в допустимия интервал. Подробно описание на процедурата може да бъде намерено в една от водещите съвременни книги по числени методи [2].

4. Модел на релятивистичната прецесия

Падащата към неутронна звезда заредена материя излъчва в рентгеновата част на електромагнитния спектър. Тя се описва приближено като газ от заредени частици, движещи се под действието само на гравитационното поле на централния обект.

Моделът на релятивистичната прецесия, който се използва в настоящата работа за апроксимация на едновременно наблюдаваните двойки честоти в спектъра на IGR J17511-3057, е предложен в цикъл работи на Stella и Vietri [3,4] посветени на корелацията, която се наблюдава между различните компоненти на рентгеновия спектър на неутронни звезди. Според този модел горната високочестотна квазипериодична осцилация ν_U се дължи на модулиране на излъчването от орбиталната честотата на частици, движещи се по приблизително кръгова орбита в близост до неутронната звезда $\nu_U = \nu_{\text{orbital}}(a, M; r)$. Долната честота ν_L е причинена от честотата на прецесия на равнината на орбитата, т.е. честотата на нутация $\nu_L = \nu_{\text{nod}}(a, M; r)$. Аналитичните изрази за тези честоти съдържат като параметри безразмерния ъгловия момент a и масата M на централния обект, в разглеждания случай това е неутронната звезда. Това са и свободните параметри на модела, които искаме да оценим чрез апроксимация на наблюдателните данни.

5. Приложение на модела на релятивистичната прецесия за апроксимация на наблюдаваните ВЧКПО

Данните могат да бъдат моделирани по няколко начина. Нанасяме двойките честоти върху координатна система, като избираме горната честота да бъде независимата променлива, а долната – зависимата, или обратно. За разлика от описаната в точка 3 постановка тук и двете променливи, както зависимата, така и независимата, имат грешки. Този факт съществено влошава качеството на апроксимацията. Поради грешките в независимата променлива функционалната зависимост не може да бъде определена точно. Това можем да видим от дефиницията на функцията хи-квадрат (1). При пресмятането ѝ се изисква да се пресметне функцията $y(a_1, \dots, a_M; x_i)$ в дадената експериментална точка, която обаче не е точно известна. Грешката на тази от променливите, която изберем за независима се пренебрегва. Двете възможности за избор на независима променлива водят до следните два изрази за функцията хи-квадрат

$$\chi_U^2(a, M) = \sum_{i=1}^N \frac{(\nu_U(a, M; \nu_{L,i}) - \nu_{U,i})^2}{\sigma_{U,i}^2} \quad \text{и} \quad \chi_L^2(a, M) = \sum_{i=1}^N \frac{(\nu_L(a, M; \nu_{U,i}) - \nu_{L,i})^2}{\sigma_{L,i}^2}. \quad (2)$$

В първия вариант за независима променлива е избрана долната честота, а във втория - горната. Всеки от изразите съдържа три члена и два свободни параметъра, a и M , т.е. и в двата случая имаме една на степен на свобода.

В литературата може да се срещне и следната дефиниция на функцията хи-квадрат

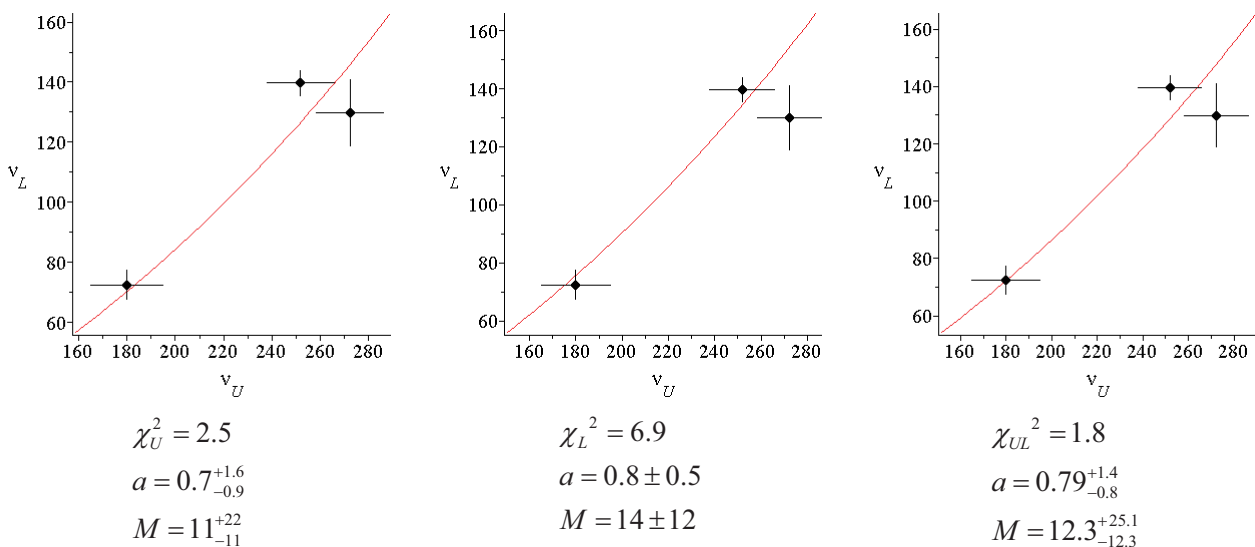
$$\chi_{UL}^2(a, M, r_1, r_2, r_7) = \sum_{i=1}^N \frac{(\nu_U(a, M; r_i) - \nu_{U,i})^2}{\sigma_{U,i}^2} + \frac{(\nu_L(a, M; r_i) - \nu_{L,i})^2}{\sigma_{L,i}^2}. \quad (3)$$

При този вариант се разглежда функционалната зависимост на горната и долната честота от радиуса, които за всяка от наблюдаваните двойки честоти има различна, неизвестна за нас, стойност. Радиусите на орбитите r_i , върху които възникват отделните двойки тук се считат за свободни параметри, които трябва да се варират. При това разглеждане броя на членовете в шест, а броя на свободните параметри - пет, т.е. отново имаме само една степен на свобода.

И при трите варианта приемливите стойности на хи-квадрат са в интервала $0 \leq \chi^2 \leq 2.41$.

6. Резултати и обсъждане

Резултатите от апроксимациите са представени на фиг. 1. Под всяка от графиките са преставени стойностите на съответната хи-квадрат функция, която е използвана и оптималните стойности на свободните параметрите заедно с техните грешки.

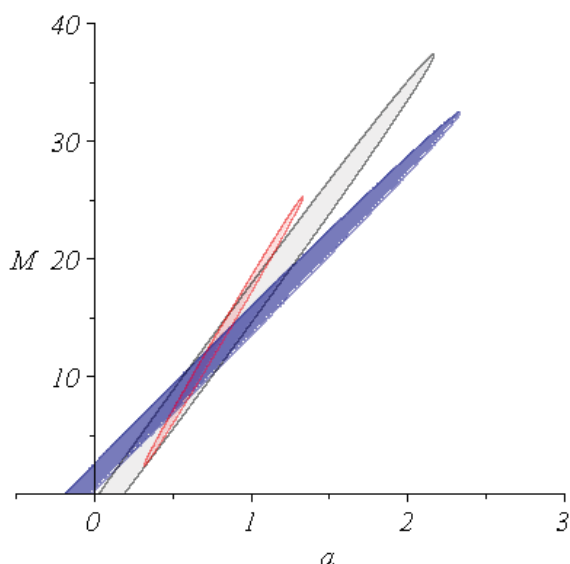


Фиг. 1.

Стойностите на хи-квадрат в първите два случая са твърде високи, което, в класическия случай би означавало, че модела не описва добре експерименталните резултати и че получените оценки за свободните параметри не са достоверни. В ситуацията описана по-горе можем да допуснем, че високите стойности на хи-квадрат се дължат не толкова на неподходящ избор на модел, колкото на неопределеността на независимата променлива. Изснвяването на истинската причина обаче изисква да бъдат направени допълнителни изследвания. Приемлива големина на хи-квадрат се получава в

последния случай. Интервалните оценки от трите варианта са в съгласие помежду си. Те се получават от проекциите на запълнените области представени на фиг. 2 върху координатните оси. Областта съответстваща на χ_U^2 е оцветена във виолетово, а тези на χ_L^2 и χ_{UL}^2 - съответно в червено и сиво.

Важно е да обърнем внимание и на факта, че доверителните интервали на ъгловия момент и масата на неутронната звезда, представени във фиг. 1. са много големи. Грешките са от порядъка на самите величини.



Фиг. 2.

4. Заключение

В настоящата работа е представена оценка за масата и ъгловия момент на неутронната звезда IGR J17511-3057 получена чрез апроксимация на честотите на високочестотните квазипериодични осцилации наблюдавани в нейната рентгеновата спектралната крива. Приложен е модела на релативистичната прецесия. За оценка на качеството на апроксимацията е използвана функцията хи-квадрат като са обсъдени три възможни варианта, по които тя може да бъде конструирана. Направена е кратка дискусия за причините за получените твърде високи стойности на функцията хи-квадрат. Стойностите за ъгловия момент и масата на обекта са твърде високи и показват, че той не би могъл да бъде неутронна звезда според съвременните ни представи.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kalamkar, M., Altamirano, D., van der Klis, M., ApJ 729, 7 (2011).
- [2] Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., Flannery, B. P., 2007, Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing, Third Edition, Cambridge University Press.
- [3] Stella, L., Vietri, M., ApJ, 492, L59 (1998).
- [4] Stella, L., Vietri, M., Morsink, S., ApJ, 534, L63 (1999).

ФОТОПРОВОДИМОСТ НА ПОЛУПРОВОДНИК. ОБЩО РЕШЕНИЕ ЗА ПЛОСЪК СЛУЧАЙ ПРИ ПОСТОЯННО ПОЛЕ.

Димитър Г. Стоянов

ИПФ-Сливен, ТУ-София, 8800 Сливен, Бургаско шосе 59
e-mail: dgstoyanov_ipf@abv.bg

Резюме. В работата се изследва формирането на поток от фотоелектрони в обема на полупроводников материал. Разглежда се плосък случай с неравномерно в пространството и променливо във времето осветяване на материала със светлина при постоянно електрично поле.

Ключови думи: полупроводник, фотопроводимост

1. Увод

Фотопроводимостта е важна характеристика на полупроводниковите материали. В настоящият етап на развитие на електрониката фотопроцесите в полупроводниците и полупроводниковите детайли намират все по-голямо практическо приложение. Затова става все по-належаща необходимостта в учебниците [1, 2] да се увеличат обемите, предназначени за изучаването на тези процеси.

Целта която си поставяме в тази работа е да се направи детайлен анализ на процесите който участват във формирането на фототока и неговото протичане. Като частен случай е разгледан плосък случай с неравномерно (пространствено и времево) осветяване на полупроводниковия материал.

2. Основни процеси и баланс на частиците

2.1. Геометрия на задачата

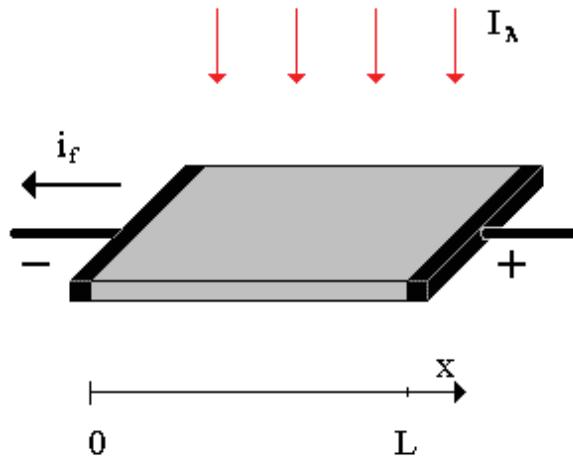
В работата разглеждаме плоска пластинка от хомогенен полупроводников материал, лежаща хоризонтално (виж фиг. 1). Дебелината на пластинката е a , а ширината b . По дължината на пластинката е прекарана оста OX на координатната система. Левият активен край на пластинката има координата $x = 0$, а десният активен край на пластинката има координата $x = L$.

Левият и десният край на пластинката, чрез оммичен контакт с проводник се свързва с външна електрическа верига, която притежава източник на напрежение и задава електрическият поляритет на краищата на пластинката.

Полупроводниковата пластинка се осветява отгоре с монохроматична светлина с дължина на вълната λ интензитет I_{λ} .

При такава геометрия на задачата всички параметри на задачата могат да зависят единствено от координатата x и времето t .

Поради малкият интензитет на светлината фотоелектроните няма да влияят на интензитета на електричното поле [1]. Това означава, че електричното поле е постоянно в обема на материала, насочено е в отрицателната посока на оста OX и има големина E . Предполагаме, че интензитетът на електричното поле не се променя във времето, и в дадения момент е еднакъв за целия образец.



Фиг. 1. *Пространствено разположение на полупроводниковия материал*

2.2. Основни процеси

При осветяване на повърхността на полупроводников материал със светлина, тя прониква в обема на материала и в резултат на вътрешен фотоефект предизвиква появата на електрони в зоната на проводимостта на полупроводника. Тези електрони ще наричаме фотоелектрони, за да ги различаваме от електроните в зоната на проводимостта, които могат да бъдат от основните токоносители или от легиране на материала. Концентрацията на фотоелектроните ще бележим с $N(x,t)$.

Генерацията на фотоелектрони в единица обем, за единица време е пропорционална на интензитета на монохроматичната светлина I_λ [1, 2]. Коефициентът на пропорционалност k_λ отчита отражението на светлината на границата на материала и спектралната чувствителност на материала по дължини на вълните λ на падащата светлина. Предполагаме, че интензитетът на светлината зависи само от координатата x и времето t - $I_\lambda(x,t)$.

Основният механизъм за загуба на фотоелектроните е рекомбинацията им с дупки N_p от зоната на валентността. При малък интензитет на светлината голяма част от процеса на рекомбинация ще настъпи с дупки, концентрацията на които не зависи от светлината. Поради това можем да въведем характерно

време на живот на фотоелектроните τ , което е постоянна, независеща от интензитета на светлината величина [1, 2].

2.3. Уравнение на баланса

Балансът на фотоелектроните, по наше мнение [3], трябва да направим, използвайки уравнението на непрекъснатостта, в дясната страна на което поставяме сумата на скоростите на реакция на разгледаните по-горе процеси.

В плоския случай уравнението на баланса добива вида [3]

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial \Gamma}{\partial x} = +k_{\lambda} I_{\lambda} - \frac{N}{\tau} \quad (1)$$

Тук в (1) фигурира Γ - поток на фотоелектроните по оста OX , породен от наличието на електрично поле с интензитет E . Ще предполагаме, че скоростта на потока съвпада с дрейфовата скорост на фотоелектроните u_d , насочена в положителната посока на оста OX

$$u_d = \mu E \quad (2)$$

Тук с μ е означена подвижността на фотоелектроните в материала ($\mu > 0$). Дрейфовата скорост също е еднаква в целия обем. Самият поток на фотоелектроните ще има вида

$$\Gamma = N u_d = N \cdot \mu E \quad (3)$$

Потокът фотоелектрони ще формира ток на фотоелектроните (който можем да наречем фототок) с плътност j_f , насочен в отрицателната посока на оста OX

$$j_f = -q \Gamma = -q N u_d = -q N \cdot \mu E \quad (4)$$

Тук q е големината на заряда на електрона ($q > 0$).

