



Технически университет София

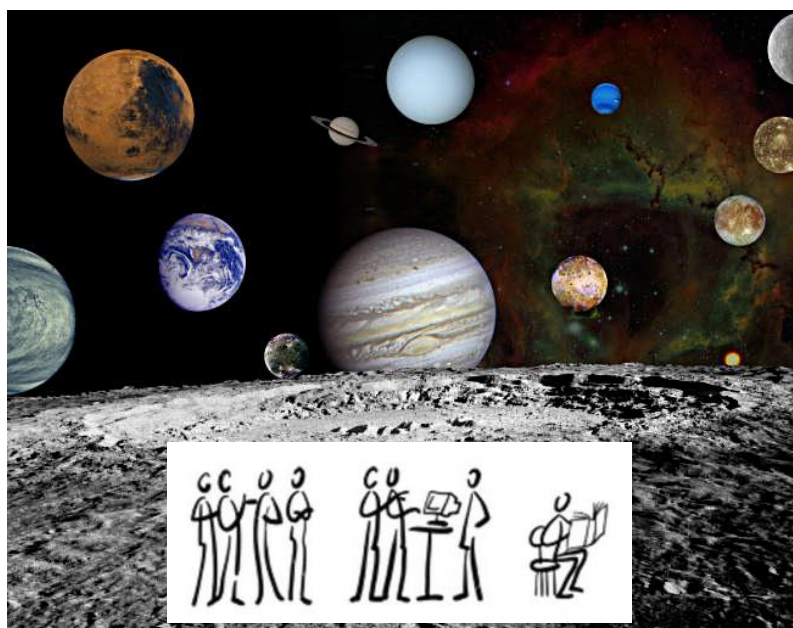


Департамент по приложна физика

Сборник популярни и научни доклади

Дни на физиката 2016

Том 8



София, 19 - 23 Април 2016 г.

Дни на физиката 2016

Сборник популярни и научни доклади

Том 8

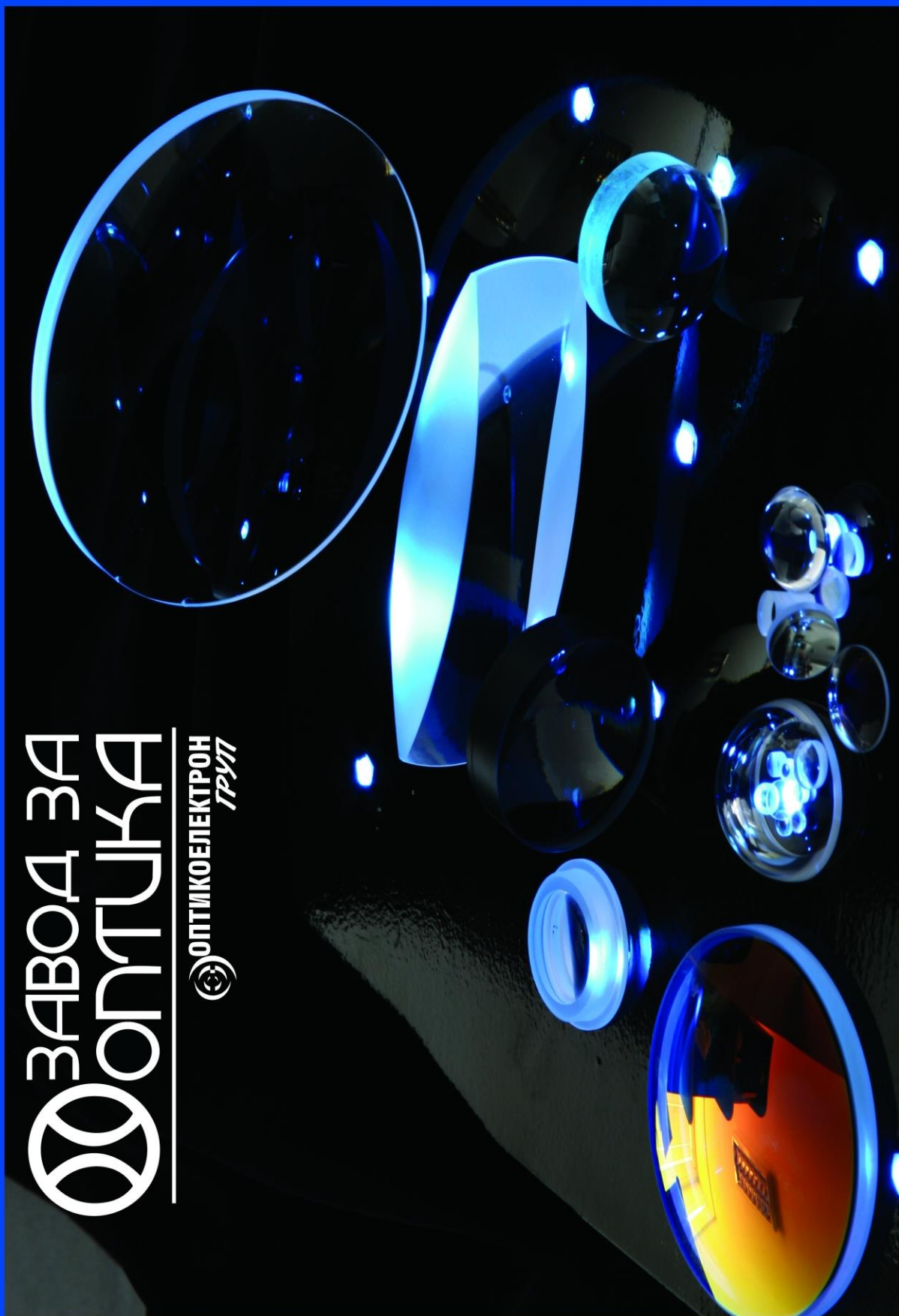
Редактори: Е. Халова
С. Александрова
Н. Кожухарова

ИЗДАТЕЛСТВО НА ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

ISSN 1313-9576

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

Предговор

Настоящото издание на „Сборник популярни и научни доклади“ се явява пореден осми том. В сборника са включени доклади, представени на традиционните “Дни на физиката”, организирани от Департамента по приложна физика към Техническия университет-София, които се състояха в периода 19-23 април 2016г. Тази година дните на физиката бяха посветени на 55 години от първия полет на човек в Космоса. Доклади бяха представени както от студенти от ТУ-София и от СУ "Св. Климент Охридски", така и от преподаватели по физика от ДПФ към ТУ-София, от филиала на ТУ-София в Сливен, както и от други университети, а именно от Физическия факултет на СУ “Климент Охридски” и Минно-геоложки университет “Св. Иван Рилски”- София. Участие взеха и изтъкнати учени от БАН.

Докладите бяха посветени на интересни и актуални теми от различни области на физиката, теми свързани с фундаментални проблеми на модерната физика и теми от историята на физиката. Общо бяха представени 30 презентации, обхващащи по оригинален и увлекателен начин теми, разбираеми за широка и разнообразна аудитория в атмосфера на научен семинар. Радостен е фактът, че към проявите в областта на физиката има подчертан и траен интерес както от 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. По общо мнение на студентите “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”. Този ден даде възможност за среща на преподаватели и учени по физика от различни университети и институти на БАН. Представени и дискутирани бяха проблеми от широк спектър от съвременни научни области, по които работят преподавателите от споменатите по-горе университети. Фактът, че макар и съботен ден научната сесия беше посетена и от студенти е показател за интереса на студентите към физиката.

Традиционните демонстрациите на физични явления и закономерности, представени по много атрактивен начин от ас. инж. Л. Георгиев, предизвика голям интерес у студентите поради възможността за допир до реалните физични експерименти и изследвания. Със свои разработки участваха и студенти от клуб „Роботика“, които демонстрираха някои от своите разработки, които също предизвикаха интерес у студентите.

Пълен списък на презентациите от Дните на физиката, са дадени в края на сборника. За съжаление някои от представените доклади не са включени в настоящия сборник поради голямата служебна заетост на авторите, които не

успяха да ги подготвят за изданието. Всички включени в сборника статии, представени на „Дни на физиката-2016“, са рецензирани от учени с познания и авторитет в съответната област

Надяваме се поредният том 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 - 2016” - лектори и слушатели, за техния интерес към физиката и нейните приложни аспекти. Специална благодарност дължим на членовете на Организационния комитет, проф. д-р И. Копринков, 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 съфинансирани по вътрешния конкурс на ТУ-София 2016 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-р Сашка Александрова*

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

Е. Халова, Н. Кожухарова, С. Александрова, Половин век космическа одисея.....	3
С. Александрова, Аристотел. Magister dixit!“.....	15
Радостина Ташева, Циклони, антициклони и обща атмосферна циркулация	21
И. Минков, Необходима ли е тъмната материя за обяснение на някои наблюдавани феномени.....	29
Т. Петров, Съвременните микро- и нано лазерни технологии.....	35
С. Алексиева, Б. Кръстев, Теорията на Айнщайн за гравитационните вълни.....	43
М.-К. Свиленова, Българските постижения в космонавтиката.....	47
Г. Найденов, Биологично действие на йонизиращите лъчения.....	52
Х. Търнев, Методите Монте Карло: някои приложения във физичните симулации.....	59
Н. Кожухарова, Е. Халова, С. Александрова, От телефона на Бел до модерните клетъчни телефони.....	68

НАУЧНИ ДОКЛАДИ

Радостина Ташева, Иван Стефанов, Модел на квазипериодичните осцилации и маса на микроквара GRO 1665-40.....	75
И. Копринков, Наблюдаване на корпускулярно-вълнови свойства в един експеримент.....	83
Т. Петров, Нова оптична схема на z-scan метода.....	91
Д. Стоянов, Относно волт-амперната характеристика на фотодиод.....	97
Р. Кобиларов, Assessment of radiological risk due to terrestrial gamma exposure in the National Park Centralen Balkan region.....	103
М. Григорова, Сеизмични проучвания в моретата и океаните вълни.....	108
Б. Рангелов, Странните земетресения – от древността до днес.....	115
Е. Ойнаков, Б. Рангелов, Микросеизмично сондиране - Оценка на чувствителността на метода с реални експерименти на реален дълбочинен обект – сеизмогенна зона Вранча	125

П. Георгиев, Неутронът - история и научноизследователски приложения.....	137
Л. Павлов, Тенденции в изследването и приложението на течните кристали.....	144
Авторски указател	152
Програма на Дните на физиката	153

ПОЛОВИН ВЕК КОСМИЧЕСКА ОДИСЕЯ

Елена Халова, Невена Кожухарова и Сашка Александрова

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

Резюме. В настоящия доклад е представена историята на опитите на човечеството да опознае космическото пространство. Хронологично са проследени резултатите от опитите на пионерите в космонавтиката, както и техните постижения.

Ключови думи: космонавтика, история, полети, постижения.

1. Увод

В овладяването на **Космоса** СССР, а днес Русия трябва да изпитва гордост не само с полета на Юрий Гагарин преди 55 години. Първият групов полет на кораба "Восток", първото излизане в открития Космос на Алексей Леонов, първата жена космонавт Валентина Терешкова, първото скачване в Космоса и преминаване от един кораб в друг, първата орбитална станция, първата жена Светлана Савицкая, работила няколко часа в открития Космос, първата жена Елена Кондакова, извършила продължителен полет, най-дългият космически полет на Валерий Поляков - 438 денонощия, рекорд за най-дълъг престой в Космоса с прекъсвания на Сергей Крикальов - общо 803 денонощия в рамките на 6 полета. Това са само част от космическите постижения.

Повод за гордост трябва да имат и САЩ. Първият човек, стъпил на Луната е американец. САЩ също имат повод да празнуват днес, т.к на 12 април 1981г. е изведен на орбита първият транспортен космически кораб за многократно използване „Спейс шатъл“ (совалката „Колумбия“) с астронавтите Джон Ъънг и Робърт Крипън и др.

2. Предистория

Кучето **Лайка** е първото животно, полетяло в орбита около Земята (фиг. 1). То е изстреляно на борда на съветския изкуствен спътник „Спутник-2“ на 3 ноември 1957г. Лайка е 3-годишно женско улично куче, от порода самоед-териер и тежи почти 6 кг. Лайка умира няколко часа след изстрелването от стрес и прегряване, вероятно причинени след неуспешното отделяне на излишния товар от животоподдържащия модул. Въпреки че Лайка не оцелява,

този полет доказва, че жив пътник може да бъде изстрелян в орбита около Земята и да издържи на безтегловността, проправя пътя за полет на човек и осигурява на учените първите данни за това как живите организми понасят полет в Космоса.

На 19 август 1960г., от космодрума в Байконур е бил пуснат космическия кораб „Спутник-5” с две кучета, **Белка и Стрелка** на борда, който слагат началото на орбиталния път на Юрий Гагарин. По повод на техния зашеметяващ полет, първият човек, излетял в Космоса, се пошегувал след успешното си приземяване: „И до момента не мога да разбера кой съм аз: „първият човек” или „последното куче”.



Фиг. 1. Кучето Лайка

На борда на кораба имало биомедицинско оборудване, регистриращо промените, настъпващи в организма на кучетата по време на целия полет. Полетът им в Космоса се наблюдава чрез видеовръзка. Теглото на Белка е било 4,5 kg, а на Стрелка - 5,5 kg. Кучетата са хранени от автомати и носели специални костюми (фиг. 2).

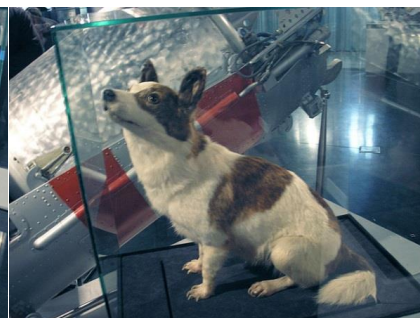
Белка и Стрелка са първите животни, които се връщат живи след 17 обиколки около Земята на 20 август 1960г. и прекарват в Космоса 25 часа. Благодарение на техния полет, учените получили ценни данни, които направили възможен полета на човека в Космоса. Белка и Стрелка не са летели повече в Космоса, доживяват до дълбока старост, дори оставят и потомство. След смъртта им техните препарирани тела били поставени в Музея по космонавтика (фиг. 3, 4).



Фиг. 2. Костюм



Фиг. 3. Кучето Белка



Фиг. 4. Кучето Стрелка

Белка и Стрелка всъщност са дубльори на друга двойка - **Чайка и Лисичка**, загинали в катастрофа с подобен космически кораб при несполучлив старт на 28 юни 1960г. Ракетата-носител 19 секунди след излитането пада и се взривява.

3. Исторически полети

Първият в историята космонавт е **Юрий Алексеевич Гагарин**. Той излита в Космоса на **12 април 1961г.** в 9 ч. 7 м. московско време от космодрума Байконур с космическия кораб „**Восток-1**“. Полетът е орбитален на височина 327 km. Корабът прави една обиколка на Земята за 1 ч. 48 м. и се приземява в 10

ч. 55 м. в района на село Смеловка, Саратовска област. Полетът е предвиден да премине в автоматичен режим, но е предвидена възможността и за ръчно управление на кораба.

Интересен е изборът на Гагарин за първия полет на човек в Космоса. Гагарин е избран лично от тогавашния генерален секретар на КПСС Никита Хрущов. Той преглежда снимки на няколко кандидат летци, за мисията в Космоса, и слага пръст върху фотографията на Юрий Алексесвич и казва: „Този ще бъде. Има хубава усмивка. Хората ще го харесват“.



Юрий Алексеевич
Гагарин

Подборът е строг - допускат се само мъже с изключителни физически данни и без всякакви здравословни проблеми. „Въртяха ни на специални тренажори, проверяваха вестибуларните ни апарати. А главно изследваха сърцата ни. По техните показатели медиците „четяха биографиите ни“, разказва впоследствие Гагарин. Той самият впечатлява лекарската комисия с кондицията си, които заявяват: „Стратосферата не е предел за Вас“.

Една от най-големите грижи на ръководителя на руската космическа програма **Сергей Ковальов** била да се увери, че Гагарин ще има достатъчно храна в капсулата. „Имаш колбас, бонбони и мармалад за чая!“. Гагарин шеговито му отговорил: „Важното е, че има колбас, да върви с водката“. Две минути преди старта запява „Летите, голуби, летите“. Следва запалването на двигателите и „Восток-1“ се отделя от Земята под незабравимото гагаринско „Поехали. Спасибо! До свидания! До новых встреч, дорогие друзья!“. От Космоса Гагарин докладва: „Заря-1“, тук е „Кедър“. Виждам Земята. Виждам реките, релефите, добре различими са, видимостта е добра. Виждам ви отлично, но не виждам звездите на небето. Чувството на безтегловност е приятно, всичко плува“. По-късно в 10 ч. 55 м., Гагарин се приземява в степта недалеч от крайволжкия град Саратов.

Първият американски астронавт и вторият човек летял в Космоса **Алън Бартлет Шепърд** излита на 5 май 1961г. с „**Меркурий 3**“, само 3 седмици след полета на Юрий Гагарин. Десет години по-късно (31 януари-9 февруари 1971г.), той става и петият човек, стъпил на Луната като командир на Аполо 14. До момента Алън Шепърд е най-възрастният астронавт стъпил на лунната повърхност. Има 2 излизания по лунната повърхност, с продължителност 9 ч. и 23 м.

Съветският космонавт **Герман Степанович Титов** е втория в историята на съветската космонавтика полет в Космоса с кораба „**Восток-2**“. Титов излита на 6 август 1961г. в 9 ч. московско време, прави 17 обиколки на Земята и прекарва в Космоса 25 ч. 11 м. Той доказал, че човек може да живее и работи в Космоса и изучава ефектите върху човешкото тяло от по-продължително време

в безтегловност. Титов направил първите фотоснимки на Земята, за пръв път обядвал, вечерял и поспал за кратко в безтегловност. Това е бил **първия денонощен полет**. По време на полета Титов бил на 25 г. 11 мес. - **най-младия** от всички космонавти, пребивавали в Космоса до 2010г.

*Алън Бартлет Шепърд**Герман Степанович
Титов**Джон Хършъл Глен*

На 20 февруари 1962г. с американския космически кораб от първо поколение „Меркурий 6“ астронавтът **Джон Хършъл Глен** е извършил **първия орбитален полет на САЩ**. Той е първият американец, излязъл в орбита около Земята и е най-възрастният човек в летял в Космоса на 77 години.

Първият в света групов космически полет е осъществен от двама съветски космонавта. В орбита от 11 до 15 август 1962г. на борда кораба „Восток 3“ лети космонавтът **Андриан Николаев**. По време на този полет на 12 август 1962г. в орбита е изведен и „Восток 4“ с космонавта **Павел Попович**. Осъществено е сближаване с кораба „Восток 3“ до 6 km и е установена радиовръзка между двата кораба и Земята. За първи път се предават и телевизионни изображения на космонавтите, които освободени от катапултните кресла, „плуват“ свободно в кабините си в условията на безтегловност. Провеждат се и редица медико-биологични експерименти. Двата космически кораба се приземяват успешно на 15 август 1962г.

Първата жена-космонавт и първото невоенно лице в Космоса Валентина Владимировна Терешкова, излита в орбита на 16 юни 1963г. на борда на кораба „Восток 6“ с продължителност на полета 2 д. 22 ч. 50 м. Терешкова остава единствената жена-космонавт до 1982г. Въпреки плановете за други полети с участие на жени минават 19 години преди следващата жена - Светлана Савицкая, да участва в космическа мисия. По

*Валентина Владимировна
Терешкова*

време на полета на Терешкова се осъществява сближаване до 5 km с изстреляният на 14 юни 1963г. пилотиран космически кораб „Восток 5“ с космонавт на борда **Валери Биковски**.

По време на полета са записани данни от реакции на женското тяло. Терешкова е направила снимки и ръчно е ориентирала космическия апарат. Нейните снимки на хоризонта от космоса по-късно били използвани, за да се идентифицират слоевете аерозол в атмосферата. Терешкова забелязала грешката в първия ден от полета в контролната програма, която накарала кораба да се издига от орбитата вместо да слиза от нея и съобщила на Сергей Корольов. Грешката била незабавно коригирана, след като Терешкова вкарала данните, получени от Земята в програмата и се приземила безопасно в Алтайския регион.

Първото скачване на два пилотируеми кораба е осъществено през 1969г. (фиг. 5). Корабът „Союз 4“ стартира от Байконур на 14 януари 1969г. с космонавта **Владимир Александрович Шаталов**. Един ден по-късно стартира корабът „Союз 5“, на борда на който са космонавтите **Борис Волинов, Алексей Елисеев и Евгений Хрунов**. На 16 януари в 8 ч. 20 м. корабите се скачват в Космоса и остават скачени за 4 ч. 35 м. На 35-та обиколка около Земята космонавтите Е. Хрунов и А. Елисеев излизат в открития Космос и преминават в „Союз 4“, което се предава пряко по съветската телевизия. Хрунов и Елисеев предават на Шаталов писма, телеграми и вестници. По-късно „Союз 4“, с тримата космонавти на борда Волинов, Елисеев и Хрунов се приземява на 17 януари 1969г. на 40 km северозападно от Караганда. Корабът „Союз 5“ с В. Шаталов остава в орбита. За **първи път космонавти стартират на един, а се приземяват с друг кораб**.



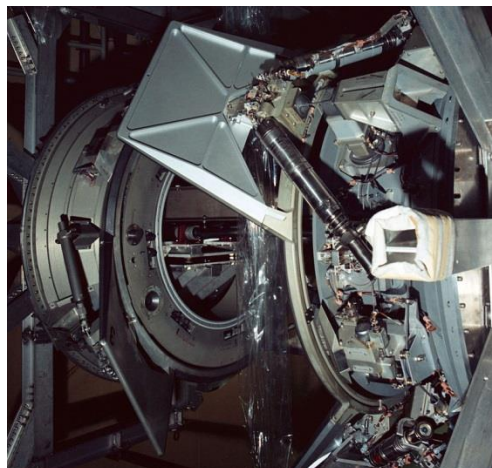
Фиг. 5. Скачване и преход от „Союз 5“ в „Союз 4“

Шест години по-късно на 17 юли 1975г. за първи път се **скачват два пилотируеми кораба** на две различни страни: „Союз-19“ на СССР с космонавтите **А.А. Леонов и В.Н. Кубасов** и „Аполо-18“ на САЩ с астронавтите **Т. Стафорд, Д. Слайтън и В. Бранд**. Това е първият международен, съвместен съветско-американски полет по проекта „Союз-Аполо“. Това е и начало на международното сътрудничество в областта на космическите изследвания.

Поради разликата в базова конструкция на корабите, инженерите разработват **стиковъчен отсек** (фиг. 6), съоръжен със специална шлюзова камера, която осигурява нужната декомпресия. Теглото му е около 6 тона.



*Слайтърн, Стафорд, Бранд,
Леонов и Кубасов*



Фиг. 6. *Стиковъчен отсек
APAS-75*

Съвместният полет започва на 15 юли 1975 г. в 12 ч. и 20 м. със старт от Байконур на кораба „Союз 19“ (фиг. 7а.). След 7 ч. 30 м. от старта на „Союз 19“, на околоземна орбита е изведен кораба „Аполо-18“ (фиг. 7б.).



Фиг. 7а. *Стартът на
Кораба „Союз 19“*



Фиг. 7б. *Стартът на
кораба „Аполо-18“*



Фиг. 7в. *Поздрав между
двамата командири*

Скачването на орбита става 17 юли 1975г. в 16 ч. 19 м. 9 с. Томас Стафорд успява да завърши маневрата няколко минути по-рано от предвидения срок. Стиковъчният отсек работи безпроблемно и преходът се извършва без скафандри. Целият процес е предаван на живо и хората по целия свят наблюдават срещата на командирите Томас Стафорд и Алексей Леонов (фиг. 7в.). Те разменят националните си знамена, а Леонов подарява на Стафорд знамето на ООН.

Международното сътрудничество в областта на космическите изследвания продължава с първите полети в Космоса на космонавти от други, освен СССР и САЩ, страни. Годината е 1978г. Началото е поставено с полета на космонавта от Чехословакия, **Владимир Ремек** с кораба „Союз 28“ изстрелян в орбита на 2 март 1978г. Същата година са полетите и на космонавтите от **Полша** и **ГДР**.

Гордост за нас, като българи, е първият полет на космонавта от България **Георги Иванов Иванов**. На 1 март 1978г. е избран за космонавт във втората група от програмата „Интеркосмос“. Обучава се в Център за подготовка на космонавти „Юрий Гагарин“. На 10 април 1979г., в 20 ч. и 34 м. московско

време е изстрелян в орбита около Земята космическият кораб „Союз-33“, с международен екипаж: командир на полета **Николай Рукавишников** и космонавт-изследовател **Георги Иванов**.

На борда на кораба има и шепа пръст от Плиска, връх Шипка и Бузлуджа. Специално за полета българските учени от Централната лаборатория по лиофилизация и криобиология подготвят балкански кашкавал, овче сирене, печени бадеми, горски мед, конфитюр от ягоди и малини, както и лютеница.

Поради техническа неизправност корабът не успява да се скачи с орбиталната станция „Салют-6“. Николай Рукавишников получава припадък. През целия драматичен полет пулсът на Георги Иванов остава нормален и не се променя. В Космоса прекарват 1 д. 23 ч. 1 м. Когато се приземяват, те се намират на 320 km югоизточно от Джезказган след 31 обиколки около Земята.



*Георги Иванов
Иванов*



*Александър Панайотов
Александров*



*Скафандърът на
А. Александров*

Спускаемият апарат на кораба „Союз-33“ се съхранява в Музея на авиацията в авиобаза „Крумово“ край Пловдив.

Александър Панайотов Александров е вторият български космонавт, летял на борда на съветския космически кораб „Союз ТМ-5“ заедно с командира на полета **Анатолий Яковлевич Соловьев** и бординженера **Виктор Петрович Савиних**. Мисията продължава от 7 до 17 юни 1988г.

Александров е избран за космонавт във втората група от програмата „Интеркосмос“, заедно с Георги Иванов и обучаван в центъра „Юрий Гагарин“. Всъщност той е дубльор на Георги Иванов. По време на полета Александров извършва над 50 успешни научни експеримента, включително изпитание на български храни за космонавти. Експериментите са разработени от Института за космически изследвания при БАН с ръководител акад. Димитър Мишев. По време на полета е осъществен телемост, който е предаван директно по Българската национална телевизия.

В програмите за международното сътрудничество в областта на космическите изследвания през всичките тези години са участвали 38 страните от целия свят (Таблица 2.).