Замествайки (3) в (1), ще получим [4]

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (N \cdot \mu E) = +k_{\lambda} I_{\lambda} - \frac{N}{\tau} \quad (5)$$

Уравнение (5) представлява нехомогенно линейно диференциално уравнение от първи род за $N(x, t)$. То се решава при следните гранични условия:

а) Върху отрицателният край на материала концентрацията и потока на фотоелектроните е нула.

$$N(x=0, t) = 0 \quad (6)$$

б) Върху положителният край на материала концентрацията и потока на фотоелектроните е максимална.

$$j_f(x=L, t) = -q \Gamma(x=L, t) = -q u_d N(L, t) = -q \cdot \mu E \cdot N(L, t) \quad (7)$$

А фототока през образца ще има стойност

$$i_f(t) = q \cdot \mu \cdot E \cdot a \cdot b \cdot N(L, t) \quad (8)$$

2.4. Общо решение на уравнението

Уравнение (5) ще представим във вида

$$\frac{dN}{dx} + \frac{1}{\mu \cdot E} \cdot \left(\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{N}{\tau} \right) = + \frac{k_{\lambda} \cdot I_{\lambda}(x, t)}{\mu \cdot E}. \quad (9)$$

Решението, което предлагаме да се използва нататък, има вида

$$N(x, t) = k_{\lambda} \cdot \int_0^x \frac{I_{\lambda}(x', t')}{\mu \cdot E} \cdot \exp\left(-\frac{t-t'}{\tau}\right) \cdot dx' \quad (10)$$

$$x = x' + \mu \cdot E \cdot (t - t') \quad (11)$$

Тук координатата x' е точката от материала, в която в момента t' се поглъща светлината и възниква фотоелектрона. Последващото интегриране отчита преноса на фотоелектрона от електричното поле в точката с координата x ($x \geq x'$), с отчитане на вероятността за рекомбинация (с характерното време на живот на фотоелектроните τ в експонентата). Същественото в случаят е, че движението на фотоелектроните става с постоянна дрейфова скорост.

През образца ще бъде регистриран фототок i_f с големина

$$i_f(t) = q \cdot \mu \cdot E \cdot a \cdot b \cdot k_{\lambda} \cdot \int_0^L \frac{I_{\lambda}(x', t')}{\mu \cdot E} \cdot \exp\left(-\frac{t-t'}{\tau}\right) \cdot dx' \quad (12)$$

За изследване на общото решение първо ще извършим мащабиране на променливите и тяхното обезразмеряване.

Въвеждаме:

- безразмерна координата $0 \leq \xi \leq 1$ по дължината на образца

$$\xi = \frac{x}{L}; \quad (13)$$

- мащаб за интензитета на електричното поле E_m

$$E_m = \frac{L}{\tau \cdot \mu}; \quad (14)$$

- мащаб на интензитета на светлината I_1 , при който

$$I_{\lambda}(x, t) = I_1 \cdot I^*(\xi, t); \quad (15)$$

- мащаб на фототока

$$i_1 = q.k_{\lambda}.I_1.a.b.L. \quad (16)$$

Използвайки тези величини, уравнение (11) и (12) могат да се приведат във следния вид:

$$1 = \xi' + \frac{E}{E_m} \cdot \frac{t-t'}{\tau} \quad (17)$$

$$i_f(t) = i_1 \cdot \int_0^1 I^*(\xi', t') \cdot \exp\left(-\frac{t-t'}{\tau}\right) d\xi' \quad (18)$$

3. Частни случаи

3.1 Постоянно осветяване

Тогава

$$I^*(\xi, t') = I^*(\xi) \quad \text{за } 0 \leq \xi \leq 1 \quad (19)$$

Замествайки (19) в (18) и ползвайки (17) ще получим [4]

$$i_f = i_1 \cdot \int_0^1 I^*(\xi') \cdot \exp\left(-\frac{E_m}{E} \cdot (1 - \xi')\right) d\xi' \quad (20)$$

При много силни полета ще се наблюдава насищане на тока до стойност i_{fsat} - фототок на насищане, който има стойност

$$i_{fsat} = i_1 \cdot \int_0^1 I^*(\xi') \cdot d\xi' \quad (21)$$

3.2. Ивично осветяване

Тук ще предположим, че интензитета на светлината има следния вид

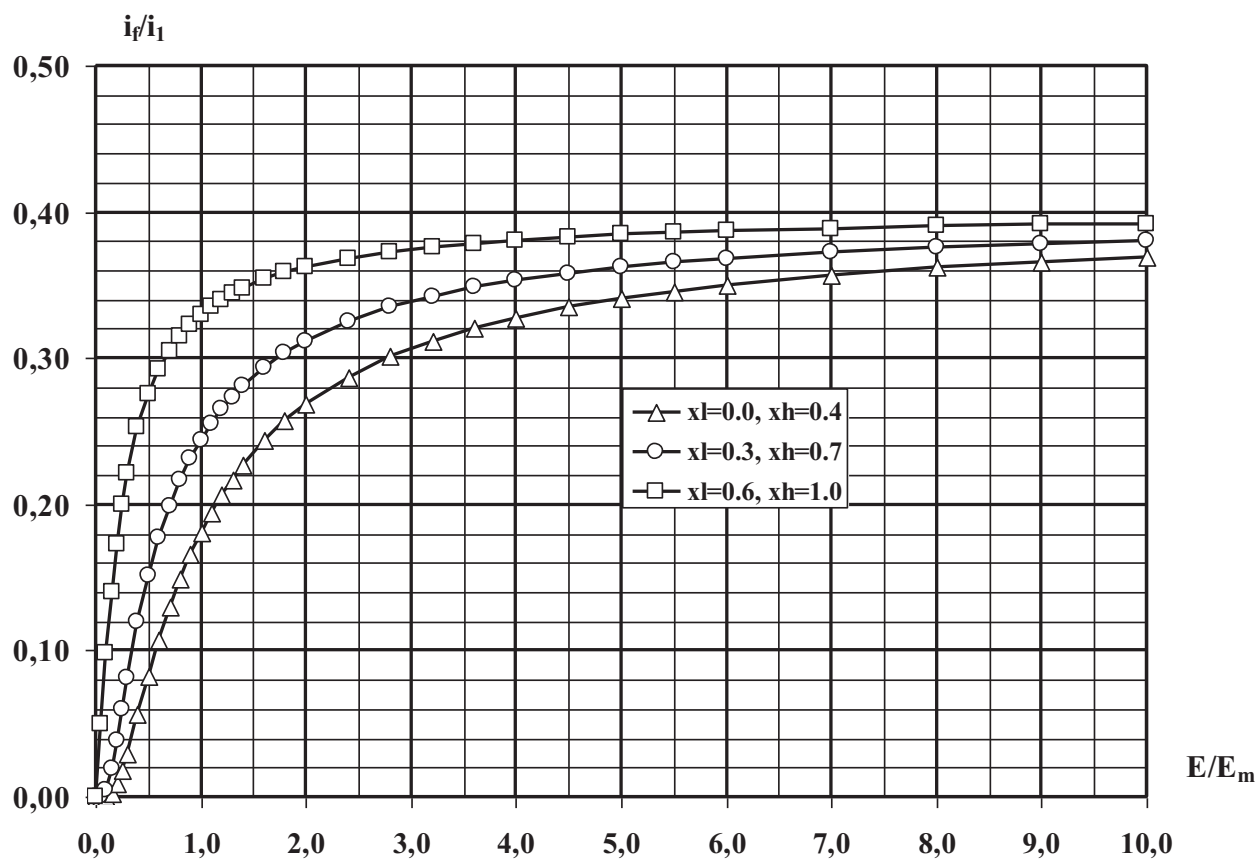
$$I^*(\xi, t') = 1 \quad \text{за } \xi_l \leq \xi \leq \xi_h \quad (22)$$

Замествайки (22) в (20) ще получим резултат, който съвпада с този от [4]

$$i_f = i_1 \cdot \frac{E}{E_m} \cdot \left[\exp\left(-\frac{E_m}{E} \cdot (1 - \xi_h)\right) - \exp\left(-\frac{E_m}{E} \cdot (1 - \xi_l)\right) \right] \quad (23)$$

На фиг. 2 е дадена графиката на тази зависимост. При много силни полета ще се наблюдава насищане до фототок на насищане

$$i_{fsat} = i_1 \cdot (\xi_h - \xi_l) \quad (24)$$



Фиг. 2. Графика на зависимостта (23) за различни ξ_l . В трите случая

$$i_{fsat}/i_1 = 0,4$$

3.3. Хомогенно постоянно осветяване

Тук ще предположим, че

$$I^*(\xi, t') = 1 \quad \text{за } 0 \leq \xi \leq 1 \quad (25)$$

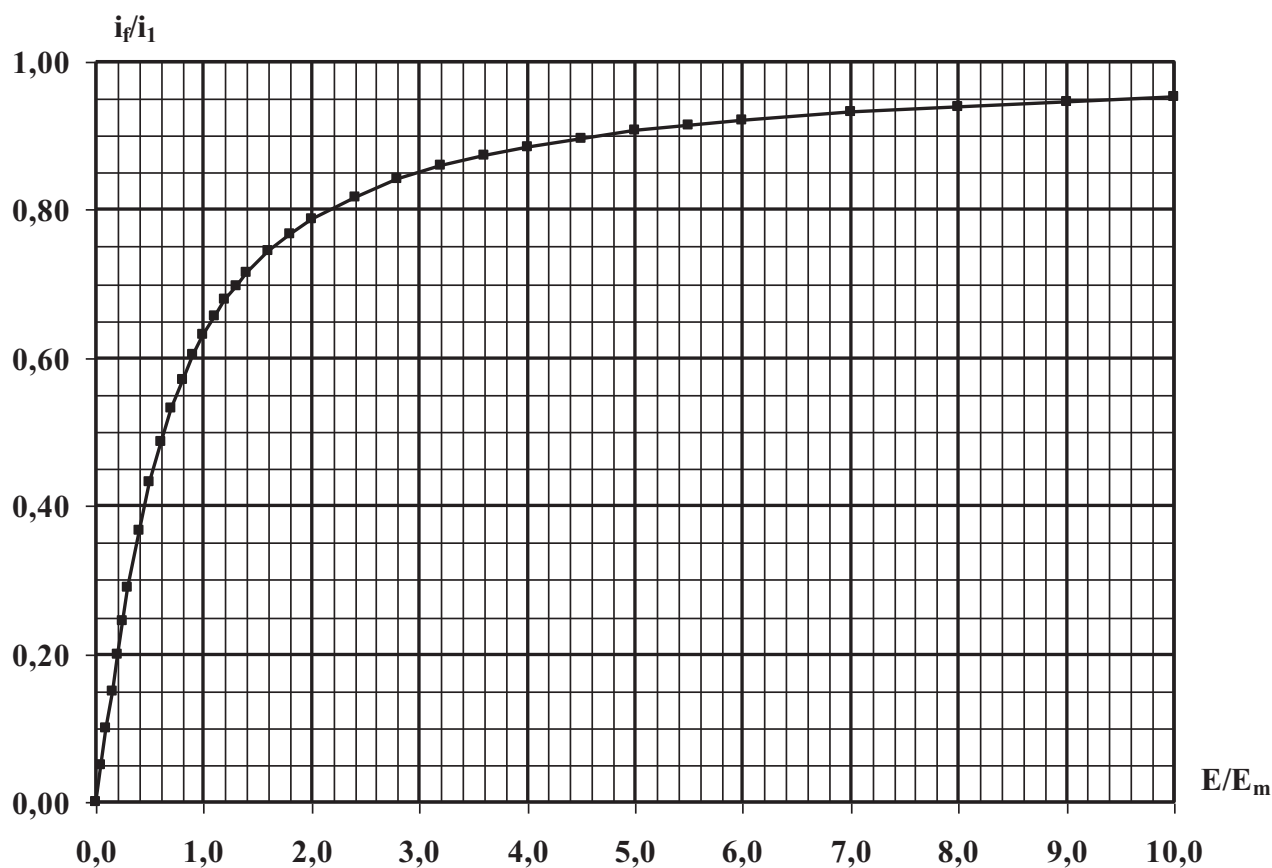
Замествайки (25) в (20) ще получим резултат, който съвпада с този от [3], получен по друг начин

$$i_f = i_1 \cdot \frac{E}{E_m} \left[1 - \exp\left(-\frac{E_m}{E}\right) \right] \quad (26)$$

На фиг.3 е дадена графиката на тази зависимост.

Фототокът на насищане в този случай има стойност

$$i_{fsat} = i_1 \quad (27)$$



Фиг. 3. Графика на зависимостта (26)

3.4. Хомогенно и променливо във времето осветяване

Предполагаме, че

$$I^*(\xi, t') = I^*(t') \quad \text{за } 0 \leq \xi \leq 1 \quad (28)$$

Замествайки (28) в (18) и ползвайки (17) ще получим

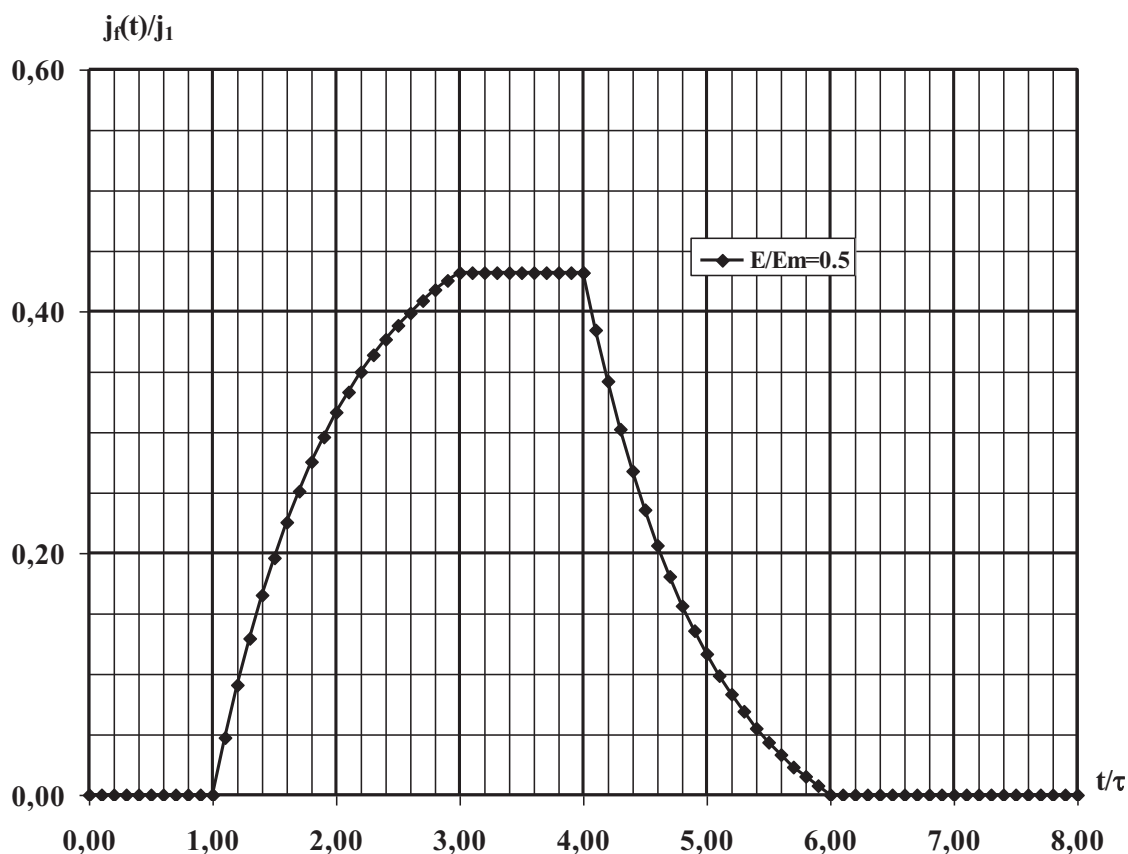
$$i_f(t) = i_1 \cdot \frac{E}{E_m} \int_{t - \frac{L}{\mu E}}^t \frac{I^*(t')}{\tau} \cdot \exp\left(-\frac{t-t'}{\tau}\right) dt' \quad (29)$$

Ако приемем, че дясната страна на (28) е константа и е равна на единица, от (29) ще получим отново (26).

На фиг. 4 е показана реакцията на импулсно осветяване

$$I^*(t') = 1 \quad \text{за } \frac{t'}{\tau} \in [1, 4] \quad (30)$$

От графиката се вижда, че импулса на фототока има непълно развитие на експонентите и плато на върха.



Фиг. 4. Графика на реакцията на пластината на импулсно осветяване при $E/E_m = 0,5$

4. Заключение

В заключение можем да кажем, че в резултат на анализ на уравнението на баланс на частиците е получено общото решение за фототока през полупроводника в плоския случай при постоянно поле. Разгледани са частните случаи на хомогенно и нехомогенно осветяване на образца, както и осветяване с променящ се във времето интензитет на светлината.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Епифанов Г.И., Мома Ю.А. (1986) *Твердотельная электроника: Учеб. для студентов вузов*, Москва, Изд. «Высш. школа», 304с.
- [2] Молдованова М. (1977) *Физика на полупроводниците*, София, Изд. «Наука и Изкуство», 1977, 454с.
- [3] Стоянов Д.Г. (2012) *Фотопроводимост на полупроводник. I. Плосък случай с равномерно осветяване*, сп. Известия на ТУ-Сливен, 2012г., №4, Сливен, 2012г., Стр. 03-09.
- [4] Стоянов Д.Г. (2012) *Фотопроводимост на полупроводник. II. Плосък случай с ивично осветяване*, сп. Известия на ТУ-Сливен, 2012г., №5, Сливен, Стр. 28-34.