Таблица 2. Страни участващи в международни космическите изследвания

1.  Австрия	11.  Иран	21.  Полша	30.  Унгария
2.  Афганистан	12.  Испания	22.  Румъния	31.  Франция
3.  Белгия	13.  Италия	23.  Русия	32.  Холандия
4.  Бразилия	14.  Казахстан	24.  Саудитска Арабия	33.  Чехия
5.  България	15.  Канада	25.  САЩ	34.  Швейцария
6.  Великобритания	16.  Китай	26.  Сирия	35.  Швеция
7.  Виетнам	17.  Куба	27.  Словакия	36.  ЮАР
8.  Германия	18.  Малайзия	28.  Узбекистан	37.  Южна Корея
9.  Израел	19.  Мексико	29.  Украйна	38.  Япония
10.  Индия	20.  Монголия		

Ето и още няколко исторически полети. Първият неправителствен космонавт е учителката Шарън Криста Маколиф, която е и една от загиналите при катастрофата на космическа совалка Чалънджър на 28 януари 1986г. Първият космически турист - Денис Тито на 28 април 2001г. И първият частен космонавт - Майк Мелвил, летял със „Space Ship One“ на 21 юни 2004г.

Към днешна дата човекът, прекарал най-дълго в Космоса, е руснакът Сергей Константинович Крикальов. Той е прекарал там 803 д. 9 ч. 39 м. или 2,2 г. Сунита Уилиамс със своите 195 д., държи рекорда за най-дълго прекарано време в Космоса от жена.

4. Първо излизане в открития Космос

Първото излизане в открития Космос е направено от Алексей Архипович Леонов. Полетът на кораба „Восход 2“, от 18 март 1965г., с космонавтите Алексей Архипович Леонов и Павел Иванович Беляев е продължил 1 д. 2 ч. 2 м. На 18 март Леонов излиза през шлюза на кораба в откритото космическо пространство. Престоят извън кабината на кораба е 21 м., а извън шлюза в открития Космос - 12 м. и се отдалечава от кораба на 5 m.



*Алексей Архипович
Леонов*



Павел Иванович Беляев



Едуард Хигинс Уайт

На 3 юни 1965г. **Едуард Хигинс Уайт**, с кораба „Джемини 4“, осъществява второто, но първо за астронавт от САЩ, излизане на човек в открития Космос. Уайт е извън кораба за **22 м.**, през които астронавтът се опитва да маневрира на разстояние от 5 до 10 m с помощта на реактивен пистолет. Поради повреда в механизма за подаване на реактивна тяга опитите са прекратени.

На 17 юли 1984г., с кораба „Союз Т-12“, бординженерът **Светлана Евгениевна Савицкая** е първата жена излязла в открития Космос при втория си полет. Тя била в безвъздушното пространство 3 ч. и 35 м. Първият полет на **Савицкая**, като космонавт-изследовател, заедно с **Леонид Попов** и **Александър Серебров** е с кораба „Союз Т-7“, изстрелян на 19 август 1982г.



*Светлана Евгениевна
Савицкая*



*Светлана Савицкая в
открития Космос*



*Леонид Попов и
Светлана Савицкая*

На 25 септември 2008г. **Джай Джъган** прави своя първи космически полет в състава на екипажа на кораба „Шънджоу 7“ заедно с **Цзин Хайпън**, **Лю Бомин**, а на 27 септември **Джай Джъган** е първият китайски космонавт, излязъл в открития Космос.

Първият полет на новия съветски космически кораб „Союз 1“ е изстрелян на 23 април 1967г. с космонавт **Владимир Михайлович Комаров** и продължава 1 д. 2 ч. 37 м. Той става първият съветски космонавт, летял в космоса два пъти и за съжаление и **първият загинал космонавт**. При приземяването, главният парашут не се отваря, а резервният - само отчасти. Корабът пада с голяма скорост и се разбива на земята. Комаров умира от прекалено високата температура някъде в небето близо до Истанбул.



*Владимир Михайлович Комаров и
разбития спускаем апарат*

5. Полети до Луната

На 21 декември 1968г. с кораба „Аполо 8“ е осъществен **първият полет на пилотиран космически кораб напуснал земната орбита и достигнал Луната**. За първи път трима американски астронавта **Франк Борман, Джеймс Ловел и Уилям Андерс** излизат на окололунна орбита. Полетът продължава 6 д. 3 ч. 1 м.

Целта на експедицията е достигане на Луната, влизане в около лунна орбита, заснемане и избор на подходящи места за прилуняване на бъдещи мисии и завръщане на Земята. За първи път се преминава границата на радиационния пояс на Земята. Тримата астронавти са първите хора видели с очите си Обратната страна на Луната. Те за първи път излитат с тристепенната Сатурн V, използвайки третата степен на ракетата за ускоряване и напускане на околоземната орбита, достигайки най-висока скорост от 10,822 km/s. „Аполо 8“ става първият пилотиран космически кораб станал спътник на Луната. Направени са много снимки и топографски измервания, като са набелязани и картографирани специфични лунни обекти. За първи път е фотографиран изгрева и залеза на Земята върху лунния хоризонт. „Аполо 8“ прави общо 10 лунни обиколки и корабът потегля по обратния път към Земята. Спускаемата капсула се приводнява в южният Пасифик призори на 27 декември.

Първият пилотиран космически кораб от програмата „Аполо“ на НАСА, „Аполо 11“ излита на 16 юли 1969г. от космическия център Кейп Кенеди щата Флорида в 15 ч. 32 м. българско време с екипаж командир Нийл Армстронг, Майкъл Колинс и Едуин Олдрин.



Нийл Олдън Армстронг



Майкъл Колинс



Едуин „Бъз“ Олдрин

След 12 м. корабът е вече в околоземна орбита и 2 часа обиколя около Земята. След това се включва третата степен на ракетата-носител и астронавтите поемат към Луната. „Аполо 11“ се състои от три части: Команден модул („Колумбия“), Лунен модул „Ййгъл“ (Орел) и сервисен модул. Общото му тегло е 44 тона. „Аполо 11“ достига Луната на 19 юли след 76 ч. полет и

след включване на двигателите преминава в окололунна орбита и започва да обикаля около Луната на височина 110 km. След няколко обиколки на Луната астронавтите виждат предварително набелязания район за кацане в „**Морето на спокойствието**“.

На 20 юли спускаемият апарат - Лунният модул „Ийгъл“ с астронавтите **Нийл Армстронг** и **Едуин Олдрин**, се отделя и започва да се прилунява откъм Близката страна на Луната в постоянна връзка с Контролният център в Хюстън и останалия на орбита **Команден модул** с астронавта **Майкъл Колинс**. По програма Ийгъл трябва да се прилуни на автоматичен режим, но още по време на полета Армстронг е взел решение, че на около 100 m от повърхността ще премине на полуавтоматичен режим. По време на полета обаче се налага да се премине на ръчен режим и Армстронг и Олдрин успяват да кацнат, прелитайки над кратер с размери около 180 m. В **20 ч. 17 м. 42 с. на 20 юли 1969г.** Лунният модул се прилунява в Морето на спокойствието и Нийл Армстронг докладва: „Хюстън, тук база на Спокойствието, Ийгъл кацна, Ийгъл кацна!“.

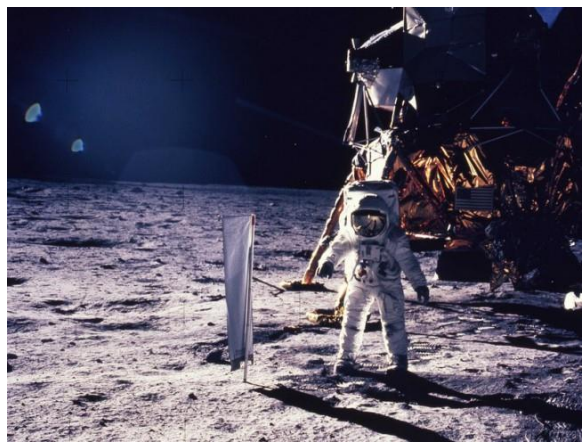
След това астронавтите пристъпват към излизане на лунната повърхност. Външната камера предава директно по телевизията пред цялото човечество историческия момент на първата крачка, направена от Нийл Армстронг на друго небесно тяло (фиг. 8а, б). С думите:

„Една малка крачка на човека, но гигантски скок за човечеството...“

На **21 юли 1969 в 2 ч. 56 м. 20 с.** той оставя първите следи по повърхността на Луната. Петнадесет минути по-късно Едуин Олдрин също стъпва на Луната и опитва различни начини за придвижване при слабата лунна гравитация. Най-удачни се оказват дългите „кенгурови“ подскоци прелитайки над 2 m.



Фиг. 8а. Първата крачка на Нийл Армстронг на Луната



Фиг. 8б. Нийл Армстронг на Луната

Монтират телевизионна камера и развяват националното знаме на САЩ. Монтират и научни уреди: сеизмометър за регистриране на лунотресенията и лазерен отражател за определяне на разстоянието до Земята. Събират образци от лунната повърхност с общо тегло 21,55 kg. Оставили паметна плоча от неръждаема стомана с гравирани надпис: „Тук хора от планетата Земя за първи път стъпиха на Луната. Юли 1969г. след Христа. Ние дойдохме с мир от

името на цялото Човечество“ с подписи на Армстронг, Олдрин, Колинс и президента на САЩ Никсън. Олдрин престоява на лунната повърхност 1 ч. 30 м. след което се прибира в Лунния модул, а Армстронг остава общо 2 ч. 10 м. След това двамата астронавти вечерят и лягат да почиват.

Екипажът подготвя Лунния модул за излитане и в 19 ч. 54 м. на 21 юли българско време “Ийгъл” излита от лунната повърхност и се скачва към Командния модул в орбита. Малко преди да напусне Луната, Армстронг промърморва нещо странно, казвайки: *“Успех, мистър Горски!”*. След скачването с „Колумбия“ на окололунна орбита и те прехвърлят всички материали, взети и заснети от Луната, след което Лунният модул е разкачен. „Колумбия“ потегля към Земята след престой от 59 ч. 30 м. и 30 обиколки около Луната. Парашутната система е задействана успешно и апаратът се приводнява в Тихия океан. След откачането на парашутната система приводнилият се апарат заема позиция във водата с върха надолу. Надувайки спомагателните системи за поддръжка над водата той се изправя в нормално положение. На 16 септември са приети в Американския Конгрес и наградени с новата държавна награда на САЩ - *„Почетен медал за овладяване на Космоса“*. В чест на постижението, 3 кратера близо до мястото на първото кацане носят имената на екипажа - Армстронг, Олдрин и Колинс. Капсулата на „Аполо 11“ е изложена в Националния аерокосмически музей във Вашингтон.

6. Заключение

В резултат на дългогодишните изследвания на руските и американски учени са реализирани редица успешни програми по изучаване и овладяване на космическото пространство и е натрупан безценен опит за поведението на човешкия организъм в безтегловност и в условия на значителни претоварвания. В резултат на обединените усилия на руските, американските и учените от редица други страни, науката космонавтика е достигнала неподозирани възможности за овладяване и изучаване на Космоса.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://bg.wikipedia.org>
2. <http://www.zoomania.org>
3. <http://www.calend.ru/event/2780>
4. <http://worldtodaybg.com/>
5. <http://www.cosmos.1.bg/cosmos>

АРИСТОТЕЛ: MAGISTER DIXIT!

Сашка Александрова

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

Резюме. Настоящият доклад е посветен на 2400 години от рождението на един от най-големите мислители в историята на цивилизацията – Аристотел. Дадени са факти от неговия живот и неговите научни занимания. Разгледани са представите му относно устройството на Вселената, физичните закони и начините на постигане на познанията ни за света.

Ключови думи: Аристотел, Древна Гърция, физика, философия.

1. Увод

С решение на 38 сесия на Генералната конференция на ЮНЕСКО (Париж, ноември 2015г.) 2016г. е официално обявена за “Юбилейна година на Аристотел” по предложение на Университета в Солун, който носи неговото име. Чествания на този юбилей се провеждат по цял свят.



Фиг. 1. Бюст на Аристотел

Аристотел е титанична фигура на старогръцката наука и философия. Има принос в почти всяка област на познанието: логика, математика, физика, биология, ботаника, политика, етика, агрономство, медицина, образование. Интересувал се е и от чуждестранни обичаи, литература, поезия, театър. С право може да бъде наречен енциклопедист на древността. Той пръв в историята проправя пътя на научния подход за разбирането на природата и обществото.

Аристотел е оказал силно влияние върху по-късните епохи. Съчиненията му са приети от древноримската култура, философия, политика и през Рим достигат Византия. Представите му за света доминират и през Средновековието. Той единствен от древногръцките философи е признат и от християнската схоластика и ислямската философия. Авторитетът му е толкова голям, че при спорове като най-важен аргумент се използва “*Magister dixit!*”, т.е. “Учителят каза”. Често, когато става дума за него, казват просто *Философът*.

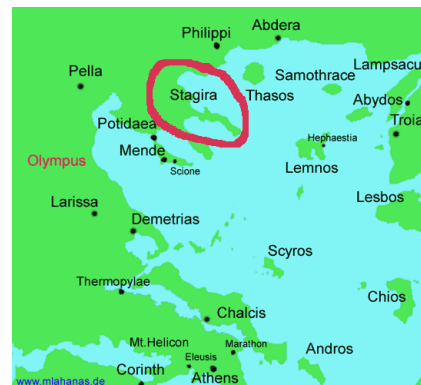
Аристотел ни оставя научна и философска система, която е в основата на културата и цивилизацията в продължение на 2000 години от древността до наши дни.

2. Произход и образование

Аристотел е роден в гр. Стагира на Халкидическия полуостров през 384г. пр.н.е. (фиг.2.). Баща му Никомах е придворен лекар при цар Аминт III (баща на Филип Македонски). Майка му Фестия също е дъщеря на лекар от Халкида.

Родителите му умират рано и съпругът на голямата му сестра, негов настойник, го изпраща да продължи образованието си в Атина като ученик на Платон. Аристотел остава в Платоновата Академия в продължение на двадесет години от 367г. пр.н.е.

отначало като ученик и след това като колега. След смъртта на своя учител той напуска Академията. На фиг. 3 е представена известната картина на Рафаел "Атинската школа". Централните две фигури са на Платон и Аристотел, които



Фиг. 2. гр. Стагира



Фиг. 3. Известната картина на Рафаел "Атинската школа Атина", рисувана през 1510-1511 г.

държат в ръце свои съчинения. Картината е рисувана много векове по-късно от времето, в което е живял Аристотел, което показва силното му влияние върху интелектуалния живот в Европа по време на Ренесанса.

През 343г. по покана на Филип II в продължение на 5 години Аристотел е учител и възпитател на бъдещия Александър Велики до възкачването му на трона. Обучението включва управление на стопанство, войска, упражняване на диалози, четене на трактати, тълкуване на мъдреците.

През 335г. пр.н.е. Аристотел основава в Атина свое училище, конкурент на Платоновата Академия. Училището е наречено Лусеум (Ликеум) поради близкото разположение с храм на Аполон Ликейски. От наименованията на Платоновата академия и Ликейт на Аристотел идват днешните понятия Академия и Лицей. В училището сутрин Аристотел изнася сериозни лекции за своите студенти, а вечер представя лекции за широка публика. След смъртта на Александър той напуска Атина, тъй като е заплашен със съд заради подкрепата си за неговото управление. Библиотеката и Лицея той оставя на ученика си Теофраст. Умира на остров Евбея през 322г. пр.н.е. и е забравен за няколко поколения.

Предполага се, че Аристотел е оставил около 200 съчинения, като до нас са достигнали 31, които представляват записки на лекциите му. Те са отново открити в началото на новата ера, пренесени в Рим, през Византия и арабския свят и средновековна Европа. За много поколения важи "Magister dixit!".

3. Физиката на Аристотел

Според Аристотел истинското знание се получава от внимателно изучаване на света около нас. Той е първият, който изучавайки природата, основава познанието на опита. Това е разлика от идеите на Платон, за който знанието идва само когато философът избяга от света на сетивното възприятие, което може да го подведе. Реалността за Аристотел е светът около нас, а не предмет на дейност на ума, което би могло да бъде просто фантазия.

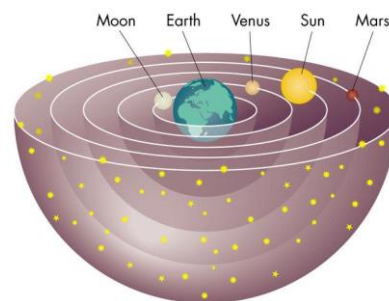
Физичните представи на Аристотел са удивително реалистични, характеризират се с последователност и са в съгласие със здравия разум. Тези представи са много по-различни от съвременните представи, но са в съответствие с ежедневието на древността. Физиката на Аристотел е напълно приета в продължение на 2000 години до революцията на Коперник.

4. Космология

Аристотел е привърженик на геоцентричната система. В центъра на света е Земята, после идва Луната, планетите и накрая звездите. Небесните тела се движат по небесни сфери. Такава картина е в съгласие с наблюденията на небесните тела и видимото им движение.

Светът според Аристотел се състои от две различни части: подлунен и небесен свят. Подлунният свят това е светът около нас, където нещата идват и си отиват, където сме родени и живеем, където движението започва и спира.

Небесният свят, това е светът, където нещата се случват отново и отново: Слънцето изгрява и залязва, появяват се сезоните, планетите се движат в цикли.



Фиг. 3. Космологията на Аристотел

5. Строеж на подлунния свят

Аристотелевият свят е изграден от 4 основни същности: горещо, студено, сухо, и мокро, които могат да се комбинират само по 4 начина (фиг. 4). Така се получават 4 главни елемента: земя, въздух, вода и огън. Комбинациите са следните:

земя = сухо + студено

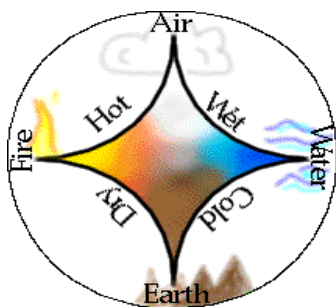
вода = мокро + студено

огън = сухо + горещо

въздух = горещо + мокро

Всеки от четирите елемента в природата има особено, присъщо само на него място: огънят и въздухът - горе, водата и земята - долу. Тези 4 елемента

напомнят 4 състояния на материята, както ги разбираме сега, а именно твърдо състояние, течност, газ и плазма.



Фиг. 4. 4-те главни елемента на Аристотел



Фиг. 5. Периодичната система на Аристотел

Бихме могли да си представим елементите като “периодична система” (фиг.5). Към 4-те елемента Аристотел добавя и 5-ти елемент, изпълващ цялото пространство – етер.

6. Движение

Наблюденията на Аристотел показват, че нещата имат естественото състояние на покой. Всички неща, приведени в движение, рано или късно идват в покой. Освен това всяка материя има естествено място, към което се стреми. Естественият ред е огън, въздух, вода и земя. Земята се стреми “по-надолу” отколкото водата.

Движенията са два вида: естествено и принудено. При естественото движение обектите се стремят към естественото си положение и тогава това е движение нагоре и надолу по права линия. Принудено движение се наблюдава, когато един обект директно действа върху друг, т.е. казано на съвременен език само когато действа сила. Тогава обаче е трудно да се обясни движението спрямо хоризонта, тъй като хвърлено тяло продължава да се движи във въздуха вместо да падне към земята. Аристотел намира следния изход. В този случай въздушните пластове пред тялото се разместват от движението. Въздухът зад тялото се завихря и го бута напред, като този ефект отслабва с времето и тялото накрая пада на земята.

От съвременна гледна точка съгласно принципите на класическата механика на Нютон представите на Аристотел изглеждат наивни, но те съответстват напълно на наблюдаваните движения в заобикалящата ни среда.

В Таблица 1 е дадено сравнение на представите за движението според Аристотел и Нютон.

Таблица 1. Движението според Аристотел и Нютон.

Аристотел	Нютон
✚ Скоростта на принуденото движение е пропорционална на силата	✚ За промяна на състоянието на движение е необходима сила
✚ $v \sim F$	✚ $\frac{\Delta v}{\Delta t} \sim F$
✚ когато $F \rightarrow 0$, $v \rightarrow 0$	✚ когато $F = 0$, то v е постоянна
✚ Движението е процес	✚ Движението е състояние

7. Свободно падане на телата

По този въпрос Аристотел определя два важни момента.

1. Скоростта на падане е пропорционална на теглото. По-тежките предмети падат по-бързо.
2. Скоростта, с която телата падат, е обратно пропорционална на плътността на средата.

С тези изводи Аристотел е първият, който мисли за движението количествено. Можем да кажем и че Аристотел прави мислени експерименти. По отношение на падащи тела той сравнява скоростите на падане в различни среди: въздух, вода и празно пространство. Стига до извода, че празно пространство не съществува, тъй като тогава скоростта на падане би била безкрайна. От там и известният и досега израз “природата не търпи празно пространство”.

8. За Вселената, пространството и времето и гравитацията.

За природата на Вселената и по-точно за това дали целокупната ѝ маса е безкрайна по величина или е ограничена, е отворен въпрос. Космосът е изпълнен с невидимия етер. Планетите и звездите се движат по кръгови орбити през етера. Звездите са закрепени на кристалните небесни сфери, които се привеждат в движение от безконечното еднообразно въртене на крайната сфера.

За Аристотел времето и пространството са свързани посредством движението. Движението има продължителност, защото е движение през непрекъснатото пространство. Времето е число на движението по отношение на

“преди” и “след това”, т.е. числова характеристика на движението. За Аристотел, както и за Нютон времето е абсолютно.

Разсъжденията на Аристотел, които можем да отнесем към гравитацията са, че всяко тяло има лекота или тежест, или и двете. За илюстрация той разсъждава по следния начин, използвайки идеята за 4-те елемента. Стихиите са тежки и леки една спрямо друга, напр. въздухът спрямо водата и водата спрямо земята. Тежко е това, за което е естествено да се носи към центъра, а леко - от центъра, най-тежко е разположеното под всички други неща, които се носят надолу, а най-леко - това, което се издига най-горе от носещите се нагоре. Аристотел прави извод, че по-тежките тела падат по-бързо към Земята, схващане, което господства две хилядолетия.

6. Заключение

Аристотел полага основите за системно развитие на науката и философията, създавайки основната рамка за разбиране на природата. Представите му представляват едно систематично обяснение, основано на опитни доказателства и логичен анализ. Той ни оставя стройна методология и верни наблюдения, които го водят обаче до погрешни заключения за строежа на материята и устройството на Вселената. Той често прави извода “невъзможно е да е иначе”, без да се сети да направи реален експеримент. За достигане на тази идея на човечеството му са били нужни 2000 години до времето на Галилей.

Независимо от това, Аристотел остава един от най-великите мислители на човечеството, завещавайки ни представата за един реален и познаваем свят, в който живеем. В „Британската енциклопедия“ за него се казва: „Аристотел е първият истински учен в историята“.

Нека дапомним една мисъл на Аристотел: „Всички хора по природа се стремят към знание. Корените на образованието са горчиви, но плодът е сладък“. По този повод можем да кажем и ние: *“Magister dixit!”*.

ЛИТЕРАТУРА

В настоящия доклад са използвани материали от Интернет.

ЦИКЛОНИ, АНТИЦИКЛОНИ И ОБЩА АТМОСФЕРНА ЦИРКУЛАЦИЯ

Радостина Ташева

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

Резюме: Разглеждат се циклоните и антициклоните като основни структурни елементи на общата атмосферна циркулация (ОАЦ). Дискутират се теориите за техния произход, времето което определят и тяхната взаимовръзка със струйните течения, полярния фронт, планетарните вълни на Росби и други елементи на ОАЦ.

Ключови думи: атмосферна циркулация, полярен фронт, планетарни вълни на Росби, струйни течения

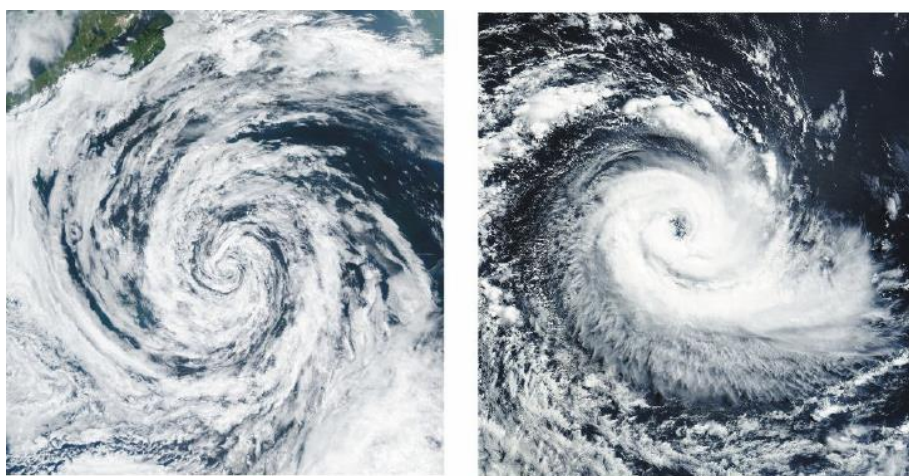
1. Увод

Пространствените мащаби на реално съществуващите движения на въздуха варират от най-малките, като лек полъх, до движения с хоризонтални размери хиляди километри, включително такива, обхващащи цялото Северно или Южно полукълбо или даже цялата планета. Последните са известни под името Обща атмосферна циркулация (ОАЦ). Тя представлява съвкупността от основните глобални по мащаба си и относително устойчиви във времето въздушни течения в тропосферата, стратосферата и мезосферата, чрез които се осъществява хоризонтален и вертикален обмен на големи маси въздух. Тези въздушни течения включват пасати, мусони, планетарната фронтална зона, западния зонален пренос в умерените ширини, източния зонален пренос зад полярния кръг, вътрешнотропичната зона на конвергенция (ВТЗК), струйните течения (СТ), подвижните циклони и антициклони, планетарните вълни и атмосферните центрове на действие [1]. Отделните елементи на ОАЦ са тясно свързани помежду си и са резултат от колебания в атмосферата с периоди от порядъка на дни и месеци и пространствени мащаби от порядъка на хиляди километри, влияят си и така формират атмосферните условия над територии от глобален мащаб.