РЕГРЕСИОНЕН МОДЕЛ ОТ ТРЕТА СТЕПЕН ЗА ЛАЗЕРНАТА ГЕНЕРАЦИЯ НА CuBr ЛАЗЕР

Илийчо Илиев

Факултет по машиностроене и уредостроене, Технически университет -Филиал Пловдив,
4000 Пловдив, ул. "Цанко Дюстабанов" 25, e-mail: iliev55@abv.bg

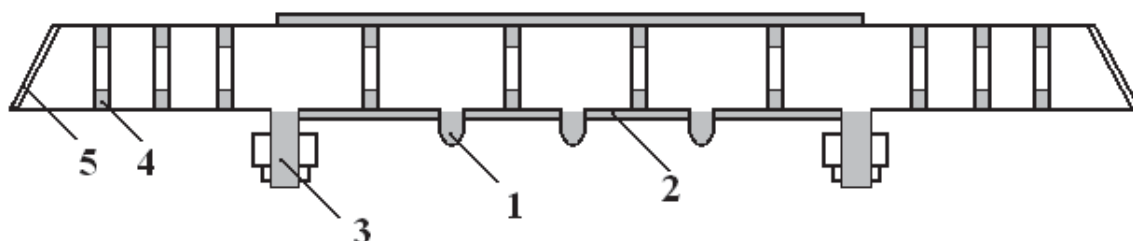
Резюме. Развит е нов регресионен модел от трета степен за лазерната генерация на лазер с пари на CuBr лазер.

Ключови думи: лазер с пари на CuBr, регресионен анализ, лазерна генерация.

1. Увод

Обект на изследване е лазер с пари на меден бромид (CuBr лазер), излъчващ във видимия диапазон, с две дължини на вълната: зелена - 510.6 nm и жълта - 578.2 nm. Този тип лазер се явява алтернатива на лазера с пари на чиста мед, тъй като неговата работна температура в лазерния обем е 500°C. Това позволява лазерната тръба да бъде изработена от кварц, което я прави по-евтина и по-лесно за изработване. Този тип лазер е най-мощния във видимата област, с висока кохерентност и сходимост на лазерния лъч. Ние изследваме варианти на този лазер, изобретени в Лабораторията по лазери с метални пари, Институт по физика на твърдото тяло "Академик Георги Наджаков", БАН, София. Първият патент, свързан с този тип лазер е от 1975г. [1]. Лазерът с пари на меден бромид е сред 12-те лазерни източника, които имат широко приложение и са от комерсиален интерес [2].

Схема на лазерната тръба е показана на фиг.1.



Фиг. 1. Схема на конструкцията на лазерната тръба на лазер с пари на меден бромид: 1 - резервоари с меден бромид, 2 - топлинна изолация в областта на активния обем, 3 - медни електроди, 4 - вътрешни диафрагми, 5 - огледала.

Лазери с пари на меден бромид с намират приложение в различни направления в практиката и научните изследвания [2].

- *Приложения в медицината и медицинските изследвания*

Лазерът с пари на меден бромид се използва в медицината основно в дерматологията и фотокоагулацията [3].

- *Приложения в индустрията*

Лазери и лазерни системи с пари на меден бромид се използват за микрообработка на различни видове материали: пробиване, рязане, маркиране, гравирание и др. Възможността да се стигне до прецизност от 10 микрона при някои материали не може да бъде достигната с никакви други методи. Обработват се: метали, пластмаси, полимери, керамика, кожи, дърво и др. [4].

- *В научните изследвания*

Лазерът е често използван за научни цели: за изотопно разделяне на различни химични елементи, за изучаване на магнитни свойства на материали и др. [5]

Лазерът с пари на меден бромид се използва за напompване на титано-сапфирени лазери, dye лазери и др. [2].

- *Други приложения*

CuBr лазер има и много други разнообразни приложения: във високоскоростната фотография, шоубизнеса и рекламата, лазерната микроскопия, лазерните дисплеи и нанотехнологии, военната промишленост, за въздушна и подводна навигация, изследване на екологични замърсявания на атмосферата и океана и др.[6].

Разширяване на приложенията на този тип лазери е свързано с повишаване на тяхната изходна мощност. Един от възможните подходи е разработването на математически и статистически модели за предсказване на поведението на лазерната генерация. В тази насока има разработени регресионни уравнения от първа и втора степен, които позволяват да се прогнозира лазерната генерация като функция на редица независими величини [8-10]. Развит е и частичен регресионен модел от трета степен, в който не участват всичките възможни комбинации от трета степен на независимите величини [11].

Целта на настоящата статия е да се изследва влиянието на всички величини от първа, втора и трета степен на изходната лазерна мощност. Подобни изследвания до този момент не са правени и в тази насока настоящата публикация ще бъде за първи път.

2. Обосновка на регресионния модел

Статистическите анализи за CuBr лазер се провеждат на базата на исторически данни, публикувани в [12-18].

Общият брой документирани експерименти е около 390. В тях са включени различни типове лазери с пари на меден бромид с различни геометрични характеристики. Общият тип геометрия на тръбата е дадена на фиг.1.

Изследват се данните за 11 наблюдавани величини, определящи функционирането на лазерната система. От тях 10 са независими, 1 е зависима. Подробното им описание е дадено на Таблица 1.

Таблица 1. Изследвани величини за лазер с пари на меден бромид.

Независими входни величини	Размерност
D – вътрешен диаметър на лазерната тръба	mm
dr – вътрешен диаметър на пръстените	mm
L – разстояние между електродите (дължина на активната зона)	cm
P_{in} – входна мощност	kW
P_{H2} – налягане на водорода	Torr
P_L – специфична мощност на единица дължина	kW/cm
P_{rf} – честота на повторение на импулсите	kHz
P_{Ne} – налягане на неона	Torr
C – еквивалентен капацитет на кондензаторната батерия	pF
T_r – температура на резервоара с меден бромид	°C
Зависими изходни величини	
P_{out} – изходна лазерна мощност (лазерна генерация)	W

За получаване на регресионното уравнение се използва многомерния регресионен анализ. Неговата основна цел е да се опише количествено връзките между няколко независими променливи (предиктори) и една (или повече) зависими от тях променливи (отклик). Многомерният регресионен анализ се прилага в различни варианти, от които в случая ще използваме Регресия с главните елементи (РГЕ) - (Principal Regression Analysis). Тази регресия може да се използва, когато изходните променливи са мултиколинеарни.

За развитието на модела от трета степен ще разгледаме всички възможни комбинации от първа, втора и трета степен, включително и повторенията:

$$P_{out} = a_0 + \sum_{i=1}^{10} a_i x_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ j \leq i}}^{10} a_{i,j} x_i x_j + \sum_{\substack{i,j,k=1 \\ k \leq j \leq i}}^{10} a_{i,j,k} x_i x_j x_k \quad (1)$$

Общото количество на неизвестните коефициенти е 286. За определяне на неизвестните коефициенти се използва статистическия пакет SPSS [19]. Приложеният пакет на регресионен анализ се използва в режим на постъпкова регресия (stepwise). От всички неизвестни коефициенти трябва да изберем само

тези, които са статистически значими, в частност със ниво на значимост $\text{Sin.} < 0.05$. Постъпковата регресия има това предимство, че следи за нивото на значимост на неизвестните коефициенти. Всеки коефициент, за който не е изпълнено условието $\text{Sin.} < 0.05$ се отстранява, като изчисляването на останалите коефициенти започва отначало. Получените значими коефициенти са показани в Таблица 2. За тяхното определяне са били необходими 15 стъпки. В случая са показани крайните резултати от последната, 15 стъпка.

Таблица 2. Резултати от регресионния анализ.

Coefficients ^a					
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
15 (Constant)	-10.133	1.360		-7.452	.000
Pin_PH2_C	-11.963	3.030	-.521	-3.948	.000
dr_Pin	.577	.050	1.489	11.569	.000
L_PL_PH2	.105	.012	1.424	9.001	.000
C_PH2_C	4.047	1.865	.074	2.170	.031
PH2_Pin_PH2	-37.353	6.649	-.624	-5.617	.000
D_PH2_Pne	-.007	.003	-.058	-2.428	.016
Pin_Pin_Pin	-.447	.067	-.424	-6.618	.000
dr_dr_C	-.009	.002	-.507	-5.036	.000
D_D_PH2	-.009	.003	-.201	-3.315	.001
Tr_C_Tr	1.725E-5	.000	.056	3.124	.002
dr dr dr	9.021E-5	.000	.218	2.186	.029

a. Dependent Variable: Pout

От показаните резултати се вижда, че от общо 286 неизвестни коефициенти са останали само 11 значими коефициенти. Тяхното ниво на значимост е по-малко от 0.05 (последната колона).

На основание получените резултати от Таблица 2 можем да запишем следното нестандартизирано уравнение за изходната лазерна мощност:

$$\begin{aligned}
 P_{out} = & -10,133 - 11,963 \cdot Pin \cdot PH2 \cdot C + \\
 & 0,577 \cdot dr \cdot Pin + 0,105 \cdot L \cdot PL \cdot PH2 + 4,047 \cdot C^2 \cdot PH2 \\
 & - 37,353 \cdot PH2^2 \cdot Pin - 0.007 \cdot D \cdot PH2 \cdot Pne - \\
 & 0.447 \cdot Pin^2 - 0,009 \cdot dr^2 \cdot C - 0,009 \cdot D^2 \cdot PH2 \\
 & + 1,72 \cdot 10^{-5} \cdot Tr^2 \cdot C + 9.021 \cdot 10^{-5} \cdot dr^3
 \end{aligned} \tag{2}$$

Стандартизираното уравнение има следния вид:

$$\begin{aligned}\hat{P}_{out} = & 1,489.dr.Pin + 1,424.L.PL.PH2 - 0,624.PH^2.Pin \\ & - 0,521.Pin.PH2.C - 0,607.dr^2.C - 0,424.Pin^3 + \\ & 0,218.dr^3 - 0,201.D^2.Ph2 + 0,074.C^2.PH2 - \\ & 0,058.D.PH2.Pne - 0,056.Tr^2.C\end{aligned}\quad (3)$$

Ще отбележим, че стандартизираното уравнение в зависимост от модула на коефициентите показва степента на влияние на всяко едно събираемо на зависимата величина P_{out} . В уравнение (3) величините са подредени в низходящ ред по степента им на влияние на P_{out} .

Резултатите от регресионния анализ показват, че на практика всички значими членове на регресионното уравнение (2) са от трета степен. Това още веднъж показва, че процесите в лазерната среда са силно нелинейни.

3. Резултати от регресионния анализ и тяхната интерпретация.

В следващата Таблица 3 е направена оценка на достоверността на регресионното уравнение (2). За целта е изчислена изходната лазерна мощност за няколко известни експериментални резултати в областта на високата лазерна мощност. В колона 12 на Таблица 3 е показана установената експериментално лазерна мощност за съответните значения на 10-те предиктори. В колона 13 е показано изчислената лазерна мощност съгласно уравнение (2) за същите значения на независимите величини. В последната колона 14 е показана относителната грешка в проценти. Средна относителна грешка е 5.1 %.

Таблица 3. Оценка на резултатите от регресионния анализ.

№ по ред	D, mm	Dr, mm	L, cm	Pin, KW	PL, W/cm	PH2, Torr	PRF, KHz	Pne, Torr	C, pF	Tr, °C	Pout, W	Pout Pre, W	Δ, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	58	58	200	5.00	12.50	.60	15.0	20	1.3	490	108	111.5	3.3
2	58	58	200	4.50	11.25	.60	16.0	20	1.3	490	110	105.6	4.0
3	58	58	200	4.50	11.25	.60	17.5	20	1.3	490	112	105.6	5.7
4	58	58	200	5.00	12.50	.60	16.0	20	1.3	490	118	111.5	5.4
5	58	58	200	5.00	12.50	.60	16.5	20	1.3	490	120	111.5	7.0

В следващата Таблица 4 е направено прогнозиране с цел създаване на нови лазерни източници с повишена лазерна мощност. На първия ред за сравнение е показан експериментален резултат с изходна лазерна мощност 120 W.

Таблица 4. *Резултати от компютърните изчисления.*

D, mm	dr, mm	L, mm	Pin, KW	PL, W/cm	PH2, Torr	PRF, KHz	Pne, Torr	C, pF	Tr, °C	Pout Pre,W
58	58	200	5.00	12.50	0.60	15	20	1.30	490	120.0
62	62	210	5.20	12.38	0.57	15	21	1.25	490	125.5
65	65	210	5.25	12.50	0.57	15	21	1.25	490	131.9
68	68	220	5.25	11.93	0.57	15	21	1.25	490	138.6
70	70	230	5.25	11.41	0.57	15	21	1.25	490	142.6

Резултатите от Таблица 4 показват, че най-силно влияние на лазерната генерация оказва прилаганата електрическа мощност. Нейното увеличаване, макар и с такава степен довежда до съществено увеличаване на лазерната генерация. Величините PH2 и C също имат влияние на лазерната генерация, но тяхното влияние обратно пропорционално.

4. Заключение

Развит е регресионен модел за лазерната генерация на CuBr лазер. Направено е сравнение с по-рано получени експериментални резултати. Проведени са компютърни симулации, които позволяват да се получат нови лазерни източници с повишена лазерна мощност.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] N. V. Sabotinov, et al., Bulg. patent No. 28674.
- [2] N. V. Sabotinov, Metal vapor lasers, in Gas Lasers, eds. M. Endo, R. F. Walter, CRC Press, Boca Raton, 449–494, 2006.
- [3] S. McCoy, M. Hanna, P. Anderson, G. McLennan, M. Repacholi, An evaluation of the copper–bromide laser for treating telangiectasia, Dermatol Surg., 22 (6), 551-557, 1996.
- [4] P. G. Foster, Industrial applications of copper bromide laser technology, Thesis (Ph.D.), University of Adelaide, School of Chemistry and Physics, Discipline of Physics, Dept. of Physics and Mathematical Physics, 2005.
- [5] B. Warner, Atomic vapour laser isotope separation, Proc. SPIE, 737, pp. 2-6, 1998.
- [6] G. S. Evtushenko, V. Yu. Kashaev, N. V. Parshina, V. B. Sukhanov, V. V. Tatur, Light-dynamic systems based on copper bromide vapor laser, Proc. SPIE, 4900, 1126-1129, 2002.
- [8] S. G. Gocheva-Ilieva, I. P. Iliev. Parametric and Nonparametric Empirical Regression Models: Case Study of Copper Bromide Laser Generation. Hindawi Publishing Corporation, Mathematical Problems in Engineering, Volume 2010, Article ID 697687, 15 pages doi:10.1155/2010/697687http://www.xxx.

- [9] N. P. Denev, I.P. Iliev. Second degree model of laser efficiency of a CuBr laser. Fifth Conference of the Euro-American Consortium for Promoting the Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences, Albena, Bulgaria, June 24-29, 2013, AIP Conference Precedence 1561, 92-99 (2013); doi:10.1063/1.4827218. © 2013 AIP Publishing LLC 978-0-7354-1189-0/\$30.00.<http://www.xxx>.
- [10] S.G.Gocheva-Ilieva, I.P.Iliev, Nonlinear regression model of copper bromide laser generation, Proceedings of COMPSTAT'2010, Eds. Y. Lechevallier, G. Saporta, 19th International Conference on Computational Statistics, Paris - France, August 22-27,2010, Physica-Verlag, Springer_ebook, pp. 1063-1070.
- [11] I.P.Iliev, N.P.Denev Parametric models of the third degree for output parameters of CuBr laser. Int J Scientific & Technology Research, 3 (11), November 2014, 28-31
- [12] D. N. Astadjov, N. K. Vuchkov, N. V. Sabotinov, Parametric study of the CuBr laser with hidrogen additives, IEEE J. of Quant. Electr., 24 (9), 1926-1935.
- [13] D. N. Astadjov, K. D. Dimitrov, D. R. Jones, V. K. Kirkov, C. E. Little, N. V. Sabotinov, et al. Copper bromide laser of 120-W average output power, IEEE J. Quantum Electron., 33(5), 705–709, 1997<http://www.xxx>.
- [14] D. N. Astadjov, K. D. Dimitrov, C. E. Little, N. V. Sabotinov, A CuBr laser with 1.4 W/cm³ average output power, IEEE J. Quantum Electronics, 30 (6), 1358–1360, 1994 .
- [15] N. K. Vuchkov, D. N. Astadjov, N. V. Sabotinov, A new circuit for CuBr laser excitation, Opt. Quantum Electronics 23, S549–S553, 1991.
- [16] N. V. Sabotinov, Copper bromide lasers. In: C. E. Little, N. V. Sabotinov, editors, Pulsed metal vapour lasers, NATO ASI series, Disarmament Technologies-5, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 113–124, 1996.
- [178] K. D. Dimitrov, N. V. Sabotinov, High-power and high-efficiency copper bromide vap or laser, SPIE 3052, 126–130, 1996.
- [17] D. N. Astadjov, K. D. Dimitrov, D. R. Jones, V. L. Kirkov, C. E. Little, N. Little, N. V. Sabotinov, et al. Influence on operating characteristics of scaling sealed-off CuBr lasers in active length, Opt. Commun. 135, 289–294, 1997.
- [18] V. M. Stoilov, D. N. Astadjov, N. K. Vuchkov, N. V. Sabotinov, High spatial intensity 10 W–CuBr laser with hydrogen additives, Opt. Quantum Electron., 32, 1209–1217, 2000.
- [19] A. Field. Discovering statistics using SPSS, 3rd ed., Sage Publication Inc., Los Angelis, 2009.

CHARACTERIZATION OF SI SURFACE, MODIFIED BY H^+ PLASMA IMPLANTATION

Sashka Alexandrova, Elena Halova, Nevena Kojuharova

Department of Applied Physics, Technical University, 8 Kl. Ohridski Blvd., 1000 Sofia, Bulgaria
e-mail: salex@tu-sofia.bg, ehalova@tu-sofia.bg, nkojuharova@tu-sofia.bg

Abstract. In the present work the results on the characteristics of the interface Si/SiO_x, obtained by oxidation in RF plasma hydrogenated silicon, are presented. As a characterization tool multiple frequency C-V and G-V measurement techniques were used to characterize the density of interface traps. In analyzing the data method of calculating the generalized frequency of independent CV characteristic is supplied. The dielectric constant of the oxide is determined. The thickness and refractive index of oxide are derived from ellipsometric measurements. The results allow the oxide to be classified as containing voids SiO_x, where $x < 2$. Found a correlation with the mechanical stresses in the layer..

Keywords: Si, SiO_x, hydrogenation, interface trap.

1. Introduction

Contemporary semiconductor electronics is still largely dominated by the silicon technology. Beyond for CMOS digital applications, Si/SiO₂ has been used for applications in various structures from solar cells to graphene films and carbon nanotubes, new 2D geometry, double gate devices, ballistic nanotube transistors etc. Detailed discussion on future developments of nanodevices can be found in the recent reviews [1, 2, 3]. Small sized silicon oxide in nanodevices obtained either by thermal oxidation of Si or by some deposition technique is usually non stoichiometric SiO_x. Thermal oxidation is conducted at lower temperatures compromising film growth rate and film quality. The interface to the Si can reveal lower quality, higher gate leakage and interface trap density. Improvement can be achieved by incorporation of hydrogen. Applied to silicon oxide layers in the nanometric scale, hydrogenation can have a beneficial impact for improving the defect and leakage characteristics.

Our previous studies have shown that hydrogenation of Si before thermal oxidation has a potential for obtaining higher interface quality to ultrathin oxides with thickness around and below 15 nm [4]. Optical study using micro-Raman and spectral ellipsometry revealed possibility to control the mechanical stress in the Si below the interface [5]. The possible future application of the thin films grown on the hydrogenated Si is conditional upon the studying of their electrical properties. Express and well developed technique for characterization is the capacitance-voltage C-V method. Combined with conductance-voltage G-V measurements taken at different frequencies it can deliver valuable information about interface quality.

The aim of the present paper is electrical characterization of the Si/SiO_x interface, formed on Si wafers exposed to rf hydrogen plasma prior oxidation. During plasma hydrogenation the Si wafers could be heated up to 300°C. The SiO_x layers with thickness below 10 nm were formed by thermal oxidation at 850°C. Thickness was ellipsometrically controlled.

For electrical characterization purposes the Si/SiO_x structures are incorporated in a MOS device. As a tool of investigations multiple frequency $C-V$ and $G-V$ measurement techniques are applied.

2. Experimental Details

The structures used in this study were MOS capacitors formed on 5-10 Ohm.cm n -type (111)-oriented single-crystal Si wafers. Oxides with a thickness below 10 nm were grown on rf plasma hydrogenated Si by thermal oxidation at 850°C in dry O₂ ambient. Some of the substrates were subsequently hydrogenated by exposure to a rf hydrogen plasma in a planar plasma unit with rf generator (13,56 MHz) capacitively coupled to the reactive chamber. The input power was 15 W. The hydrogen gas pressure was 133 Pa. The substrates were kept on the lower electrode. Part of the substrates was hydrogenated without heating and for another part the temperature was 300°C. Duration of the plasma exposure was 15 min.

For electrical characterization 1,96.10⁻³ cm² Al dots on the oxide surface and Al continuous film on the Si back-side were deposited by vacuum evaporation to form MOS structures. Information about the concentrations of the interface traps was gained from analysis of the frequency dispersion of the $C-V$ and $G-V$ characteristics taken in the frequency range 1 Hz- 300 kHz. The measurement unit was a Precision Component Analyzer Wayne-Kerr 6425. The interface trap density D_{it} was evaluated by comparison of the experimental and ideal theoretical $C-V$ characteristics. For that purpose a two frequency method has been applied [6]. By this technique a generalized frequency independent $C-V$ curve is evaluated.

Using the measured $C-V$ and $G-V$ curves at two frequencies the dissipation D is calculated from

$$D = \frac{G}{\omega C} \quad (1)$$

where G is the parallel conductance and C is the capacitance measured at the different frequencies. Using the method presented by Yang and Hu [6] the generalized capacitance C' is

$$C' = \frac{f_1^2 C_1 (1 + D_1^2) - f_2^2 C_2 (1 + D_2^2)}{f_1^2 - f_2^2} \quad (2)$$

where C_1 and D_1 refer to values measured at the frequency f_1 and C_2 and D_2 refer to values measured at the frequency f_2 .

Additional information about the oxide and interface region to the Si was gained using a Rudolf Research spectroscopic ellipsometer, in the wavelength range 280-820 nm, at an incidence angle of 70°. The accuracy of the thickness determination was ± 0.2 nm. The refractive index was calculated assuming the oxide-Si as a single oxide layer system.

3. Results and Discussion

The analysis of C - V and G - V characteristics has revealed that the MOS structures

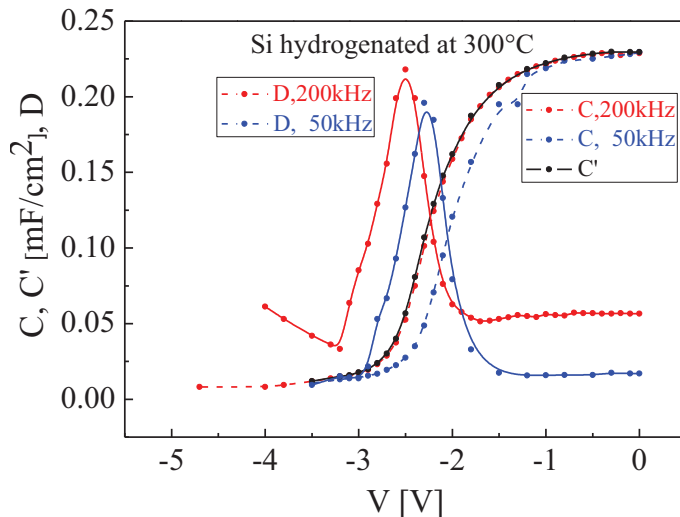


Fig. 1. C - V and D - V curves at two frequencies and the generalized C - V characteristic for Si hydrogenated at 300°C.

formed on hydrogenated Si indicate shifts and shapes of the measured curves that refer to high quality dielectric layer. Applying two-frequency method to the C - V and G - V characteristics taken at a variety of frequencies [6], a generalized C - V curve for every sample was generated. In these curves the series resistance and the leakage through the oxide layer is accounted for. An example of a generalized C - V curves is displaced in fig. 1 for oxide grown on Si hydrogenated at 300°C.

From comparison of the generalized C - V curves with the theoretical C - V curves, calculated for idealized case without presence of interface traps, the energetic spectra of the interface traps over Si bandgap have been calculated. The results for the oxides are given in fig. 2. The spectra show the presence of interface traps with localized energy levels in the Si bandgap. The spectrum of the oxide grown on unhydrogenated substrate reveals a set of energetical levels in the Si bandgap and a steep increase near the conduction band edge with relatively high density. The oxide grown on hydrogenated Si shows decrease of the density near midgap. Localized interface levels appear similarly to oxide on unhydrogenated Si and approximately at same energetical positions in the band. For the oxide grown on a Si substrate heated up to 300°C during plasma hydrogenation the spectrum flattens, localized states have disappeared, the density of the traps is reduced. The explanation could be in the combined annealing effect of the increased temperature and hydrogen incorporated during plasma hydrogenation which serves to repair damaged chemical bonds in the interface region. Hydrogen supply only, as evident from the spectrum of the oxide grown on Si hydrogenated without heating, although showing beneficial effect, is still not sufficient to bring the density of the traps to substantially low level. Localized

trap levels in Si bandgap can be associated to the interface region where transition from the crystalline Si to the amorphous silicon oxide occurs.

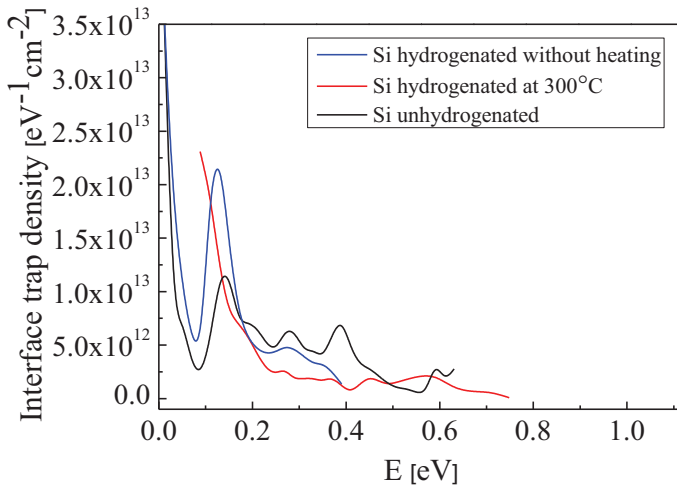


Fig. 2. Interface trap density spectra.

also indicates that the grown oxides should be defined as SiO_x , where $x < 2$. The refractive index values at 633 nm for the oxides are over 1.46 which is typical for stoichiometric SiO_2 . Taking the thickness of the oxide layers from the ellipsometric data, the dielectric constant of the oxide was calculated from the capacitance in strong accumulation of the generalized C - V curves. The results for the refractive index and the dielectric constant of the oxides are summarized in the table.

Table. Parameters of oxides grown on Si with different pre-oxidation treatment.

Si wafer pre-oxidation treatment	Refractive index n	Oxide thickness d_{ox} [nm]	Dielectric constant ϵ	$\sigma \cdot 10^8$ [N/m ²]
Plasma hydrogenation: unheated	1,620	13,60	3,76	1,94
Plasma hydrogenation: 300°C	1,478	13,20	3,42	1,80
Without hydrogenation	1,468	14,12	3,73	2,48
SiO_2	1,460	-	3,90	-
SiO	1,960	-	5,00	-

It can be expected that the dielectric constant ϵ should fall between the values of 3.90 for stoichiometric SiO_2 and 5.00 for silicon monoxide. However, our results are below this interval. The refractive index data reveal higher values as compared to stoichiometric SiO_2 and substantially lower values than SiO monoxide. This implies

that the oxide composition can be characterized rather as substoichiometric silicon dioxide, which becomes clearly evident for the oxides on plasma hydrogenated Si wafers being more pronounced for hydrogenation without heating. From the data for the dielectric constant also further indications can be made about the structure of the oxides. It can be suggested that the films contain voids with $\varepsilon = 1$, which lowers the dielectric constant. The voids have been proposed to be created in Si top layer during plasma hydrogenation which would persist even after oxidation [4]. Inclusion of voids in oxide network would imply smaller film density.

4. Conclusion

Electrical characterization of silicon oxides grown on rf plasma hydrogenated Si was conducted. Interface trap densities were evaluated from $C-V$ and $G-V$ measurements taken at different frequency applying two-frequency technique. A set of localized states acting as interface traps was found that characterize the interface of Si to substoichiometric SiO_x layer. For oxide grown on Si hydrogenated at increased wafer temperature most of the traps are annealed out. The dielectric constants were extracted from the generalized $C-V$ curves. Suggestion is made that the grown oxides on hydrogenated Si contain voids thus reducing the dielectric constant. Correlation is found with the results from ellipsometrically obtained refractive index and its relation to oxide mass density. The mechanical stress on the oxide estimated from micro-Raman evaluation shows decrease due to presence of voids in the oxide. Conclusion is made that the oxides grown on plasma hydrogenated Si can be characterized as substoichiometric SiO_x layers.

REFERENCES

- [1] Saraswat K 2010 *How far can we push Si CMOS?*
<http://www.ohio.edu/people/starzykj/network/class/ee516/slides/Future%20Devices.pdf>
- [2] Iwai H *Ultimate CMOS scaling* 2013 Korean International Summer School on Nanoelectronics 2–5 July 2013 Daejeon, Korea
<http://www.iwailab.ep.titech.ac.jp/pdf/iwaironbun/201307nanokiss.pdf>
- [3] Balestra F 2014 *Beyond CMOS Nanodevices* 1 ed. (New York: Wiley & Sons - Interscience)
- [4] Alexandrova S, Szekeres A and Halova E 2010 *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* **15** 012037
- [5] Alexandrova S, Szekeres A and Valcheva E 2012 *Physica status solidi (c)* **9** 2203-2206.
- [6] Yang K J and Hu Ch 1999 *IEEE Trans. Electron Dev.* **46** 1500

ПОВЕДЕНИЕ НА ФУНКЦИОНАЛНО ПОДРЕДЕНИ МАГНИТО-ЕЛЕКТРО-ЕЛАСТИЧНИ МАТЕРИАЛИ ПОД ВЪЗДЕЙСТВИЕТО НА ВЪНШНО ДИНАМИЧНО НАТОВАРВАНЕ

Йонко Стойнов

Факултет по приложна математика и информатика, ТУ-София,
София 1000, бул. Кл. Охридски 8, e-mail: ids@tu-sofia.bg

Резюме. Функционално подредените материали привличат все повече вниманието на изследователите, поради факта, че техните отлични качества удовлетворяват нарастващите изисквания за съвременните инженерни структури. Те са композитни материали, чиито свойства се променят непрекъснато в поне едно пространствено направление. В тази статия ще разгледаме функционално подредени магнито-електро-еластични материали с пукнатини, подложени на външен динамичен анти-плейн товар. Ще представим числени симулации за концентрацията на напрежението в краищата на пукнатината в зависимост от честотта на външния товар за различни материали и различни параметри на материалния градиент.

Ключови думи: функционално подредени, магнито-електро-еластични материали, анти-плейн товар

1. Увод

С развитието на модерната индустрия все повече се увеличават и изискванията към материалите, които се използват в съвременните инженерните структури. Често тези изисквания са противоречиви и не могат да бъдат удовлетворени от чисти метали или неметали. Например от материала може да се изисква да бъде, както твърд така и ковък или термоустойчив, но такъв материал в природата няма.