2. Циклони, антициклони и времето, което определят

Циклоните представляват области на ниско налягане или барични депресии, разгледани заедно с ветровите им системи, които определят основната циркулация на въздуха в хоризонтално направление. Техните хоризонтални размери варират от 500 до 2500 km, а вертикалните - до границите на тропосферата. На сателитните изображения изглеждат като гигантски вихри,

въртящи се в посока на обратна на часовниковата стрелка в Северното и по часовниковата стрелка в Южното полукълбо (фиг. 1). Посоката на тяхното въртене в първо приближение се определя от геосторофния баланс (между силата на баричния градиент и силата на Кориолис), така че вятърът е насочен приблизително по изобарите, а големината на скоростта му се определя от баричния градиент (разстоянието между изобарите). Вихровия характер на това движение може да се обясни с отчитането на силата на съпротивление и триене, която отклонява въздушните маси средно на 30° от първоначалната посока към ниското налягане. Освен, че определят времето за кратки периоди, циклоните регулират температурните контрасти между полюса и екватора, стабилизират разпределението на плътността на въздуха и поддържат западния зонален пренос в атмосферата, действайки срещу процесите на триене и съпротивление между атмосферата и земната повърхност [2].



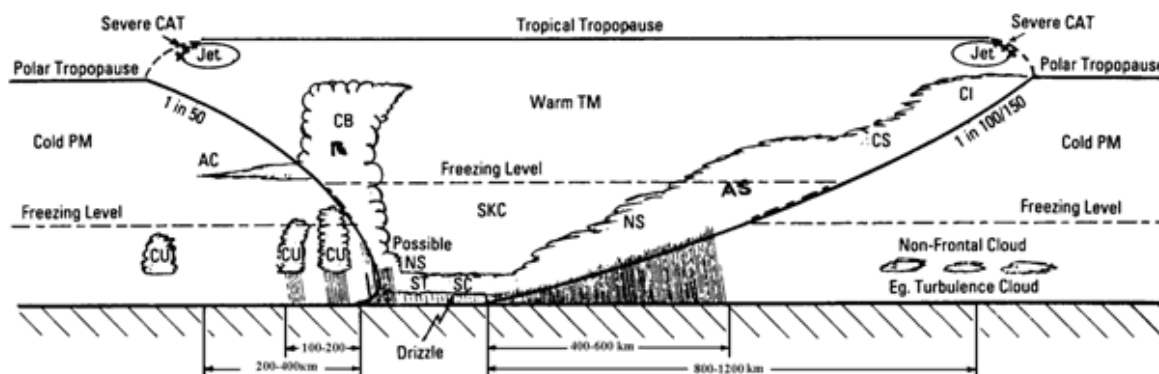
Фиг. 1. Сателитна снимка на циклон в:

а) Северното полукълбо, б) в Южното полукълбо

Времето, определяно от циклоните, е директно свързано с приземните движения, насочени към центъра на ниско налягане - от натрупването на въздушни маси там естествено следва тяхното вертикално издигане, а поради факта, че този въздух е практически винаги влажен, се образува облачност, последвана от валежи. При преминаването на различните части на циклона над дадена точка от земната повърхност се наблюдава различно по тип време. Това е свързано със структурата на циклона. Циклоните на умерените ширини (извънтропични циклони) се състоят от три основни елемента - топъл фронт, топъл сектор и студен фронт (фиг. 2). Топлия фронт показва приземната граница между топлия и студения въздух и как топлия въздух се изкачва върху студения. Поради малкия наклон на фронта (1:150) и малката му скорост на придвижване, получената облачност е с малка вертикална, но голяма хоризонтална компонента. Наблюдател на пристигането на този фронт ще види облачност с постепенно намаляваща долна граница - цирус-цирустратус-алтостратус-нимбостратус (Ci-Cs-As-Ns) и засилващ се валеж - отначало с прекъсвания, след това без, но няма да стане пороен. Около 200-220 km преди

пристигане на фронта, особено през зимата често се наблюдава фронтална мъгла заради попадането на дъжда по топлия фронт в студения и сух въздух под него. При пристигането на фронта в точката на наблюдение валежите престават.

Времето в топлия сектор се определя от факта, че топла и влажна въздушна маса с устойчива стратификация (без възможност за мощни вертикални движения) преминава над студена повърхност. Това през лятото води най-често до малка облачност, но понякога се наблюдават купесто-дъждовни облаци и гръмотевични бури. През зимата се очаква плътна облачност от типа стратус St и стратукумулус Sc, понякога мъгли и ръмеж.

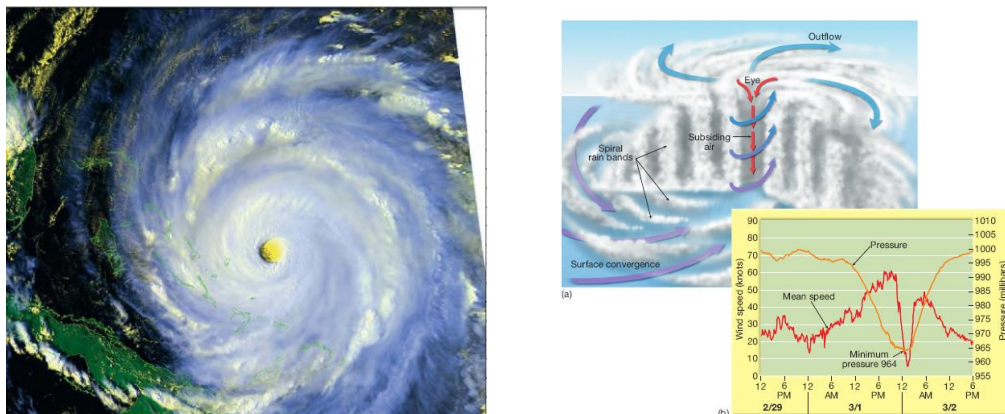


Фиг. 2. Основни елементи на извънтропичен циклон - топъл фронт, топъл сектор и студен фронт.

Валежите по студения фронт започват малко преди той да премине над наблюдателния пункт. Това е свързано с по-големия му наклон (1:50), който е пряко следствие от факта, че студеният въздух много по-лесно измества по-лекия топъл въздух. Фронталната повърхност на активните студени фронтове се движи подобно на верига на танк и дава възможност за много кратко време големи обеми от топъл влажен въздух да се издигнат през студената въздушна маса. Така се получава вал от мощни купести-дъждовни облаци кумулониimbus (Cb) с проливни валежи от дъжд или сняг, съпроводени от интензивни бури и шквал. Валежите продължават максимум час и след това се прекратяват, поради низходящите движения по фронталната повърхност. При преминаване на фронта температурата пада внезапно, вятърът се завърта по часовниковата стрелка. Заради увеличената сила на бариичния градиент скоростта на вятъра обикновено нараства и той става поривист. Налягането точно преди фронта рязко намалява (той е разположен по оста на бариичната долина), а след преминаването на фронта нараства с пристигането на студения плътен въздух зад него. Колкото са по-далече от центъра на циклона точките от съответния фронт, толкова са по-слаби явленията, свързани с него.

Тропичните циклони (фиг. 3) са вихрови образувания, които се наблюдават в пасатните зони между 10 и 25° северна и южна ширина в края на лятото и началото на есента. Те получават своята енергия главно от изпарението на морската вода при ветрове $>17 \text{ m/s}$ и последващата я кондензация в облачната

система в близост до центровете им. Най-мощните от тях, със скорости $>33 \text{ m/s}$, се наричат урагани в Атлантическия океан и Тихоокеанското крайбрежие на САЩ, циклони по бреговете на Индийския океан, тайфуни по Тихоокеанското крайбрежие на Азия. Най-ниското измерено налягане в центъра им е 874 hPa (срещу 934 hPa за извънтропичните циклони). За разлика от извънтропичните циклони в тях не се наблюдават фронтове, а облаците и интензивните валежи са разположени във вид на спирала по скоростта на вятъра, който може да достигне до 200 km/h . Валежите са съпроводени със силно ветрово вълнение. Мощността, отделяна в тропичните циклони, може да стигне до $1,5 \cdot 10^{13} \text{ W}$ при диаметър на ниво 1013 hPa около 700 km .



Фиг. 3. а) Тропичният ураган Флойд над полуостров Юкатан, 1999г;
б) структура на тропически циклон с ветровата и облачната му система

Най-често споменаваната особеност на тропичните циклони е „Окото на бурята”, която представлява зона на равновесие между силата на бариичния градиент, центробежната и кориолисова сили. Диаметърът му е до 300 km в циклони и $60\text{--}65 \text{ km}$ в урагани. Около него се издига стена от мощни Сб с интензивни валежи и височина повече от 10 km , докато вътре в окото небето е ясно или има тънки облаци. Скоростта на вятъра намалява до $20\text{--}25 \text{ km/h}$ и даже може да спре. Извън „Окото” резултантната сила е насочена към центъра му и въздухът се движи в тази посока като се катери по облачната стена. При спускането към центъра въздуха се загрява адиабатно и потиска развитието на облачност. Изтичането на въздух навън от ниските части на окото допълнително стимулира адиабатното спускане. Температурата в окото е с до 10° по-голяма от тази в стената от облаци във височина и само $1\text{--}2^\circ$ по-голяма при Земята. По време на усилване на циклона окото намалява размерите си.

Антициклоните са области на високо налягане или голяма геопотенциална височина, разгледани с тяхната ветрова система, които се въртят в посока на часовника в Северното полукълбо и обратно в Южното. Силите на триене и съпротивление предизвикват дивергенция (разходимост) на приземния вятър и затова в антициклоните не се наблюдават атмосферни фронтове. Дивергенцията на приземните течения от своя страна води до низходящи движения във височина, инверсии на слягане и размиване на облаците т.е. времето в антициклоните е малко облачно и безвалежно.

Въпреки, че не са така активни като циклоните, антициклоните са от голямо значение, защото ясното и сухо време обикновено асоциирано с тях позволява значително нощно радиационно охлаждане и ниски приземни температури. Въздухът в тях е стабилен и позволява създаване на големи концентрации на замърсители в близост до Земята. Антициклоните във височина са често стационарни или движещи се на запад, което означава, че те могат да блокират движението на циклоните и да определят дълги периоди на аномално време.

3. Възникване на циклоните и антициклоните и тяхната връзка с другите елементи на ОАЦ

Повечето метеорологично значими движения в атмосферата са свързани с факта, че Земята е бързо въртяща се планета и атмосферата има стабилна средна стратификация на плътността. Първият фактор налага съществени ограничения на хоризонталните движения от синоптичен и глобален мащаб, вторият - на вертикалните. Движенията в атмосферата могат да се опишат с три основни уравнения - законът за изменение на импулса (1), уравнението за непрекъснатост (2) и уравнението за притока на топлина (3).

$$\frac{DV}{Dt} = -f\vec{k} \times \vec{V} - \nabla\Phi + F_r \quad (1)$$

$$\nabla \cdot V + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial z}(\rho_0 w) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{DT}{dt} + \frac{wN^2H}{R} = \frac{J}{c_p} \quad (3)$$

Всички уравнения са записани за единици маса. Уравнение (1) характеризира изменението на хоризонталната скорост V като резултат от нарушаването на баланса между кориолисовата сила (f -параметър на Кориолис), силата на баричния градиент, изразена чрез градиента на геопотенциала Φ и силата на турбулентно триене F_r . Уравнение (2) изразява факта, че дивергенцията на скоростта, която променя в площта на потока, води до промяна в дълбочината му, изразена чрез промяната във вертикалната скорост w . Уравнение (3) показва зависимостта на скоростта на изменение на температурата от адиабатните процеси на разширение и свиване и внасянето на топлина чрез изпарение и радиационно нагряване.

Приложението на тези уравнения към хоризонталните движения от синоптичен мащаб и нагоре води до прости връзки между разпределенията на скоростта на вятъра, налягането и температурата, съществени за обяснение на промените, настъпващи в синоптичното време. Съвместното решение на тези уравнения предсказва възникване на планетарни вълни от глобален мащаб - „вълни на Росби“, върху които се наслагват бързо преминаващи циклони и антициклони, черпещи енергия за поддържането си от температурната разлика „полус-екватор“.

Първият цялостен модел, разглеждащ възникването и развитието на извънтропичните циклони, е направен през Първата световна война от група норвежки и шведски учени на базата на експериментални наблюдения от добре развита система от приземни метеорологични станции. Моделът, публикуван през 1921г. от Вилхелм и Якоб Бюркнес, Халвор Солберг и Тор Бержерон, е известен като **теория на полярния фронт** или **Норвежки циклонален модел**.

В съгласие с този модел, началната фаза на формиране на циклон започва с вълново смущение по фронт от двете страни на който се движат студена (полярна) и топла (тропическа) въздушни маси в противоположни посоки [3]. Условието за превръщането му в циклон често са свързани със смущения на зоналния западен поток във височина. Когато потокът е насочен почти директно запад-изток, практически не се наблюдава приземна циклонална активност. При възникването на нестабилност, нарастваща експоненциално с времето, върху зоналния пренос се наслагват хоризонтално-напречни вълни с типични дължини около 4000 km и амплитуди хиляди километри. Тези вълни, **планетарни вълни** или **“вълни на Росби”**, разпространяващи се със скорост от порядъка на 15 m/s, карат въздуха в горната част на атмосферата да меандрира в посока север-юг. Те се дължат на въртенето на Земята около оста ѝ и на изменението на силата на Кориолис с географската ширина. Свързани са с долините на студ, гребените на топлина, образуването на семейства от циклони, както и с възникването на атмосферните центрове на действие.