За да се получат нови материали се смесват метали и неметали в разтопено състояние, при което се получават нови свойства, които не съществуват в изходните материали. Този метод, известен отскоро и като конвенционално легиране, се е използвал още от древността при изработването на сплав от мед и калай, наречена бронз, която има много по-голяма твърдост от медта. Има различни ограничения за използването на този подход, например когато отделните съставки имат твърде различни температури на топене. Някои от недостатъците на конвенционалното легиране се преодоляват с използването на праховата металургия, при която изходните материали са прахове, но въпреки отличните си характеристики този метод също има ограничения, като например факта, че получените изделия са порести и имат намалена механична якост [1], което е пагубно за някои приложения.

Друг начин за получаване на нови свойства е чрез комбиниране на материалите в твърдо състояние. Магнито-електро-еластичните композити притежават магнитоелектричен ефект, който не съществува в пиезоелектричната или пиеземагнитната фаза и се дължи на механичното взаимодействие на двете фази в композита. Поради това свойство те намират все по-голямо приложение в модерните инженерни структури. В условия на експлоатация, обаче възникват проблеми свързани с отделянето на двете фази-процес известен като деламинация. Този недостатък е свързан с рязката промяна на материалните свойства при преминаване от едната фаза на композита в друга.

За да се преодолее този недостатък, се създават функционално подредените материали (ФПМ), при които свойствата се променят непрекъснато с изменение на разстоянието в едно или повече пространствени направления. Концепцията за функционално подредените материали възниква за пръв път в Япония през 1984г. във връзка с проекта SPACEPLANE, при който е трябвало да се преодолее температурна разлика от 1000K на разстояние по-малко от 10 mm. Най-често ФПМ са металокерамични хетерогенни структури, при които керамиката осигурява добра термоустойчивост, а металната компонента се използва, поради нейната отлична твърдост. Материалните свойства на такъв ФПМ се променят непрекъснато от керамиката до метала и по такъв начин получаваме нов материал с необходимата термоустойчивост от едната страна и много добра твърдост от другата [2]. Областта на приложение на тези авангардни материали е много широка, като някои основни области на приложения са: аерокосмическата индустрия, медицина, ядрената индустрия, енергиен сектор, комуникации и др.

Анализът на ФПМ с пукнатини е важен от гледна точка на тяхната структурна цялост. Вземайки предвид широкото приложение на ФПМ в съвременните технологии е необходимо да се отдели сериозно внимание на механиката на разрушенията за различни задачи за пукнатини и други дефекти в този вид материали.

В тази статия ще разгледаме функционално подредени магнито-електро-еластични материали (ФПМЕЕМ) с пукнатини, подложени на външно анти-плейн натоварване. Ще покажем зависимостта на концентрацията на напрежението в краищата на пукнатината от нормализираната честота на външното натоварване за различни материали и различни параметри на материалния градиент.

2. Описание на задачата

Разглеждаме трансферзално изотропен магнито-електро-еластичен материал и координатна система $Ox_1x_2x_3$, като оста на симетрия и поляризация на материала съвпада с Ox_3 , а Ox_1x_2 е изотропната равнина. Задачата е двумерна т. е. величините са едни и същи във всички равнини перпендикулярни на оста на

симетрия и не зависят от x_3 . Конститутивните уравнения за този вид материал могат да се запишат в следния компактен вид:

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl}(x)u_{k,l} \quad (1)$$

където $C_{ijkl}(x)$, $x = (x_1, x_2)$ е обобщения тензор на еластичност дефиниран по следния начин:

$$C_{i33l} = \begin{cases} c_{44}, i=l \\ 0, i \neq l \end{cases}, C_{i34l} = C_{i43l} = \begin{cases} e_{15}, i=l \\ 0, i \neq l \end{cases}, C_{i44l} = \begin{cases} -\varepsilon_{11}, i=l \\ 0, i \neq l \end{cases},$$

$$C_{i35l} = C_{i53l} = \begin{cases} q_{15}, i=l \\ 0, i \neq l \end{cases}, C_{i44l} = \begin{cases} -\varepsilon_{11}, i=l \\ 0, i \neq l \end{cases},$$

$$C_{i45l} = C_{i54l} = \begin{cases} -d_{11}, i=l \\ 0, i \neq l \end{cases}, C_{i55l} = \begin{cases} -\mu_{11}, i=l \\ 0, i \neq l \end{cases},$$

като $c_{44}(x)$ е еластичният модул, $e_{15}(x)$ е пиезоелектричният коефициент, $q_{15}(x)$ е пиеземагнитният коефициент, $\varepsilon_{11}(x)$ е диелектричната константа, $\mu_{11}(x)$ е магнитната пропускливост и $d_{11}(x)$ е магнитоелектричният коефициент, а $u_j(x)$ и $\sigma_{ij}(x)$ са съответно обобщеното преместване и обобщеното напрежение дефинирани така:

$$u_j = \begin{cases} u_3, J=3 \\ \varphi, J=4 \\ \psi, J=5 \end{cases}, \sigma_{ij} = \begin{cases} \sigma_{i3}, J=3 \\ D_i, J=4 \\ B_i, J=5 \end{cases},$$

където $u_3(x)$ е механичното преместване по оста Ox_3 , $\varphi(x)$ и $\psi(x)$ са съответно електричният и магнитният потенциал, $\sigma_{i3}(x)$ са компонентите на тензора на напрежение, а $D_i(x)$ и $B_i(x)$ са компонентите съответно на електричната и магнитната индукция по оста Ox_i , $i=1,2$. Предполагаме, че материалните параметри зависят от положението в равнината по следния начин:

$$e_{15}(x) = h(x)e_{15}, c_{44}(x) = h(x)c_{44}, q_{15}(x) = h(x)q_{15},$$

$$\varepsilon_{11}(x) = h(x)\varepsilon_{11}, d_{11}(x) = h(x)d_{11}, \mu_{11}(x) = h(x)\mu_{11}, \rho(x) = h(x)\rho,$$

където $\rho(x)$ е плътността, а $h(x)$ е функцията на нехомогенност, $h(x) > 0$. Използвайки конститутивните уравнения (1) и уравненията на Максвел, стигаме до следната система частни диференциални уравнения (с t е означена променливата за време):

$$\begin{cases}
(c_{44}(x)u_{3,i})_{,i} + (e_{15}(x)\varphi_{,i})_{,i} + (q_{15}(x)\psi_{,i})_{,i} = \rho(x)\frac{\partial^2 u_3}{\partial^2 t} \\
(e_{15}(x)u_{3,i})_{,i} - (\varepsilon_{11}(x)\varphi_{,i})_{,i} - (d_{11}(x)\psi_{,i})_{,i} = 0 \\
(q_{15}(x)u_{3,i})_{,i} - (d_{11}(x)\varphi_{,i})_{,i} - (\mu_{11}(x)\psi_{,i})_{,i} = 0,
\end{cases} \quad (2)$$

Тук $,i$ означава диференциране по променливата x_i и разбираме сумиране по повтарящи се индекси. В случая на хармонична по времето зависимост на обобщеното преместване: $u_3(x,t) = u_3(x)e^{it\omega}$, $\varphi(x,t) = \varphi(x)e^{it\omega}$ и $\psi(x,t) = \psi(x)e^{it\omega}$, където ω е честотата на външния хармоничен товар, от (2) получаваме следната система:

$$\begin{cases}
(c_{44}(x)u_{3,i})_{,i} + (e_{15}(x)u_{4,i})_{,i} + (q_{15}(x)u_{5,i})_{,i} + \rho\omega^2 u_3 = 0 \\
(e_{15}(x)u_{3,i})_{,i} - (\varepsilon_{11}(x)u_{4,i})_{,i} - (d_{11}(x)u_{5,i})_{,i} = 0 \\
(q_{15}(x)u_{3,i})_{,i} - (d_{11}(x)u_{4,i})_{,i} - (\mu_{11}(x)u_{5,i})_{,i} = 0,
\end{cases} \quad (3)$$

С използване на обобщен тензор на еластичност и обобщено преместване системата (3) може да се запише компактно така:

$$(C_{ijkl}(x)u_{k,l})_{,l} + \rho_{JK}(x)\omega^2 u_K = 0, \quad (4)$$

където $i, l = 1, 2$, а $J, K = 3, 4, 5$, $\rho_{JK} = \begin{cases} \rho, J = K = 3 \\ 0, J \text{ или } K \neq 3 \end{cases}$.

Разглеждания материал е подложен на падаща анти-плейн вълна и тази вълна след взаимодействие с пукнатината се разсейва. Полето във всяка точка на равнината Ox_1x_2 се получава чрез принципа на суперпозицията:

$$u_J = u_J^{in} + u_J^{sc},$$

където с u_J^{in} е означена падащата, а u_J^{sc} е разсеяната от пукнатината вълна. Предполагаме, че пукнатината е електромагнитно непроницаема и свободна от механични усилия. При това предположение сумарното обобщено усилие $t_J = \sigma_{ij}n_i$ по пукнатината е 0 (с n_i сме означили компонентите на нормалния вектор към пукнатината):

$$t_J = t_J^{in} + t_J^{sc} = 0. \quad (5)$$

Ще считаме, че падащото поле е известно. Неизвестно е разсеяното вълново поле, което трябва да удовлетворява (4), (5) и условието $u_J^{sc} \rightarrow 0$ при $x \rightarrow \infty$. Наличието на фундаментално решение на (4) ни дава възможност да сведем граничната задача до интегро-диференциално уравнение върху пукнатината.

Фундаментално решение u_{KM}^* на системата частни диференциални уравнения (4) наричаме решението на уравнението:

$$\sigma_{iJM,i}^* + \rho_{JK} \omega^2 u_{KM}^* = -\delta_{JM} \delta(x, \xi), \quad (6)$$

където δ_{JM} е символът на Кронекер, а $\delta(x, \xi)$ е делта функцията на Дирак. Тъй като коефициентите в това уравнение зависят от x , ще направим трансформацията $u_{KM}^* = h^{-1/2} U_{KM}^*$ и след заместване в (6) уравнението за U_{KM}^* ще изглежда така:

$$C_{iJKI} U_{KM,ii}^* + [\rho_{JK} \omega^2 - C_{iJKI} h^{-1/2} (h^{1/2})_{,ii}] U_{KM}^* = -h^{-1/2} (\xi) \delta_{JM} \delta(x, \xi) \quad (7)$$

Лявата страна на (7) ще е с постоянни коефициенти, ако $h^{-1/2} (h^{1/2})_{,ii} = const$. Това е възможно в няколко случая. Ние разглеждаме случая, когато $h(x) = e^{2(a_1 x_1 + a_2 x_2)}$, при което $h^{-1/2} (h^{1/2})_{,ii} = a_1^2 + a_2^2$. След като сме получили система с постоянни коефициенти, намираме фундаменталното решение, с използването на права и обратна трансформация на Радон.

Знаейки фундаменталното решение, свеждаме граничната задача (4), (5) до система интегродиференциални уравнения върху пукнатината (виж Wang and Zhang [3], Gross et al.[4]):

$$t_J^{sc}(x, \omega) = -C_{iJKI}(x) n_i(x) \int_{\Gamma} [(\sigma_{\eta PK}^*(x, y, \omega) \Delta u_{P,\eta}(y, \omega) - \rho_{QP} \omega^2 u_{QK}^*(x, y, \omega) \Delta u_P(y, \omega)) \delta_{\lambda I} - \sigma_{\lambda PK}^*(x, y, \omega) \Delta u_{P,I}(y, \omega)] n_{\lambda}(y) d\Gamma, x \in \Gamma, \quad (8)$$

където $\Delta u_J = u_J \Big|_{\Gamma^+} - u_J \Big|_{\Gamma^-}$ е скокът на обобщеното преместване върху пукнатината, а $t_J^{sc}(x, \omega)$ намираме от граничните условия (5). Дискретизираме пукнатината и получаваме система за неизвестните Δu_J . След решаване на тази система и намиране на Δu_J , сме в състояние да намерим полето във всяка точка на равнината. Обобщените коефициенти на интензивност на напрежението (КИН) намираме по формулите:

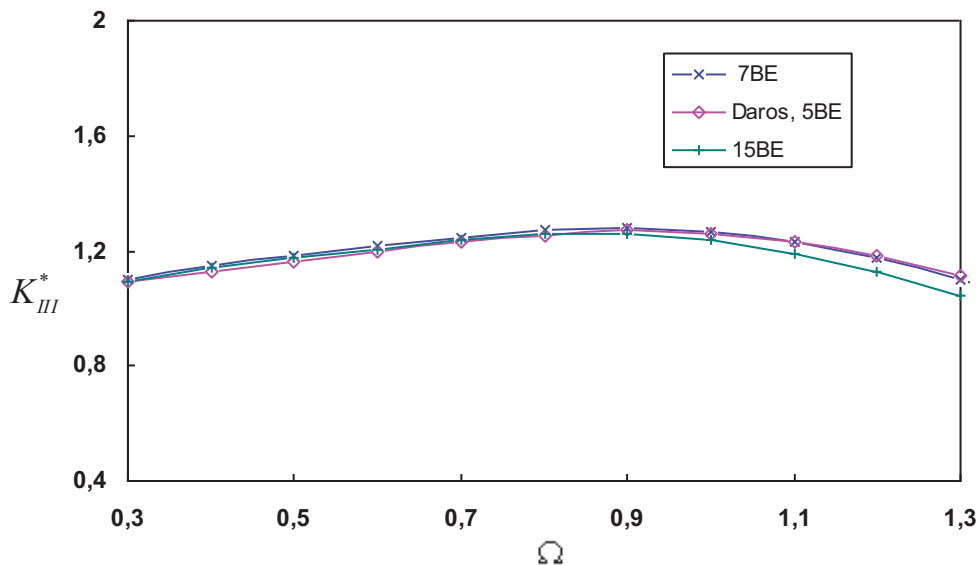
$$K_{III} = \lim_{x_1 \rightarrow \pm c} t_3 \sqrt{2\pi(x_1 \mp c)} \quad K_E = \lim_{x_1 \rightarrow \pm c} E_2 \sqrt{2\pi(x_1 \mp c)}, \quad K_H = \lim_{x_1 \rightarrow \pm c} H_2 \sqrt{2\pi(x_1 \mp c)}.$$

3. Числена реализация

За числените пресмятания е създаден програмен код на FORTRAN 77. Разглеждаме хоризонтална пукнатина по оста Ox_1 заемаща интервала $(-c, c)$, $c = 5$ mm. Пукнатината е дискретизирана, като са използвани 7 и 15 гранични елемента. Параметрите a_1 и a_2 от функцията на нехомогенност са представени

във вида $a_1 = \beta \frac{\cos \alpha}{2c}$, $a_2 = \beta \frac{\sin \alpha}{2c}$. Материалните свойства на използвания магнито-електро-еластичен материал са дадени в Li [5], Song and Sih [6].

Числените резултати, получени с програмния код са сравнени с резултатите получени от Daros [7] за функционално подреден еластичен материал с $\alpha = \frac{\pi}{2}$ и $\beta = 0.4$. Сравнението е показано на фиг. 1. Виждаме добро съвпадение на резултатите, разликите са не по-големи от 3%.

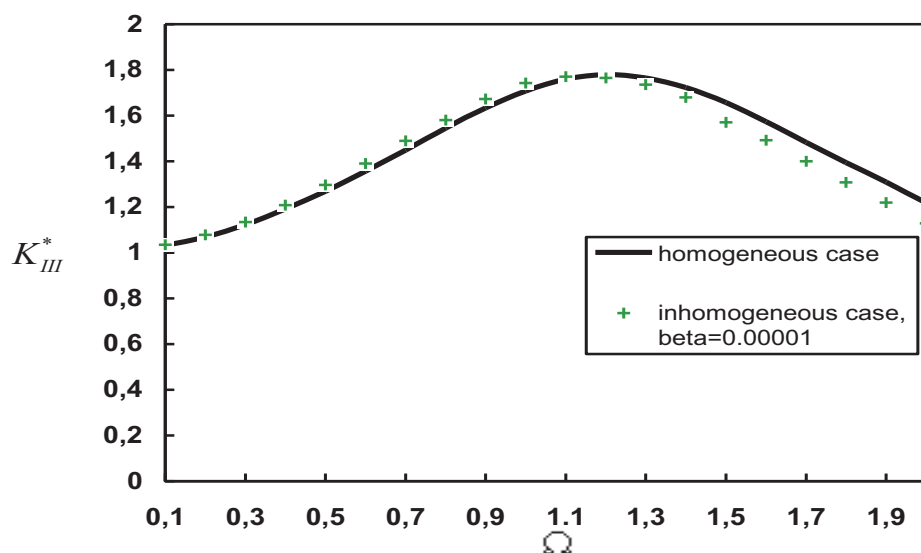


Фиг. 1. Нормализираният КИН $K_{III}^* = \frac{K_{III}}{t_3^{in} \sqrt{\pi c}}$ в зависимост от

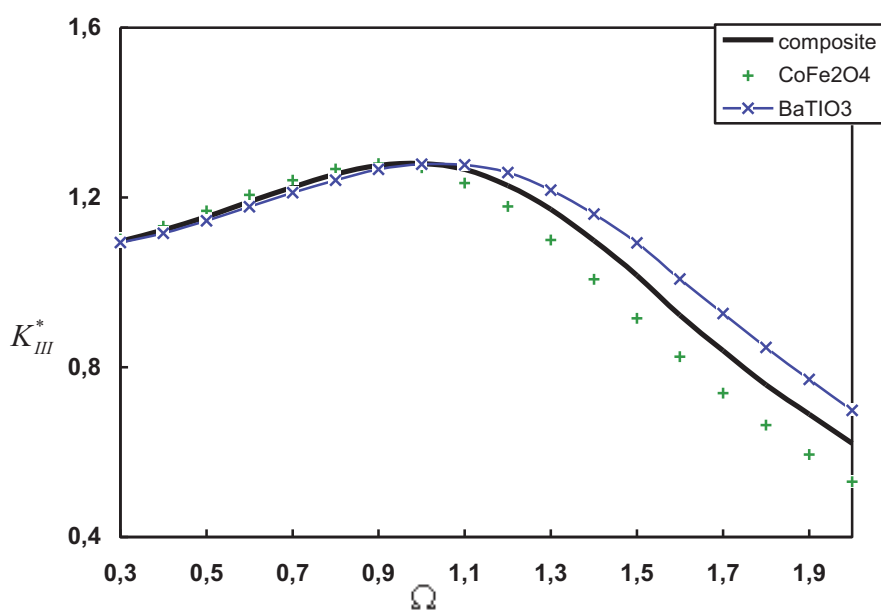
$$\text{нормализираната честота } \Omega = ck_e, \quad k_e = \sqrt{\frac{\rho \omega^2}{c_{44}} - a_1^2 - a_2^2}.$$

Друго сравнение е направено с резултатите за хомогенен магнито-електро-еластичен материал за много малка стойност на материалния градиент $\beta = 0.00001$ на ФПМЕЕМ. Резултатите показани на фиг. 2 отново показват много добро съвпадение.

На фиг. 3 е представена зависимостта на нормализирания КИН от нормализираната честота за различни функционално подредени материали: пиезоелектричен $BaTiO_3$, пиеземагнитен $CoFe_2O_4$, пиезоелектричен /пиеземагнитен композит $BaTiO_3/CoFe_2O_4$. Наблюдаваме максимум и за трите графики за $\Omega = 1.0$, като след максимума стойностите за $BaTiO_3$ са най-големи, а за $CoFe_2O_4$ най-малки. Виждаме, че КИН е чувствителен към материала.

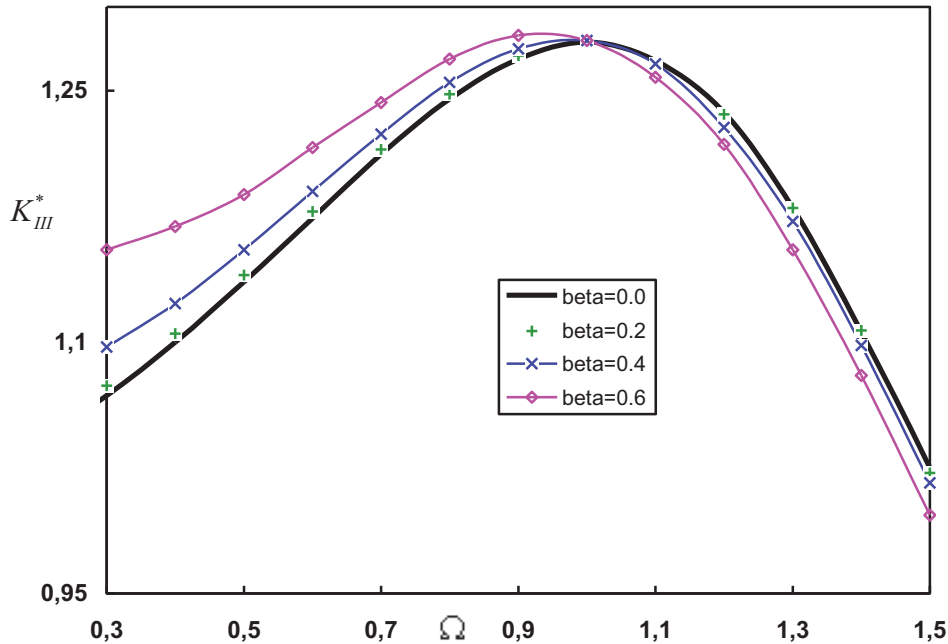


Фиг. 2. Нормализираният КИН $K_{III}^* = \frac{K_{III}}{t_3^{in} \sqrt{\pi c}}$ в зависимост от нормализираната честота $\Omega = c \sqrt{\rho c_{44}^{-1}} \omega$.



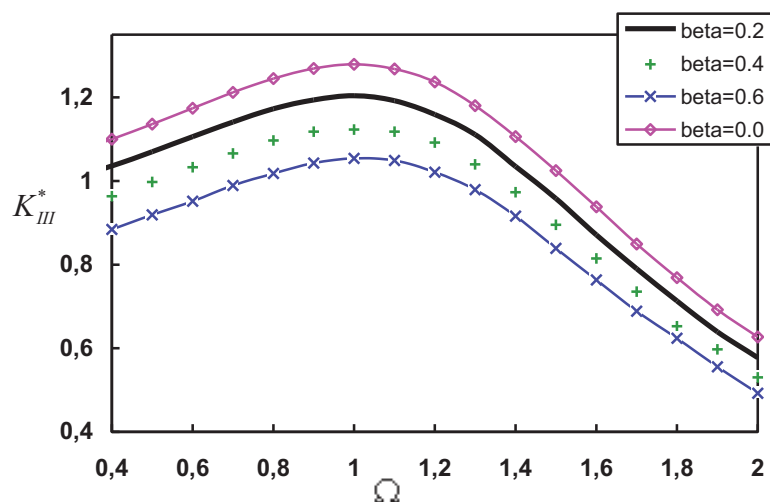
Фиг. 3. Нормализираният КИН $K_{III}^* = \frac{K_{III}}{t_3^{in} \sqrt{\pi c}}$ в зависимост от нормализираната честота $\Omega = c \sqrt{\rho c_{44}^{-1}} \omega$ за функционално подредени материали с $\alpha = \frac{\pi}{2}$ и $\beta = 0.4$.

Резултати за ФПМЕЕМ с $\alpha = \frac{\pi}{2}$ и растящи стойности на β са показани на фиг. 4. Отново наблюдаваме максимум около $\Omega = 1.0$, като след максимума забелязваме намаляване на нормализирания КИН с увеличаване на β , а преди максимума се наблюдава обратната тенденция.

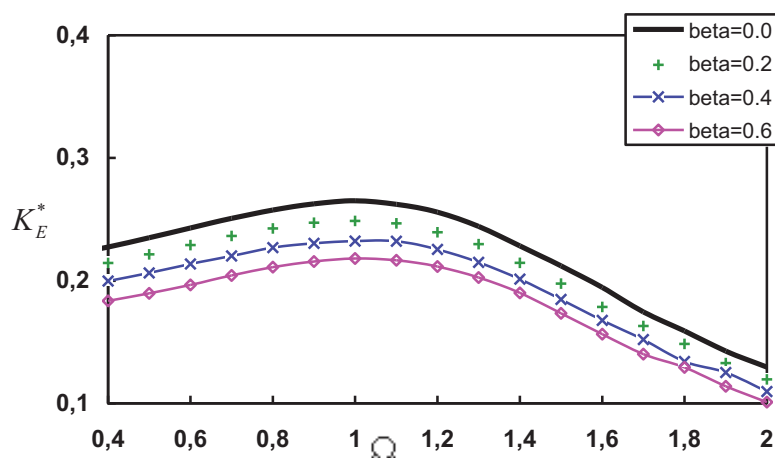


Фиг. 4. Нормализираният КИН $K_{III}^* = \frac{K_{III}}{t_3^{in} \sqrt{\pi c}}$ в зависимост от нормализираната честота $\Omega = c \sqrt{\rho c_{44}^{-1}} \omega$ за функционално подредени материали с $\alpha = \frac{\pi}{2}$ и $\beta = 0.4$.

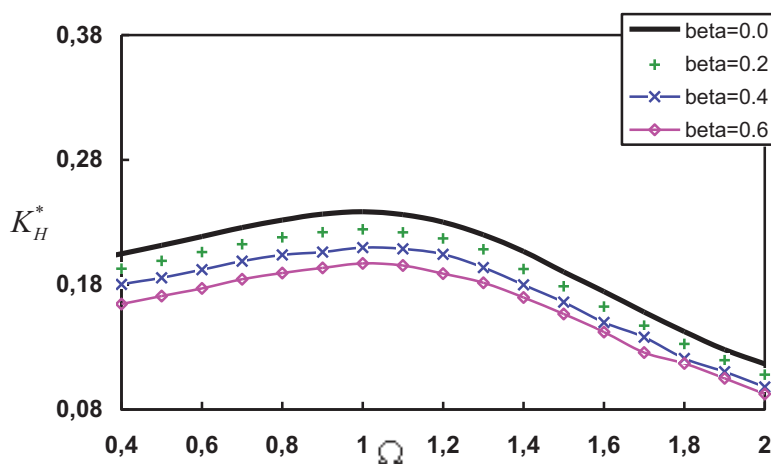
На фиг. 5 а), б) и с) са представени резултати за ФПМЕЕМ с $\alpha = 0.0$ и растящи стойности на β . Нормализираният коефициент на интензивност на интензитета на електричното поле (КИИЕП) е $K_E^* = \frac{10 K_E}{t_3^{in} \sqrt{\pi c}}$, а нормализирания коефициент на интензивност на напрежението на магнитното поле (КИНМП) е $K_H^* = \frac{10^4 K_H}{t_3^{in} \sqrt{\pi c}}$. Пресмятанията са направени за десния край на пукнатината.



a)



b)



c)

Фиг. 5. Нормализираният КИН в зависимост от нормализираната честота $\Omega = c\sqrt{\rho c_{44}^{-1}}\omega$ за функционално подредени материали с $\alpha = 0.0$ и растящи стойности на β .

Отново както и на фиг. 4 наблюдаваме наличие на максимум за стойности на нормализираната честота $\Omega = 1.0$, но този път забелязваме че с увеличаване на β стойностите на КИН, КИИЕП и КИНМП намаляват.

4. Заключение

ФПМЕЕМ са авангардни материали, които притежават уникални свойства и широко приложение в съвременната индустрия. Анализът на такива материали с пукнатини е важно от гледна точка на тяхната структурна цялост. В доклада са разгледани ФПМЕЕМ, подложени на външен, хармоничен по времето анти-плейн товар. Показана е чувствителността на КИН, КИИЕП и КИНМП за различни материали, като и за различни посока и големина на материалния градиент.

Разботената числена схема и създадения програмен код може да продължи да се развива за решаване на задачи за една или повече пукнатини в хомогенни и нехомогенни материали, за пукнатини с различна форма и разположение, за задачи в ограничени области, при които се отчита влиянието на външните граници на тялото, за термо-магнито-електро-еластични проблеми, за задачи за пукнатини с наноразмери, както и за обратни задачи.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Mahamood R. M., E. T. Akinlabi, M. Shukla, S. Pityana, Functionally Graded Material: An Overview, *Proceedings of the World Congress on Engineering*, vol. III, WCE 2012, July 4-6, 2012, London, UK.

[2] Makwana A. B., P. C. Panchal, A Review of Stress Analysis of Functionally Graded Material Plate with Cut-out, *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 3, issue 3, 2020-2025 (2014)

[3] Wang C.-Y., Zhang C., 2D and 3D dynamic Green's functions and time domain BIE formulations for piezoelectric solids, *Proceedings of the WCCM VI in conjunction with APCOM'04* September 5-10, Z. H. Yao, M. W. Yuan, W. X. Zhong, (Eds.), Tsingua University Press & Springer-Verlag, Beijing, China (2004).

[4] Gross D., T. Rangelov, P. Dineva, 2D Wave Scattering by a Crack in a Piezoelectric Plane Using Traction BIEM, **Journal Structural Integrity & Durability**, 1, Tech Science Press, 35-47 (2005).

[5] Li X. F., Dynamic analysis of a cracked magneto-electroelastic medium under antiplane mechanical and inplane electric and magnetic impacts, *Int. J. Solids and Str.*, 42, 3185-3205 (2005)..

[6] Song Z. F., G. C. Sih, Crack initiation behaviour in Magneto-Electro-Elastic Composite Under In-plane Deformation, *Theor. Appl. Fract. Mech.*, 39, 189-207 (2003).

[7] Daros C. H., On modeling SH-waves in a class of inhomogeneous anisotropic media via the Boundary Element Method, *ZAMM*, 90, 113-121 (2010)

Докладът е разработен с финансовата подкрепа на ФНИ, проект ДФНИ - И 02/12 с ръководител проф. дмн Ц. Рангелов.

ТЕОРИЯ НА КУЛОНОВАТА ДВОЙКА

Василь Васьківський

Департамент по приложна физика, Технически университет - София,
бул. „Кл.Охридски“ №8, e-mail: socyst@yandex.ru

Резюме. В този доклад за пръв път се разглежда точен метод, който е модификация на пряк алгебричен метод за определяне на корелационни функции. Намерени са съотношения за корелационните функции от втори порядък, а също така и различни варианти на хамилтониана, които следват от тях.

Ключови думи: *вторично квантуване, кулонова двойка, корелационни функции*

1. Въведение

Досега нямаше описание на кулоновото сдвояване на протон и електрон, защото липсваше точен метод, който би позволил такова описание, а пертурбативните методи са непригодни за тази цел. В този доклад за пръв път публично се разглежда такъв метод, който е модификация на пряк алгебричен метод за определяне на корелационни функции, предложен за гибсовите системи в [1]. Приведените тук съвсем накратко резултати ще бъдат публикувани в две подробни статии в Украински физичен журнал (УФЖ) [2,3]. Трябва да се отбележи, че се разглеждат частици, състоянията на които се описват със суперпозиция от плоски вълни, а не свързано състояние с отрицателна енергия, водещо до известния проблем за водородния атом в квантовата механика, който има точно решение. Също така, ние не разглеждаме задача за разсейване в диапазона на положителна енергия, при която също важат пертурбативните методи, както при описанието в рамките на квантовата механика, така и в квантовата теория на полето. Ние търсим описание на такива състояния на кулоновата двойка, които не могат да бъдат разглеждани като състояния на две статистически независими частици и за които са съществени квантовите корелации. Такива корелационни ефекти ние ще наричаме ефекти на сдвояване. Затова изследването започва с разглеждане на корелационните функции.

2. Корелационните функции от втори порядък

Ще разглеждаме система от две частици (фермиони) с електростатично взаимодействие помежду им. Хамилтонианът [4] на системата в представяне на вторично квантуване е:

$$H = H_1 + H_2 + H_{12} \quad , \quad \text{където}$$

$$H_i = \sum_p \varepsilon_{ip} a_{ip}^+ a_{ip}$$

е хамилтониан на свободните частици, а :

$$H_{12} = \sum_{p_1+p_2=p'_1+p'_2} U_{p'_1 p'_2 p_2 p_1} a_{1p'_1}^+ a_{2p'_2}^+ a_{2p_2} a_{1p_1}^-$$

хамилтониан на взаимодействието. Тук ε_{ip} е кинетичната енергия, а a_{ip}^+ — операторите на раждането и a_{ip} — операторите на унищожението, $p = (s_z, \vec{p})$, $\vec{p} = (p_x, p_y, p_z)$ — индекси, обозначаващи проекцията на спина и импулса на частиците. $U_{p'_1 p'_2 p_2 p_1}$ е потенциалната енергия на взаимодействието в импулсно представяне.