Най-бързата част на планетарните вълни, която се движи със скорости от порядъка на 80 kt (40 m/s) и повече, представлява **полярното струйно течение**. То се образува по полярния фронт, където се срещат полярен и тропичен въздух и следователно, съществува значителен температурен градиент на север или юг. Разполага се в топлия въздух под тропичната тропопауза и положението му се променя значително с времето, защото следва движението на циклона, с който е свързан (фиг. 4). От друга страна, винаги когато се формира извънтропичен циклон, това става под оста на полярното струйно течение. По такъв начин циклонът черпи енергия от струйното течение, за да се развива. За поддържането му (от няколко дни до седмица) е необходимо да се наблюдава дивергенция на потоците във височина. Това се осъществява при разтягане на въздушната колона при навлизането в област с висока скорост, при дивергенция в хоризонтално направление и при ротационни движения. Аналогично, конвергенцията на въздуха при антициклоните във височина, необходима за тяхното поддържане, се причинява главно от сгъстяване на въздушната колона при навлизане в зона с ниска скорост, хоризонтална конвергенция или въртливо движение.

При развитието на вълновото смущение в началната фаза на циклогенеза топлият въздух напредва в посока към полюса, движейки се над студения въздух и налягането в центъра намалява, а студеният въздух избутва топлия като задълбочава още повече циклона. При по-бърза разходимост на въздуха във височина отколкото сходимост при Земята налягането в центъра намалява и

циклонът се задълбочава.

В стадия на **млад циклон** (фиг. 5а) се наблюдават поне 3 затворени изобари и се формира топъл сектор на циклона.

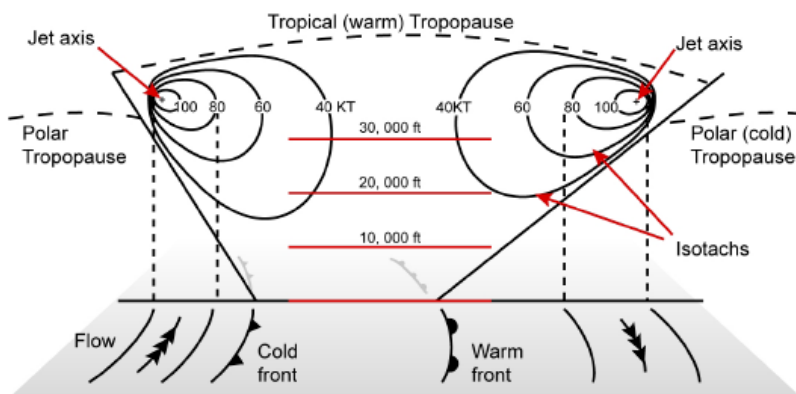
Водещите краища на топлия и студения въздух формират топлия и студения фронт.

Младият циклон се наблюдава само на приземните синоптични

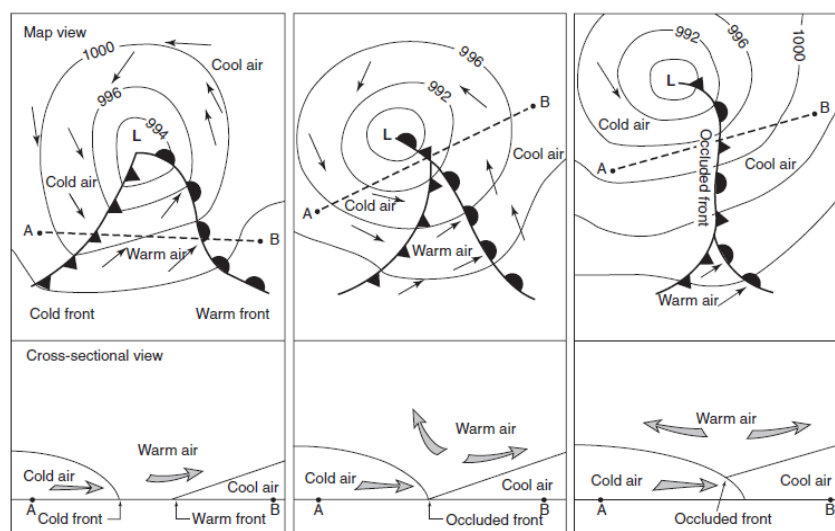
карти. Тъй като студеният фронт се движи по-бързо от топлия в рамките на циклона, с течение на времето топлият сектор постепенно намалява. В началото на стадия **оклюзия** (сливане на топлия и студения фронт (фиг. 5б) циклонът достига максималното си развитие (зрял циклон), с голям брой затворени изобари при Земята, стеснен и избутан във височина топъл сектор. Тогава времето се определя от оклюзионния фронт, който се получава от сливането на топлия и студения фронт - през лятото повече като студен фронт, през зимата като топъл. В стадия на почти оклюдиран циклон (фиг. 5в) циклонът е почти изцяло запълнен и оказва слабо влияние върху времето.

Причината за възникването на **тропичните циклони** са вихровите движения, възникващи в клъстерите от облаци, формирани по ВТЗК. Приблизително една на всеки сто от тези бури, придвижвани в западна посока от пасатите се превръща в **ураган**. Почти през целия район, доминиран от пасатите се формират антициклонални инверсии, които ограничават разпространението на водната пара до слой около километър над водната повърхност. Спорадичната конвекция (често в шквалови линии), пробиваща през инверсията, изтощава енергията натрупана в слоя, оставяйки след себе си големи области от хладен и влажен въздух. Нормалните нива на изпарение се достигат отново поне след денонощие. Така причината, поради която не всеки формиращ се циклон се превръща в ураган, е ограниченото количество енергия, която може да се запаси и ниските нива на изпарение при нормални скорости на вятъра.

На морско равнище антициклоните обикновено възникват като студени и плитки циркулации, които мигрират към екватора, еволюирайки в топли субтропични области с високо налягане, обхващащи почти цялата тропосфера. Антициклоните на големи географски ширини могат да проникнат и в стратосферата и да бъдат свързани с внезапните стратосферни затопляния.



Фиг. 4. Взаимно разположение на извънтропичен циклон и полярно струйно течение.



а)

б)

в)

Фиг. 5 Стадии в развитието на циклон а) млад циклон
б) зрял циклон в) почти изцяло оклюдирал циклон

Атмосферните центрове на действие са райони, в които се наблюдават стационарни циклони и антициклони. Климатичните центрове на действие са активни през цялата година. Исландският циклон, Азорският, Хавайският, Южноиндийският и Южнотихоокеанският антициклони са свързани със субтропичните зони на високо и субполярните на ниско налягане. Центровете със сезонно действие - Сибирският и Северноамериканският зимен антициклон и Южноазиатският летен циклон се образуват заради екстремно високите или ниски температури над сушата. И двата вида центрове са резултат от възникването на стоящи вълни на Росби.

4. Заключение

Циклоните и антициклоните представляват основните барични системи, определящи синоптичното време. Въпреки, че в началните етапи от развитието те се наблюдават само на приземните синоптични карти, те са тясно зависими не само един от друг, но и от останалите елементи на общата атмосферна циркулация. Промяната на движението на въздуха в глобален мащаб води до съществени изменения в развитието и дисипацията на тези образувания, променяйки по такъв начин типа време, който те определят.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] James D., In: Introduction to Circulating Atmospheres. Cambridge: Cambridge University Press, p.52, 1994.
- [2] Hakim J.G., Encyclopedia of Atmospheric Science, Elsevier. p.589, 2002.
- [3] Lutgens F., Tarbuck E., THE ATMOSPHERE: An Introduction to Meteorology, Prentice Hall, NJ, 2010.

НЕОБХОДИМА ЛИ Е ТЪМНАТА МАТЕРИЯ ЗА ОБЯСНЕНИЕ НА НЯКОИ НАБЛЮДАВАНИ ФЕНОМЕНИ

Ивайло Минков

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

Резюме. В настоящата работа е обърнато внимание на един от най-важните въпроси в науката и в частност във физиката: трябва ли новооткрити факти и явления да се обясняват със съществуващи теории, или е необходимо да се въвеждат нови теории, величини и понятия. Като пример за разсъждение е използвана т.нар. тъмна материя. Изводът е, че отговорът на поставения въпрос не може да бъде еднозначен - трябва да се използват и двата подхода, но в разумни граници, до окончателното решаване на всеки конкретен проблем.

Въведение

В периода 1922÷1932г. - холандски астрономи, между които и Jan Oort, изследват движението на звездите в галактиките от местната група. Въз основа на наблюденията и последващи измервания те предполагат, че масата в близките галактики трябва да е повече от наблюдаваната. Прецизна проверка на изчисленията показала, че те са допуснали грешка.

През 1933г. швейцарският астроном Fritz Zwicky изследва галактическия куп Кома и достига до подобни заключения. Прилагайки вириалната теорема за този галактически куп той доказва, че трябва да съществува невидима маса, около 400 пъти повече от наблюдаваната, която нарича „тъмна материя“ (dunkle Materie). Това се счита за първото официално доказателство за съществуването на тъмна материя. Стойността, която е получил Zwicky, се отличава на повече от порядък от определеното днес съотношение, което се дължи преди всичко на неточната стойност на константата на Hubble, която той е използвал.

Horace Babcock изследва ротационната крива на звездите в Андромеда и през 1939г. установява, че отношението маса-светимост за звездите от галактиката се увеличава към периферията. Той свързва наблюденията си с поглъщане на светлината във вътрешността на галактиката или с модифицирана динамика на периферните области, но не с липсваща материя.

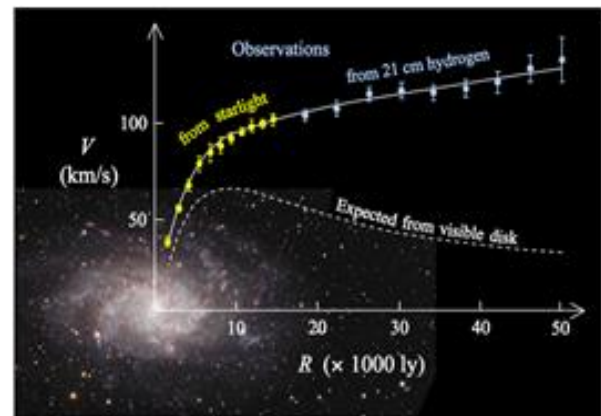
През 60-те и 70-те години на 20 век Vera Rubin и Kent Ford извършват прецизни измервания на скоростите на въртене на звездите в различни спирални галактики. Окончателните резултати са публикувани от Rubin през 1980г. и показват, че в повечето галактики трябва да има тъмна материя, която е около 6 пъти повече от наблюдаваната.

Така в началото на 80-те години тъмната материя става един от най-важните нерешени проблеми в астрономията и астрофизиката.

Основания за съществуването на тъмна материя (недостигаща маса)

Както е показано по-горе, оценката на масата на галактиките и несъответствието на скоростта на въртене на звездите в периферията им (фиг. 1) са главните основания за въвеждането на тъмната материя.

Всяка галактиката може да се разглежда като стабилна затворена система. Следователно за нея трябва да е в сила т.нар. вириална теорема, която свързва средните стойности на кинетичната T и потенциалната U енергия на такава система. В разглежданата галактика трябва да действат само гравитационни сили и зависимостта придобива вида:



Фиг. 1. Ротационна крива на типичната спирална галактика М 33 (жълти и сини точки) и прогнозираната от разпределението на видимата материя (бялата линия) [1].

$$\langle T \rangle = -\frac{1}{2} \langle U \rangle \quad (1).$$

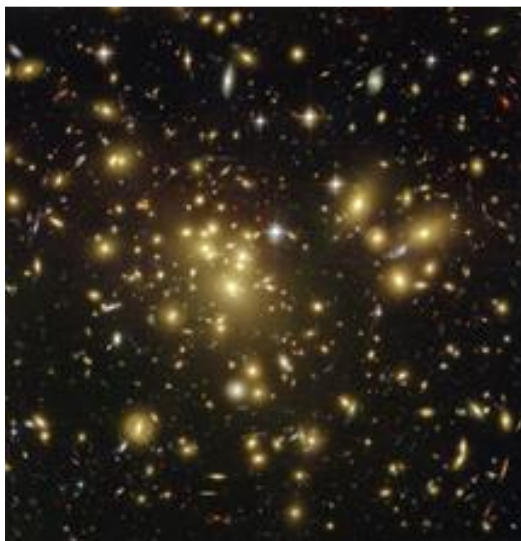
Чрез тази зависимост може да се прецени масата на звездите в галактиката, тъй като тя определя потенциалната енергия на взаимодействие. От определената скорост на въртене на звездите (фиг. 1) следва, че кинетичната енергия на спиралните галактики е прекалено голяма за наблюдаваната маса.

Оценката на масата на галактиките може да се направи и като се определят масите на звездите от относителната зависимост маса-светимост (отнесени към масата и светимостта на Слънцето):

$$L \sim M^a \quad a = 1 \div 6 \quad (2),$$

като най-често стойността на a е около 3,5. Това е изпълнено за голяма част от звездите от главната последователност в диаграмата на Hertzsprung-Russell с маси между 2 и 20 слънчеви маси. За по-масивните звезди a е около 1, а за по-малките може да бъде по-голям или по-малък от 3,5.

Масата на галактическите купове може да се определи по различни независими начини, като някои от тях изключват измерването на скоростите на въртене на галактиките. Най-често се определя от рентгеновото излъчване на горещите газове в куповете, но в някои случаи може да се наблюдава отдалечен обект (напр. квазар) зад даден галактически куп - т. нар. ефект на гравитационната леща, който зависи от масата на купа. Силните гравитационни лещи (фиг. 2) предизвикват появата на гигантски дъги около ядрото на галактическия куп, докато слабите лещи се наблюдават като леко изкривяване на формата на външните области на купа. От наблюдението на



Фиг. 2. *Силна гравитационна леща, наблюдавана от космическия телескоп Хъбъл в Abell 1689, показва наличието на тъмна материя [2]*

гравитационните лещи може да се апроксимира разпределението на тъмната материя – оказва се, че тя е разположена главно в периферните области на галактичните купове (фиг.3) и спиралните галактики.