От хамилтониана получаваме следните така наречени «уравнения на движението» [1], които са в основата на метода:

$$[a_{jq}, H] = K_{11q}^{(j)} a_{jq} + K_{12q}^{(j)} b_{jq} \quad (1)$$

$$[b_{jq}, H] = K_{21q}^{(j)} a_{jq} + K_{22q}^{(j)} b_{jq} \quad (2)$$

$$[a_{jq}^+, H] = -K_{11q}^{(j)} a_{jq}^+ - K_{12q}^{(j)} b_{jq}^+ \quad (3)$$

$$[b_{jq}^+, H] = -K_{21q}^{(j)} a_{jq}^+ - K_{22q}^{(j)} b_{jq}^+ . \quad (4)$$

Тук

$$b_{jq} = \frac{1}{K_{12q}^{(j)}} \sum_{p_1+p_2=p'_1+p'_2} U_{p'_1 p'_2 p_2 p_1} (\delta_{2j} \delta_{p'_2 q} a_{1p'_1}^+ + \delta_{1j} \delta_{p'_1 q} a_{2p'_2}^+) a_{2p_2} a_{1p_1} ,$$

$$b_{jq}^+ = \frac{1}{K_{12q}^{(j)}} \sum_{p_1+p_2=p'_1+p'_2} U_{p'_1 p'_2 p_2 p_1} a_{1p'_1}^+ a_{2p'_2}^+ (a_{2p_2} \delta_{1j} \delta_{p_1 q} + a_{1p_1} \delta_{2j} \delta_{p_2 q}) .$$

$K_{11q}^{(j)} = \varepsilon_{iq}$, $K_{12q}^{(j)} = 1$, а $K_{21q}^{(j)}$ и $K_{22q}^{(j)}$ са неизвестните функции, които трябва да бъдат намерени. [...,...] означава комутатор. Основен момент на прекия алгебричен метод е разлагането на операторите в дуоператорен базис, което е аналогично на разлагането на векторите. В нашия случай операторите се разлагат в базис (a_{ip}, b_{jq}) , а ермитово спрегнатите оператори — в базис (a_{ip}^+, b_{jq}^+) . При получаване на уравненията (1) – (4) са използвани следните съотношения на антикомутацията:

$$a_{ip}^+ a_{iq} + a_{iq} a_{ip}^+ = \delta_{pq} , \quad (5)$$

$$a_{ip} a_{iq} + a_{iq} a_{ip} = 0 , \quad (6)$$

$$a_{ip}^+ a_{iq}^+ + a_{iq}^+ a_{ip}^+ = 0 . \quad (7)$$

Използвайки «уравненията на движението» за операторите могат да бъдат получени уравнения за самите оператори от произволен порядък. Например, намирайки комутатор на съотношението на антикомутацията (5) с хамилтониана, и използвайки следното тъждество за произволни оператори

$$[AB, H] = [A, H]B + A[B, H], \quad (8)$$

може да бъде намерено следното уравнение (изпускайки индекса i):

$$b_p^+ a_q + a_q b_p^+ = a_p^+ b_q + b_q a_p^+. \quad (9)$$

Повторно прилагайки към това уравнение същата процедура, имаме:

$$\begin{aligned} 2(b_p^+ b_q + b_q b_p^+) &= 2K_{21p} \delta_{pq} + (K_{22p} + K_{22q} - K_{11p} - K_{11q})(b_p^+ a_q + a_q b_p^+) = \\ &= 2K_{21p} \delta_{pq} + (K_{22p} + K_{22q} - K_{11p} - K_{11q})(a_p^+ b_q + b_q a_p^+) \end{aligned} \quad (10)$$

За всеки оператор A могат да бъдат въведени следните оператори:

$$\tilde{A} = \rho^{-1} A \rho \quad \text{и} \quad \hat{A} = \rho A \rho^{-1},$$

където ρ е статистическият оператор на системата. Тогава могат да бъдат използвани следните разлагания:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{ip} &= F_{11p}^{(i)} a_{ip} + F_{12p}^{(i)} b_{ip} \\ \tilde{b}_{ip} &= F_{21p}^{(i)} a_{ip} + F_{22p}^{(i)} b_{ip} \\ \hat{a}_{ip} &= G_{11p}^{(i)} a_{ip} + G_{12p}^{(i)} b_{ip} \\ \hat{b}_{ip} &= G_{21p}^{(i)} a_{ip} + G_{22p}^{(i)} b_{ip} \\ \tilde{a}_{ip}^+ &= F_{11p}^{+(i)} a_{ip}^+ + F_{12p}^{+(i)} b_{ip}^+ \\ \tilde{b}_{ip}^+ &= F_{21p}^{+(i)} a_{ip}^+ + F_{22p}^{+(i)} b_{ip}^+ \\ \hat{a}_{ip}^+ &= G_{11p}^{+(i)} a_{ip}^+ + G_{12p}^{+(i)} b_{ip}^+ \\ \hat{b}_{ip}^+ &= G_{21p}^{+(i)} a_{ip}^+ + G_{22p}^{+(i)} b_{ip}^+, \end{aligned}$$

които играят съществена роля в понататъшното прилагане на метода. Ще използваме следното означение за средната стойност на операторите:

$$\langle A \rangle = Sp(\rho A),$$

което е следата на оператора A . Прилагайки съотношението

$$Sp(AB) = Sp(BA), \quad (11),$$

имаме:

$$\begin{aligned} \langle \tilde{a}_{ip} \rangle &= F_{11p}^{(i)} \langle a_{ip} \rangle + F_{12p}^{(i)} \langle b_{ip} \rangle = \langle a_{ip} \rangle, & \langle \tilde{b}_{ip} \rangle &= F_{21p}^{(i)} \langle a_{ip} \rangle + F_{22p}^{(i)} \langle b_{ip} \rangle = \langle b_{ip} \rangle, \\ \langle \hat{a}_{ip} \rangle &= G_{11p}^{(i)} \langle a_{ip} \rangle + G_{12p}^{(i)} \langle b_{ip} \rangle = \langle a_{ip} \rangle, & \langle \hat{b}_{ip} \rangle &= G_{21p}^{(i)} \langle a_{ip} \rangle + G_{22p}^{(i)} \langle b_{ip} \rangle = \langle b_{ip} \rangle. \end{aligned}$$

Оттук веднага намираме, че

$$\langle b_{ip} \rangle = \frac{1 - F_{11p}^{(i)}}{F_{12p}^{(i)}} \langle a_{ip} \rangle = \frac{1 - G_{11p}^{(i)}}{G_{12p}^{(i)}} \langle a_{ip} \rangle$$

при следните условия за търсените матрици:

$$\det \hat{F} = Sp \hat{F} - 1, \quad \det \hat{G} = Sp \hat{G} - 1,$$

$$\frac{1-F_{11p}^{(i)}}{F_{12p}^{(i)}} = \frac{1-G_{11p}^{(i)}}{G_{12p}^{(i)}}, \quad \frac{1-F_{22p}^{(i)}}{F_{21p}^{(i)}} = \frac{1-G_{22p}^{(i)}}{G_{21p}^{(i)}}.$$

За ермитово спрегнатите оператори получаваме:

$$\langle b_{ip}^+ \rangle = \frac{1-F_{11p}^{+(i)}}{F_{12p}^{+(i)}} \langle a_{ip}^+ \rangle = \frac{1-G_{11p}^{+(i)}}{G_{12p}^{+(i)}} \langle a_{ip}^+ \rangle \quad \text{и}$$

$$\det \hat{F}^+ = Sp \hat{F}^+ - 1, \quad \det \hat{G}^+ = Sp \hat{G}^+ - 1,$$

$$\frac{1-F_{11p}^{+(i)}}{F_{12p}^{+(i)}} = \frac{1-G_{11p}^{+(i)}}{G_{12p}^{+(i)}}, \quad \frac{1-F_{22p}^{+(i)}}{F_{21p}^{+(i)}} = \frac{1-G_{22p}^{+(i)}}{G_{21p}^{+(i)}}.$$

Прилагайки (11), могат да бъдат получени следните съотношения за произведение на два оператора:

$$\langle BA \rangle = \langle A\hat{B} \rangle = \langle \tilde{A}B \rangle, \quad (12),$$

от които се получават необходимите уравнения за намиране на корелационните функции и на елементите на матриците $\hat{F}$ и $\hat{G}$. Например, за случая $i = j$ имаме:

$$-\langle a_p a_q \rangle = \langle a_q a_p \rangle = F_{11p} \langle a_p a_q \rangle + F_{12p} \langle b_p a_q \rangle = G_{11q} \langle a_p a_q \rangle + G_{12q} \langle a_p b_q \rangle,$$

откъдето получаваме:

$$\langle b_p a_q \rangle = -\frac{1+F_{11p}}{F_{12p}} \langle a_p a_q \rangle, \quad \langle a_p b_q \rangle = -\frac{1+G_{11q}}{G_{12q}} \langle a_p a_q \rangle.$$

Получените съотношения съдържат така наречените аномални функции на разпределение $\langle a_p a_q \rangle$, които са точен критерий за наличие на ефекта на сдвояване в случай на еднакви частици. Когато те са равни на 0, сдвояването на частиците отсъства! В нашия случай частиците са различни, затова определящи са корелационните функции, в които се усредняват произведения на операторите на различни частици. Операторите на раждане или унищожение на различни частици комутират помежду си. В следствие на това са получени следните съотношения ($i \neq j$):

$$\langle b_{jp} a_{iq} \rangle = \langle b_{jp}^+ a_{iq} \rangle = \langle b_{jp}^+ a_{iq}^+ \rangle = 0.$$

Използвайки останалите съотношения, намираме:

$$\langle a_p^+ a_q \rangle = \frac{\delta_{pq}}{2}, \quad (13)$$

Ето още някои от получените съотношения:

$$Sp \hat{F} = Sp \hat{G} = Sp \hat{F}^+ = Sp \hat{G}^+ = 2, \quad (14)$$

$$G_{22} = F_{22} = G_{11} = F_{11} = G_{22}^+ = F_{22}^+ = G_{11}^+ = F_{11}^+ = 1, \quad (15)$$

$$\langle b_{ip}^+ \rangle = \langle b_{iq} \rangle = 0, \quad (16)$$

$$G_{21} = G_{21}^+ = F_{21} = F_{21}^+ = 0, \quad (17)$$

$$K_{21} = 0, \quad (18)$$

$$K_{22p}^{(i)} = K_{11p}^{(i)} \pm K, \quad (19)$$

където K е неизвестна константа. Получените съотношения (14) – (19) са валидни при условие, че $\langle a_p a_q \rangle \neq 0$, което е типично условие за ефекта на сдвояването на еднаквите частици.

3. Възможните хамилтониани

От (13) можем да намерим средния брой на частиците с даден импулс и дадена проекция на спина

$$n_p = \langle a_p^+ a_p \rangle = \frac{1}{2}. \quad (20)$$

Виждаме, че за всяка частица имаме само два варианта на две различни състояния — състояния с еднакъв импулс и различни проекции на спина и състояния с различни импулси. Затова има 4 основни варианта. Ние разглеждаме частици, между които се осъществява електростатично взаимодействие, чийто потенциал е:

$$\Phi(\vec{r}) = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 r}.$$

Тук Q_1 и Q_2 са зарядите на частиците, които се намират на разстояние r . ϵ_0 — абсолютна диелектрична проницаемост на вакуум.

В първия вариант имаме следните операторни вълнови функции на частиците:

$$\Psi_j(\vec{r}_j) = \frac{e^{\frac{i\vec{p}_j \cdot \vec{r}_j}{\hbar}}}{\sqrt{V}} (a_{j+} + a_{j-}),$$

$$\Psi_j^+(\vec{r}_j) = \frac{e^{-\frac{i\vec{p}_j \cdot \vec{r}_j}{\hbar}}}{\sqrt{V}} (a_{j+}^+ + a_{j-}^+).$$

$\vec{p}_j \cdot \vec{r}_j$ — скалярно произведение вектора на импулса $\vec{p}_j$ и радиус-вектора $\vec{r}_j$ на частицата от вида j . a_{j+}^+ , a_{j+} — оператори на раждане и унищожение, които отговарят на проекцията на спина $+\frac{1}{2}\hbar$, и a_{j-}^+ , a_{j-} — операторите, които отговарят на проекцията на спина $-\frac{1}{2}\hbar$. $\hbar$ — константа на Планк, а операторните вълнови функции на частиците са нормирани по обема V .

За първия вариант получаваме следния хамилтониан на взаимодействие:

$$H_{12} = I(a_{1+}^+ + a_{1-}^+)(a_{2+}^+ + a_{2-}^+)(a_{2+} + a_{2-})(a_{1+} + a_{1-}). \quad (21)$$

Константа на взаимодействието

$$I = \frac{1}{2V^2} \iint d\vec{r}_1 d\vec{r}_2 \Phi(\vec{r}_1 - \vec{r}_2) = \frac{3Q_1 Q_2}{16\pi\epsilon_0 R},$$

където R — радиус на кълбо с обем V . Тук и нататък за изчисляване на интегралите преминахме към сферични координати и се интегрира по кълбо с радиус R .

Във втория вариант разглеждаме следните операторни вълнови функции на частиците:

$$\Psi_1(\vec{r}_1) = \frac{1}{\sqrt{V}} (e^{\frac{i\vec{p}_1 \cdot \vec{r}_1}{\hbar}} a_{1\vec{p}_1} + e^{\frac{i\vec{q}_1 \cdot \vec{r}_1}{\hbar}} a_{1\vec{q}_1}),$$

$$\Psi_1^+(\vec{r}_1) = \frac{1}{\sqrt{V}} (e^{\frac{-i\vec{p}_1 \cdot \vec{r}_1}{\hbar}} a_{1\vec{p}_1}^+ + e^{\frac{-i\vec{q}_1 \cdot \vec{r}_1}{\hbar}} a_{1\vec{q}_1}^+),$$

$$\Psi_2(\vec{r}_2) = \frac{e^{\frac{i\vec{p}_2 \cdot \vec{r}_2}{\hbar}}}{\sqrt{V}} (a_{2+} + a_{2-}),$$

$$\Psi_2^+(\vec{r}_2) = \frac{e^{\frac{-i\vec{p}_2 \cdot \vec{r}_2}{\hbar}}}{\sqrt{V}} (a_{2+}^+ + a_{2-}^+).$$

За хамилтониана на взаимодействието имаме:

$$H_{12} = I \{ a_{1\vec{p}_1}^+ (a_{2+}^+ + a_{2-}^+) (a_{2+} + a_{2-}) a_{1\vec{p}_1} + a_{1\vec{q}_1}^+ (a_{2+}^+ + a_{2-}^+) (a_{2+} + a_{2-}) a_{1\vec{q}_1} \} + \quad (22)$$

$$+ I_1 a_{1\vec{p}_1}^+ (a_{2+}^+ + a_{2-}^+) (a_{2+} + a_{2-}) a_{1\vec{q}_1} + I_2 a_{1\vec{q}_1}^+ (a_{2+}^+ + a_{2-}^+) (a_{2+} + a_{2-}) a_{1\vec{p}_1}$$

$$I_1 = \frac{1}{2V^2} \iint d\vec{r}_1 d\vec{r}_2 \Phi(\vec{r}_1 - \vec{r}_2) e^{\frac{i(\vec{q}_1 - \vec{p}_1) \cdot \vec{r}_1}{\hbar}} = \frac{2\pi Q_1 Q_2}{\epsilon_0 \Delta_1^5 V^2} \{1 - \cos(\Delta_1 R)\} \{ \sin(\Delta_1 R) - \Delta_1 R \cos(\Delta_1 R) \}$$

$$I_2 = \frac{1}{2V^2} \iint d\vec{r}_1 d\vec{r}_2 \Phi(\vec{r}_1 - \vec{r}_2) e^{\frac{i(\vec{p}_1 - \vec{q}_1) \cdot \vec{r}_1}{\hbar}} = I_1$$

$$\Delta_1 = \frac{|\vec{q}_1 - \vec{p}_1|}{\hbar}$$

Третият вариант се получава от втория със замяна на индексите за вида на частиците и Δ_1 с Δ_2 , където

$$\Delta_2 = \frac{|\vec{q}_2 - \vec{p}_2|}{\hbar}.$$

В четвъртия вариант имаме следните операторни вълнови функции на частиците:

$$\Psi_1(\vec{r}_1) = \frac{1}{\sqrt{V}} (e^{\frac{i\vec{p}_1 \cdot \vec{r}_1}{\hbar}} a_{1\vec{p}_1} + e^{\frac{i\vec{q}_1 \cdot \vec{r}_1}{\hbar}} a_{1\vec{q}_1}),$$

$$\Psi_1^+(\vec{r}_1) = \frac{1}{\sqrt{V}} (e^{\frac{-i\vec{p}_1 \cdot \vec{r}_1}{\hbar}} a_{1\vec{p}_1}^+ + e^{\frac{-i\vec{q}_1 \cdot \vec{r}_1}{\hbar}} a_{1\vec{q}_1}^+),$$

$$\Psi_2(\vec{r}_2) = \frac{1}{\sqrt{V}} \left(e^{\frac{i\vec{p}_2 \cdot \vec{r}_2}{\hbar}} a_{2\vec{p}_2} + e^{\frac{i\vec{q}_2 \cdot \vec{r}_2}{\hbar}} a_{2\vec{q}_2} \right),$$

$$\Psi_2^+(\vec{r}_2) = \frac{1}{\sqrt{V}} \left(e^{\frac{-i\vec{p}_2 \cdot \vec{r}_2}{\hbar}} a_{2\vec{p}_2}^+ + e^{\frac{-i\vec{q}_2 \cdot \vec{r}_2}{\hbar}} a_{2\vec{q}_2}^+ \right).$$

За хамилтониана на взаимодействието имаме:

$$\begin{aligned} H_{12} = & I(a_{1\vec{p}_1}^+ a_{2\vec{p}_2}^+ a_{2\vec{p}_2} a_{1\vec{p}_1} + a_{1\vec{q}_1}^+ a_{2\vec{q}_2}^+ a_{2\vec{q}_2} a_{1\vec{q}_1} + a_{1\vec{p}_1}^+ a_{2\vec{q}_2}^+ a_{2\vec{q}_2} a_{1\vec{p}_1} + a_{1\vec{q}_1}^+ a_{2\vec{p}_2}^+ a_{2\vec{p}_2} a_{1\vec{q}_1}) + \\ & + I_1(a_{1\vec{p}_1}^+ a_{2\vec{p}_2}^+ a_{2\vec{p}_2} a_{1\vec{q}_1} + a_{1\vec{p}_1}^+ a_{2\vec{q}_2}^+ a_{2\vec{q}_2} a_{1\vec{q}_1}) + I_2(a_{1\vec{q}_1}^+ a_{2\vec{p}_2}^+ a_{2\vec{p}_2} a_{1\vec{p}_1} + a_{1\vec{q}_1}^+ a_{2\vec{q}_2}^+ a_{2\vec{q}_2} a_{1\vec{p}_1}) + \\ & + I_3(a_{1\vec{p}_1}^+ a_{2\vec{p}_2}^+ a_{2\vec{q}_2} a_{1\vec{p}_1} + a_{1\vec{q}_1}^+ a_{2\vec{p}_2}^+ a_{2\vec{q}_2} a_{1\vec{q}_1}) + I_4(a_{1\vec{p}_1}^+ a_{2\vec{q}_2}^+ a_{2\vec{p}_2} a_{1\vec{p}_1} + a_{1\vec{q}_1}^+ a_{2\vec{q}_2}^+ a_{2\vec{p}_2} a_{1\vec{q}_1}) + \\ & + I_5 a_{1\vec{p}_1}^+ a_{2\vec{q}_2}^+ a_{2\vec{p}_2} a_{1\vec{q}_1} + I_6 a_{1\vec{q}_1}^+ a_{2\vec{p}_2}^+ a_{2\vec{q}_2} a_{1\vec{p}_1} + I_7 a_{1\vec{q}_1}^+ a_{2\vec{q}_2}^+ a_{2\vec{p}_2} a_{1\vec{p}_1} + I_8 a_{1\vec{p}_1}^+ a_{2\vec{p}_2}^+ a_{2\vec{q}_2} a_{1\vec{q}_1} \end{aligned} \quad (23)$$

Константите на взаимодействието са:

$$\begin{aligned} I_3 = & \frac{1}{2V^2} \iint d\vec{r}_1 d\vec{r}_2 \Phi(\vec{r}_1 - \vec{r}_2) e^{\frac{i(\vec{q}_2 - \vec{p}_2) \cdot \vec{r}_2}{\hbar}} = \frac{2\pi Q_1 Q_2}{\varepsilon_0 \Delta_2^5 V^2} \{1 - \cos(\Delta_2 R)\} \{\sin(\Delta_2 R) - \Delta_2 R \cos(\Delta_2 R)\} \\ I_4 = & \frac{1}{2V^2} \iint d\vec{r}_1 d\vec{r}_2 \Phi(\vec{r}_1 - \vec{r}_2) e^{\frac{i(\vec{p}_2 - \vec{q}_2) \cdot \vec{r}_2}{\hbar}} = I_3 \\ I_5 = & \frac{1}{2V^2} \iint d\vec{r}_1 d\vec{r}_2 \Phi(\vec{r}_1 - \vec{r}_2) e^{\frac{i(\vec{q}_1 - \vec{p}_1) \cdot \vec{r}_1 + (\vec{p}_2 - \vec{q}_2) \cdot \vec{r}_2}{\hbar}} = \\ = & \frac{2\pi Q_1 Q_2}{\varepsilon_0 \Delta_1^2 |\vec{\Delta}_1 - \vec{\Delta}_2|^3 V^2} \{1 - \cos(\Delta_1 R)\} \{\sin(|\vec{\Delta}_1 - \vec{\Delta}_2| R) - |\vec{\Delta}_1 - \vec{\Delta}_2| R \cos(|\vec{\Delta}_1 - \vec{\Delta}_2| R)\} \end{aligned}$$

Където:

$$\begin{aligned} \vec{\Delta}_i = & \frac{\vec{q}_i - \vec{p}_i}{\hbar} . \\ I_6 = & \frac{1}{2V^2} \iint d\vec{r}_1 d\vec{r}_2 \Phi(\vec{r}_1 - \vec{r}_2) e^{\frac{i(\vec{p}_1 - \vec{q}_1) \cdot \vec{r}_1 + (\vec{q}_2 - \vec{p}_2) \cdot \vec{r}_2}{\hbar}} = I_5 \\ I_7 = & \frac{1}{2V^2} \iint d\vec{r}_1 d\vec{r}_2 \Phi(\vec{r}_1 - \vec{r}_2) e^{\frac{i(\vec{p}_1 - \vec{q}_1) \cdot \vec{r}_1 + (\vec{p}_2 - \vec{q}_2) \cdot \vec{r}_2}{\hbar}} = \\ = & \frac{2\pi Q_1 Q_2}{\varepsilon_0 \Delta_1^2 |\vec{\Delta}_1 + \vec{\Delta}_2|^3 V^2} \{1 - \cos(\Delta_1 R)\} \{\sin(|\vec{\Delta}_1 + \vec{\Delta}_2| R) - |\vec{\Delta}_1 + \vec{\Delta}_2| R \cos(|\vec{\Delta}_1 + \vec{\Delta}_2| R)\} \\ I_8 = & \frac{1}{2V^2} \iint d\vec{r}_1 d\vec{r}_2 \Phi(\vec{r}_1 - \vec{r}_2) e^{\frac{i(\vec{q}_1 - \vec{p}_1) \cdot \vec{r}_1 + (\vec{q}_2 - \vec{p}_2) \cdot \vec{r}_2}{\hbar}} = I_7 \end{aligned}$$

В крайния резултат за всички варианти се получава, че

$$\langle H_{12} \rangle = 0 . \quad (24)$$

4. Някои изводи

Виждаме, че пряк алгебричен метод позволява да се намерят както корелационните функции, така и неизвестните в началото коефициенти на разлагане. Процедурата за определяне на корелационните функции от по-висок

порядък не се променя съществено, но самите те имат различно физическо съдържание. Например за определяне на средната енергия на кулоновата двойка е нужно да се намерят корелационните функции от 4 порядък. Както следва от (24), средната енергия на двойката е равна на сумата на средните кинетични енергии на частиците за съответните състояния.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. М. Ф. Сарры , УФН, 1991г., т.161, №11, стр.47

[2]. В. І.Васьківський, *Кореляційні функції кулонівської пари*, УФЖ, 2015г. Статията е приета за публикуване.

[3]. В. І. Васьківський, *Кореляційні функції кулонівської пари третього порядку*, УФЖ, 2015г. Статията е приета за публикуване.

[4]. Н. Н. Боголюбов, Н. Н. Боголюбов (мл.), *Введение в квантовую статистическую механику*, Москва, «Наука», 1984г.

Авторски указател

Сашка Александрова, *професор, ДПФ, Технически Университет – София*
Михаел Александров, *студент, Минногеоложки Университет, София*
Александър Васев, *ИФТТ-БАН*
Василий. Васковски, *гл. асистент, ДПФ, Технически Университет – София*
Илияна Гарванова, *студент, Минногеоложки Университет, София*
Мая Григорова, *гл. асистент, д-р, Геологопроучвателен Факултет, Минногеоложки Университет, София*
Сава Донков, *гл. асистент, д-р, ДПФ, Технически Университет – София*
Ангелина Стоянова-Иванова, *докторант, ИФТТ-БАН*
Илийчо Илиев, *доцент, Факултет по машиностроене и уредостроене, Технически университет – София, Филиал Пловдив*
Ивана Илиевска, *докторант, ИФТТ-БАН*
Юлия Илчева, *гл. асистент, Минногеоложки Университет, София*
Атанас Кисъов, *асистент, Геологопроучвателен Факултет, Минногеоложки Университет, София*
Невена Кожухарова, *гл. асистент, ДПФ, Технически Университет – София*
Пламена Колева, *студент, Минногеоложки Университет, София*
Иван Лалов, *професор, Физ. Ф., Софийски Университет*
Ива Митева, *студент, Минногеоложки Университет, София*
Милен Момчилов, *студент, Минногеоложки Университет, София*
Емил Ойнаков, *докторант, Геологопроучвателен Факултет, Минногеоложки Университет, София*
Бойко Рангелов, *професор, Геологопроучвателен Факултет, Минногеоложки Университет, София*
Иван Стефанов, *гл. асистент, д-р, ДПФ, Технически Университет – София*
Йонко Стойнов, *доцент, ФПМИ, Технически Университет – София*
Димитър Стоянов, *доцент, ИПФ - Сливен към Технически Университет – София*
Радостина Ташева, *гл. асистент, д-р, ДПФ, Технически Университет – София*
Васил Теохаров, *студент, ФКСУ, Технически Университет – София*
Станимира Терзиева, *гл. асистент, д-р, ДПФ, Технически Университет – София*
Христо Търнев, *доцент, ДПФ, Технически Университет – София*
Елена Халова, *доцент, ДПФ, Технически Университет – София*
Християн Цанков, *асистент, д-р, Геологопроучвателен Факултет, Минногеоложки Университет, София*
Румениге Юруков, *студент, Минногеоложки Университет, София*
Миглена Янкова, *асистент, Геологопроучвателен Факултет, Минногеоложки Университет, София*

ПРОГРАМА НА ДНИТЕ НА ФИЗИКАТА 2015 г.**НАУЧНО-ПОПУЛЯРНА СЕСИЯ****21.04. вторник**

Доклад	Автор(-и)	Час
Откриване	проф. дфн И. Узунов, ДПФ	17:30
„История на Оптиката“	проф. И. Лалов, ФзФ на СУ	17:45
„Оптични методи в археологията, криминалистиката и екологията“	гл. ас. Н. Кожухарова, доц. д-р Е. Халова, ДПФ	18:15
„По следите на енергията“	студентки И. Митева и П.Колева, МГУ "Св. Иван Рилски", 1 курс, Екология и Биотехнологии	18:35
„Можем ли да видим атомите?“	проф. дтн С. Александрова	18:55

22.04. сряда

Доклад	Автор(-и)	Час
„Лазерите в съвременната индустрия“	доц. д-р Х. Христов, ДПФ	17:30
„Лазери в нанотехнологиите“	д-р Е. Йорданова, ИФТТ - БАН	18:00
„Фотоволтаични системи. Приложение на фотоефекта“	студент М. Димитров, 1 курс, ФЕТТ	18:30
„Пътят на енергията - Слънчевата енергия и вятърната енергия“	студенти М. Момчилов, М. Александров, Р. Юруков и И. Гарванова, МГУ "Св. Иван Рилски", 1 курс,	18:50
„Използване на свръхпроводима керамика в алкални Ni/Zn батерии“	гл. ас. д-р С.Терзиева, ДПФ, А. Стоянова-Иванова, И. Илиевска, А. Васев, ИФТТ-БАН	19:10
„Квантов скок“	студенти Н. Иванова и Л. Спасов, ИФ, 1 курс	19:30

23.04. четвъртък

Доклад	Автор(-и)	Час
„Сините светодиоди – революция в осветителните технологии“	проф. дфн Е. Вълчева, ФзФ, СУ	17:30
„Плазмата – четвърто агрегатно състояние на веществата“	доц. д-р Хр. Търнев, ДПФ	18:00
„Приложна геофизика в действие“	М. Янкова, МГУ	18:20
„Структура на Галактичните молекулярни облаци- гравитурбулентни газови фрактали“	гл. ас. д-р С. Донков, ДПФ, доц. д-р Т. Велчев , Фз.Ф, СУ	18:40
„Приложение на сателитните изображения в метеорологичната прогноза“	гл. ас. д-р Р. Ташева, гл. ас. В. Танева, ДПФ	19:00
„Solar magnetic activity cycle and Earth magnetic field reversal“	студент А. Карастайков, ФаГИОМ, 4 курс	19:20

24.04. петък

Доклад	Автор(-и)	Час
„Зрението - прозорец към света“	доц. д-р В. Тодоров, МА-София	16:00
„История на очилата“	доц. д-р Е. Халова, гл. ас. Н. Кожухарова, ДПФ	16:30
„Структура и свойства на термоактивирани ортодонтични дъги“	докторант И. Илиевска, В. Петрунов, А. Иванова, ИФТТ-БАН, С. Терзиева, ДПФ	16:50
Демонстрации – клуб Роботика	студенти от клуб „Роботика“	17:10
Демонстрации	гл. ас. инж. Л. Георгиев, ДПФ	17:30

НАУЧНА СЕСИЯ
25.04. събота

Доклад	Автор(-и)	Час
„Микросейзмично сондиране и някои приложения“	Е. Ойнаков, проф. Бойко Рангелов, МГУ	10:00
„Използването на обеднен уран – последствия за околната среда и населението“	гл. ас. Р. Кобиларов, ДПФ	10:20
„Кинематична характеристика на сеизмичните вълни“	д-р М. Григорова, МГУ, Рексимсеиз ЕООД, Геофизик	10:40
Кафе-пауза		11:00
„Квазипериодични осцилации в спектъра на маломасивния рентгенов пулсар IGR J17511-3057 “	гл. ас. д-р И. Стефанов, ДПФ	11:30
„Фотопроводимост на полупроводник. Общо решение за плосък случай при постоянно поле“	доц. д-р Д. Стоянов, ИПФ-Сливен	11:50
„Статистическо описание на структурата на молекулярните облаци, характеризиращи се с вероятно разпределение на обемната плътност от вида „степенна опашка“	гл. ас. д-р С. Донков, ДПФ	12:10
„Регресионен модел от трета степен за лазерната генерация на CuBr лазер“	доц. д-р И. Илиев, ТУ-Пловдив	12:30
„Теория на кулонова двойка“	гл. ас. В. Васковски, ДПФ	12:50
„Поведение на функционално подредени магнетоелектроеластични материали под въздействието на външно динамично натоварване“	доц. д-р Й. Стойнов, ФПМИ	13:10
„Kinematic Models for Early Warning Systems – Earthquakes and Tsunamis (Venice Case)“	студент И. Парушев, МГУ, Memet Salih Bayraktutan, Faculty of Engineering, TO University, Ankara, Turkey проф. д-р Б. Рангелов, МГУ	13:30
„Характеризиране на Si – повърхност, модифицирана чрез H⁺ плазмена имплантация“	проф. д-тн С. Александрова, доц. д-р Е. Халова, гл. ас. Н. Кожухарова, ДПФ	13:50

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