След официалното формулиране на проблема с липсващата маса в началото на 80-те години, учените открили проявления на тъмната материя и в други наблюдавани аномалии: анизотропия в космическия фон (реликтовото излъчване), породена от различни флуктуации; изкривявания в линиите на червеното отместване; при определяне на разстоянията до свръхнови тип Ia и др.

Проблеми, които възникват при въвеждане на тъмната материя

Въвеждането на тъмната материя обяснява част от наблюденията, свързани с недостигащата маса в галактиките, но също така поставя и доста допълнителни проблеми, които се нуждаят от изясняване. На първо място можем да поставим въпроса: защо тъмната материя е разпределена само в халото на галактиките? Ако тя има същите гравитационни свойства както видимата материя (а това е едно от основните изисквания към нея), трябва да се разпределя по същия начин в галактиките и галактичните купове.

Други въпроси, които възникват са:

Защо няма тъмна материя в кълбовидните звездни купове?

Защо не се проявява около нас (в нашата Слънчева система), ние сме достатъчно далеч от центъра на нашата галактика? Ако около нас има достатъчно тъмна материя, тя трябва да влияе на скоростта на въртене на отдалечените планети, също както на отдалечените звезди в галактиките.

Възниква и необходимостта от въвеждане на голямо количество небарионна материя. Една част от тази материя може да бъде неутриното, но дори то да има



Фиг. 3. *Пръстен от тъмна материя (представен в синьо), следствие от ефекта на гравитационна леща, е загатнат в изображението на галактичен куп (CL0024 + 17) [3].*

маса, тя не е достатъчна, за да се достигне предполагаемата част на тъмната материя (около 5-6 пъти повече от видимата). Кандидати за такава небариона материя са хипотетични нови частици като аксиони, суперсиметрични частици и др.

Може ли да се намери обяснение без въвеждане на тъмна материя?

Още в началото на 80-те години, успоредно с официализирането на тъмната материя, са правени доста опити да се обяснят наблюдаваните аномални (от гледна точка на стандартните теории) явления, без въвеждането ѝ. През 1983г. е създадена т. нар. модифицирана Нютонова динамика (MOND) от Mordehai Milgrom. В нея се предполага, че гравитационната сила е различна при малки ускорения:

$$F = m\mu(x)a; \quad x = \frac{a}{a_0}, \quad (3)$$

където $\mu(x)$ е т.нар. интерполираща функция, а $a_0 \approx 1,2 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$ е нова универсална константа, която бележи границата между Нютоновата механика и MOND ($\mu(x) \rightarrow 1$ при $x \gg 1$ и $\mu(x) \rightarrow x$ при $x \ll 1$). В приближение на малки ускорения ($x \ll 1$, $a \ll a_0$) за гравитационната сила се получава:

$$F_g = m \frac{a^2}{a_0}, \quad (4)$$

а ротационната скорост на звездите не зависи от разстоянието до централното ядро.

Други теории, развити по това време предполагат маса в няколко измерения, топологични дефекти в квантови полета, фрактали в пространство-времето и др.

Още в средата на 19 век е направено предположение, че галактиките се въртят по-скоро като твърдо тяло и получените ротационни криви са много по-близки до наблюдаваните. В този случай (като използваме най-простото приближение на кръгови орбити) радиалните скорости на звездите трябва да са пропорционални на радиуса на окръжността, по която обикалят и средната плътност на звездното вещество в сферата, построена върху тази окръжност:

$$v \sim \sqrt{r\rho(r)}. \quad (5)$$

На фиг. 4 е представена зависимостта на земното ускорение, а следователно и на гравитационната сила, от разстоянието до центъра на Земята при различни разпределения на радиалната плътност $\rho(r)$. Галактиките не се въртят като идеално твърдо тяло, дори е по-вероятно да се въртят като силно вискозна течност, но може да намери разпределение на плътността, при което могат да се обяснят радиалните криви, без да се налага да променяме Нютоновата

динамика.

Остава разбира се и въпросът за липсващата маса (или допълнителна сила, която изменя потенциалната енергия). В тази връзка може да си зададем няколко въпроса:

„Виждаме“ ли всичко? - информацията, която получаваме е само от наблюдения в електромагнитния спектър.

Доколко коректно се определя масата от зависимостта маса–светимост? - от (2) се вижда, че моделът работи добре само за маси, които са сравнително близки до слънчевата.

Възможно е да съществуват допълнителни сили (от типа на силите на van der Waals, силите между неутрални атоми, които се описват с потенциала на Lennard-Jones и др.), които ефективно повишават силите на привличане между звездите в галактиките. Може също така да има и обратна връзка между скоростта и средната плътност $\rho = f(v)$, тъй като се наблюдава самосъгласуваност на движението на звездите.

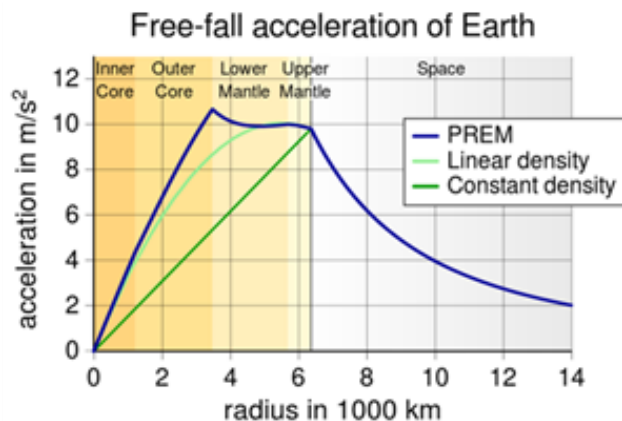
Основният въпрос

На основата на разгледания проблем с тъмната материя може да поставим един основен въпрос в науката: Трябва ли да се въвеждат нови величини, понятия, закони, теории за обяснение на наблюдавано явление, или трябва да се използват настоящите?

Нека да разгледаме два примера, много характерни в подкрепа на всяка от двете тези.

През 18 век за обяснение на топлинните явления е формулирана теорията за топлорода. Дори от съвременна гледна точка тази теория попада в категорията на добрите теории, доколкото тя разширява съществуваща теория (за флогистона, която е обяснявала горенето) и включва обяснение на нови явления. Нейната несъстоятелност е била видяна тогава, когато не е могла да обясни едно просто явление - нагриването на две триещи се тела. Тогава учените се обърнали към вече съществуваща теория (кинетичната теория) и правилно си обяснили топлинните явления.

В началото на 20 век, при изследване на закономерностите на β -разпада, пред физиците възникнал проблем с енергията на отделените електрони. Опитите да се реши проблема без въвеждане на нови понятия и обекти довел до съмнения във валидността на един от основните природни закони - закона за



Фиг. 4. Зависимост на земното ускорение от радиалното разпределение на плътността [4].

запазване на енергията. В допълнение към това изглеждало, че се нарушават още и законите за запазване на импулса и момента на импулса. За да спаси законите за запазване, през 1930г. Wolfgang Pauli предполага, че при β -разпада се ражда и друга, неутрална частица с много малка (или нулева) маса, която нарича неутрон. Въпреки, че съществуването на такава частица е подкрепено и от Enrico Fermi, който ѝ дава името неутрино (за да се отличава от открития през 1932г. неутрон), тя не е била възприета от физиците чак до края на 30-те години. Впоследствие, през 1956г. съществуването на неутрино (по-точно на неговата античастица, антинейтрино) е била експериментално потвърдено.

Както се вижда от изложението по-горе и от приложените примери, на поставения въпрос не може да се даде еднозначен отговор. Най-полезно, от гледна точка на научното познание е да се използват и двата подхода, но в разумни граници, до окончателното решаване на всеки конкретен проблем.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] By Stefania.deluca - Own work, Public Domain,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=34962949>
- [2] By NASA, N. Benitez (JHU), T. Broadhurst (Racah Institute of Physics/The Hebrew University), H. Ford (JHU), M. Clampin (STScI), G. Hartig (STScI), G. Illingworth (UCO/Lick Observatory), the ACS Science Team and ESA -
<http://hubblesite.org/newscenter/newsdesk/archive/releases/2003/01/image/a>, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1727600>
- [3] By NASA, ESA, M.J. Jee and H. Ford (Johns Hopkins University) -
<http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2007/17/image/a/> (direct link), Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2117614>
- [4] By Con-struct - Dziewonski, A.M. (1981). "Preliminary reference Earth model". Physics of the Earth and Planetary Interiors 25: 297-356.
http://geophysics.ou.edu/solid_earth/prem.html AllenMcC.,
File:EarthGravityPREM.jpg for the linear density curve, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=27390559>

СЪВРЕМЕННИТЕ МИКРО И НАНО ЛАЗЕРНИ ТЕХНОЛОГИИ

д-р Тодор Стефанов Петров

Лаборатория Лазери с Метални Пари, Институт по Физика на Твърдото Тяло - БАН,
бул Цариградско шосе 72, 1784 София, e-mail: petrovts@gmail.com

Резюме. В съвременните микро- и нано- технологии все по-голямо приложение намират пико- и субпико- секундните лазерни източници. Развитието им през последните 15 години позволи „изнасянето“ им от лабораторните установки в технологичните линии. Използването на тези лазери нараства и респективно се увеличава продукцията им. Това е причината да им се отделя все повече внимание.

Ключови думи: микро и нано технологии, пико и субпико- секундни лазерни източници.

1. Увод

Създаването на нови продукти, както и усъвършенстване на съществуващите, е една от основните движещи сили при разработването на ключови технологии. Във времето на нано и микро продуктите, обработката на материали посредством пико- и субпико- секундни лазерни импулси придобива все по-голямо значение. За първи път през 1987г. две групи демонстрират използването на пикосекунден ултравиолетов лазер за аблация на полиметилметакрилат [1-2]. Реализирана е чиста аблация и почти не е наблюдавана топлинно-засегната зона (HAZ), прагът на процеса е значително по-нисък от този за наносекунда лазерна аблация. Това е било сериозен импулс за по-нататъшното развитие на технологиите, основаващи се на взаимодействието на веществото с пико- и субпико- секундни лазерни импулси. За първи път през 1994г. в групата на Мороу демонстрират аблация на микро- ниво при обработка на стъклена или сребърна повърхност. През годините от тогава са разработени различни технологии, основаващи се на обработки с пико и субпико секундни лазери импулси. Друг важен научен факт дал сериозен тласък в развитието на технологиите, основаващи се на пико и субпико секундни лазери е появата на твърдотелният Ti:сапфиров лазер генериращ в режим на синхронизация на модовете, както и чирп усилвателят на свръх къси импулси [3]. Тези две открития дават възможност да се генерират импулси с продължителност от няколко десетки фемтосекунди и енергии в импулса от няколко милиджаула до няколко десетки. Следващата сериозна стъпка, допринесла за развитието на технологиите, свързани с обработките посредством пико- и субпико- секундни лазерни импулси, е създаването в

началото на 2000-те години на система, генерираща свръхкратки импулси на основата на легирано оптично влакно. През 2006г. е докладван и компактен чирп усилвател на свръхкъси импулси на основата на влакно (FCRA). Всичко това довежда до появата на комерсиални, стабилни компактни системи на основата на влакно, генериращи импулси с продължителност от 300 fs до няколко пикосекунди и енергия от 10 μ J до 100 μ J, като честотата на генерация може да варира от 1 Hz до 1 MHz. Това е един идеален индустриален инструмент за множество доказани технологии като:

- ✓ висококачествена микро и нано обработка на различни материали [4, 5];
- ✓ нано модифициране и структуриране на повърхности [6, 7];
- ✓ многофотонно поглъщане, позволяващо 3D обработка на прозрачни среди [8];
- ✓ двуфотонна фотополимеризация (TRP) [9];
- ✓ биологични и медицински приложения.

Свръхбързата обработка на материалите с пико и субпико лазерни импулси се характеризира с:

- ✓ малка HAZ: времето за постигането на термодинамично равновесие между електронния газ и кристалната решетка след облъчване със субпикосекундни импулси е 1 - 100 ps. Следователно енергията се натрупва в електронният газ;
- ✓ липсата на плазма от аблацията по време на импулса: за формирането на плазма вследствие на аблацията са необходими няколко стотин пикосекунди. Неговото наличие обуславя по-ниската ефективност в случая на наносекундни импулси;
- ✓ лесно постижимо многофотонно поглъщане: ако се използва поток от фотони с висок интензитет е възможно да се постигнат условията за многофотонно поглъщане. Този процес позволява обработка в прозрачни матрици, каквито са стъклата и множество кристали. Използва се както за повърхностна, така и за вътрешно обемна обработка - 3D оптични вълноводи и μ -оптични компоненти, и μ -флуидни канали;
- ✓ субдифракционна резолюция. Този факт се обуславя от малката HAZ, от многофотонната абсорбция и ограничаването на зоната на взаимодействие в замисимост от прага на аблация;
- ✓ по-нисък праг на взаимодействие от тази за наносекундни лазери.

В предложената работа е направена ретроспекция на основните приложения на пико и субпико секундните лазери в индустрията, комуникациите, медицината и науката.

2. Основни видове обработки със субпикосекундни лазерни импулси.

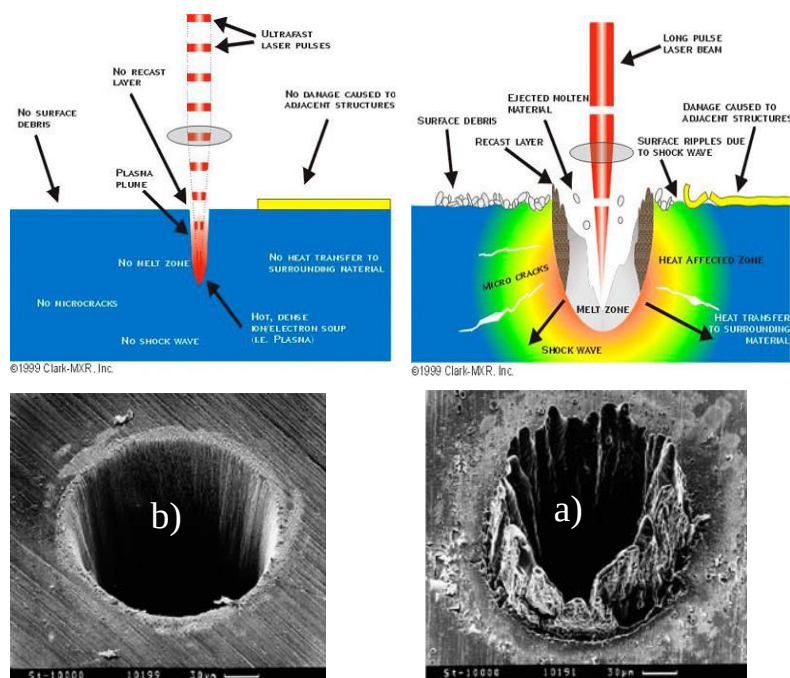
Микромашининг, микропробиване и микрорязане: Ултрабързите лазери потискат топлинна дифузия, дори и при материали с висока термична проводимост като металите. Фигура 1a и 1b представят схеми на процеса на

аблация при наносекунден и фемтосекунден импулс, както и съответните изображения от сканиращ електронен микроскоп (SEM) на дупки, пробити в 100 μm дебели стоманени фолиа. Дължината на вълната и за двата случая е $\lambda = 780 \text{ nm}$. Ясно се вижда, че при фемтосекундния лазер дупката е с остър ръб и стръмна стена, с малка HAZ. Обратно, наносекундната лазерна аблация произвежда значителни деформации около формираният отвор поради топене.

Висококачествени микро-обработки на крехки материали като стъкло са реализуеми посредством суппикосекундните лазери, без да се формират кракове. Фигура 2а и 2б показват SEM изображения на микрообработка на повърхност и разрез в стъкло, получени от фемтосекундна лазерна аблация. И двете снимки показват, че чисти висококачествени ръбове се постигат без образуване на пукнатини. Пико- и субпикосекундни лазери се използват в практиката за повърхностна маркировка, пробиване на отвори, повърхностно моделиране и др.

Микро- и наноструктуриране: Различни μ - и нано- структури могат да бъдат реализирани посредством контролируем процес на субпикосекундна обработка на повърхността на материала. От значение са както интензитетът на лъча, така и пространствения и времеви профил, дължина на вълната, поляризация и околната среда на обработка (атмосферния газ или течност).

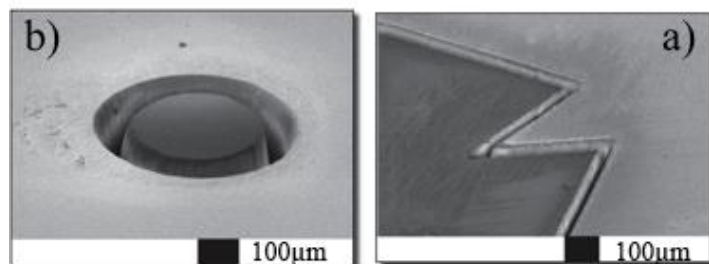
Laser-induced periodic surface structures (LIPSS) се наблюдава при обработка с лазерни импулси с поток, близък до прага на аблация. Формират се гребеновидни структури (миковълнички - фиг. 3а.), които се ориентират перпендикулярно на поляризацията на светлината, която ги създава. Разстоянието между върховете им е $\lambda/n(1 \pm \sin\theta)$, където λ е дължината на вълната на лазерното лъчение, n коефициент на пречупване на обработваната



Фиг. 1. Сравнение на отвори направени в 100 μm стоманено фолио за $\lambda = 780 \text{ nm}$:

a) $\Delta\tau = 3.3 \text{ ns}$, $E_{\text{puls}} = 1 \text{ mJ}$, флуенс 4.2 J/cm^2 ;

b) $\Delta\tau = 200 \text{ fs}$, $E_{\text{puls}} = 120 \mu\text{J}$, флуенс 0.5 J/cm^2 .



Фиг. 2. а) повърхностна микрообработка;
б) срез в стъкло посредством fs аблация.

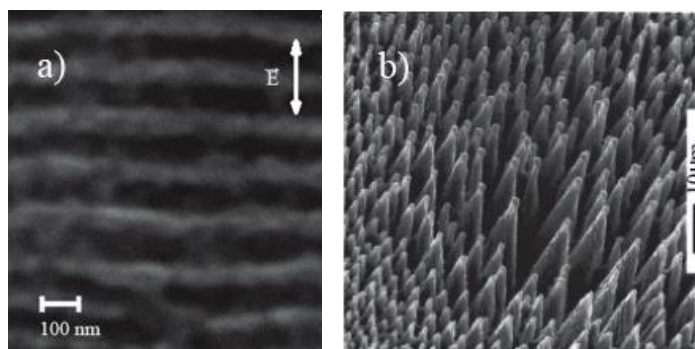
среда и θ ъгъл на падане. Това следователно е от порядъка на λ - нано- и микрометри. Нанориплите могат да бъдат формирани в метали, керамики, изолатори, полупроводници. В прозрачните материали освен на повърхността, могат да се създадат и в обема.

LIPSS намира приложение при:

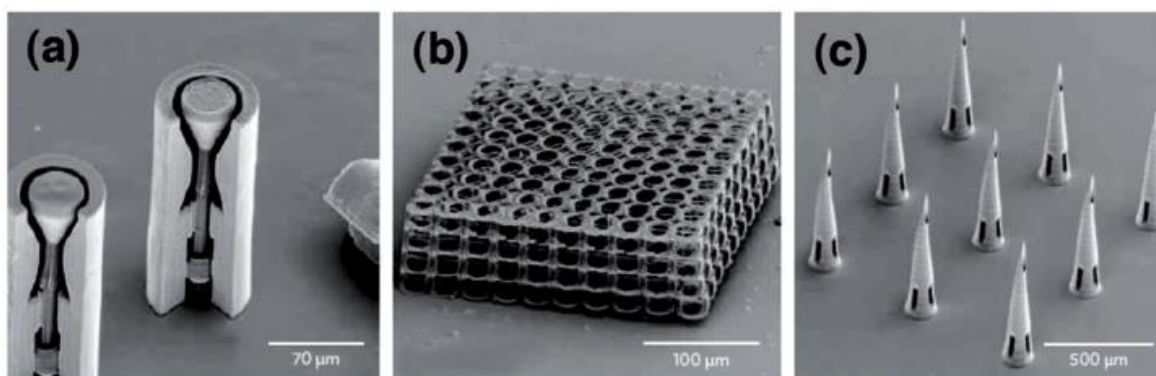
- изменение мокреемостта на повърхности (ефекта на лотоса, адхезията на медицински компоненти);

- поглъщането на светлина и изменение цвета на повърхности. Black Si (фиг. 3b.) повишава ефективността на соларните панели.

Двуфотонна полимеризация: При разработването на 3D структури се използва т. нар. лазерна стериолитография. В случай, че лазерният лъч се фокусира в прозрачна течна среда - специално разработени смоли, процесът на взаимодействие е възможен само, ако енергията на фотоните е по-голяма от дадена прагова стойност. Процесът на взаимодействие е полимеризиране на смолата до твърд полимер (фотополимеризация). При фемтосекундните импулси с достатъчно висок интензитет е възможен процеса на двуфотонно поглъщане - двуфотонна полимеризация (TRP). Този процес се характеризира с висока резолюция (sub-wavelength), контролируема скорост, създаване на нови 3D топологии и комплексни структури, невъзможни за случая на еднофотонна фотополимеризация. За целта са разработени нови фоторезисти (смоли), позволяващи полимеризация top-down (отгоре надолу) или bottom-up (от долу нагоре).



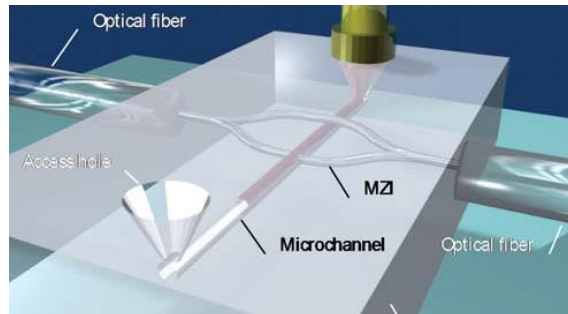
Фиг. 3. Наноструктурирани Si повърхности. а) нановълнички, получени при използване на поляризирано лъчение с $\lambda = 780 \text{ nm}$ и импулс $\Delta\tau = 170 \text{ fs}$, $E_{\text{puls}} = 1 \text{ nJ}$. б) black Si, получен при обработка с 500 fs лазерен импулс в среда от SF_6 газ.



Фиг. 4. Продукти на TRP: а) μ -клапа за превенция от обратен кръвен поток във вени; б) скелето на високопорозна тъкан; в) μ -игли за подкожна доставка на лекарства.

Технологията на TRP намира приложение при създаването на фотонни кристали, μ - и нано- системи, μ -channel вградени в материала, lab-on-chip (LOC) устройства, медицинско и тъканно инженерство. На фиг. 4 са представени 3D структури, създадени чрез процеса на двуфотонна фотополимеризация.

3D технологии в прозрачни материали: Фотони, чиято енергия е по-малка от енергията за преход на валентните електрони на третирувания материал не довеждат до взаимодействие. Ако се използва поток от фотони с висока плътност е възможно да се постигнат условията за многофотонно поглъщане. Този процес позволява обработка в прозрачни матрици. Използва се както за повърхностна, така и за вътрешно обемна обработка. Могат да бъдат формирани 3D оптични вълноводи и μ -оптични компоненти, μ -флуидни канали, локално изменение на химическият състав на средата и др. На фиг. 5 е представена скица на схема за формиране на оптични вълноводи и микро канали в стъклена пластина. Разработен е микро Мах-Цендер интерферометър (μ -MZI). Диаметърът на “изрисуваните” оптични влакна е в диапазона от 2 до 25 μm .

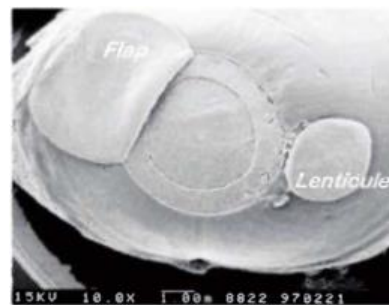


Фиг. 5. Схема за изработването на 3D μ -флуиден канал и μ -MZI в стъклена пластина

Наноаблация: При обработка с пико и субпикосекунден лазер е възможно постигането на размери, по-малки от дифракционно допустимите. Причина за това са: малката NAZ, многофотонното поглъщане и аблирането само в областта, където интензитетът е над прага на аблация. Комбинацията от тези ефекти позволява формирането на наноструктури. В настоящия момент е възможно постигането на наноаблация с размери по-малки от 100 nm. При тези процеси е необходимо използването на химически постпроцес [10].

Биомедицински: Фемтосекундните лазери са обещаващи инструменти за възпроизвеждане на изображения и обработка на клетки и тъкани, тъй като те могат да ограничават областта на въздействие в малки обеми. Операции на нано ниво могат да се изпълняват с фокусирано излъчване на fs лазер, например дисекция, аксотомия, и трансфекция на тъкани, клетки и вътреклетъчни структури.

Когато излъчването от fs лазер се фокусира в течност се създават ударни вълни и кавитационни мехурчета. Индуцираният от fs лазер феномен довежда до кристализация на полимери, моделиране на протеина, инжектиране на наночастици в клетки, местно стимулиране на култивирани клетки, както и изолация на единични култивирани клетки.



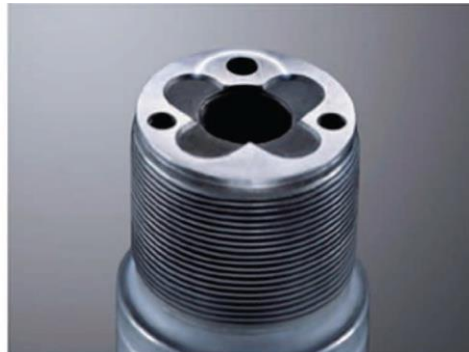
Фиг. 6. SEM изображение на роговицата на примат, в която е изрязано капаче и част стъкловидно тяло за коригиране на зрението

Едно практическо приложение на fs лазери в биомедицината е *laser in situ keratomileusis* (LASIK), коригират се късогледство, далекогледство, астигматизъм. SEM изображение на роговицата на примат, в която е изрязано капаче и част стъкловидно тяло за коригиране на зрението са показани на фиг. 6.

3. Индустриални приложения

Регенериране на микро и нано структури: Първото известно индустриално приложение е възстановяването на повредени хром - кварцово стъкло фотомаски за полупроводниковата индустрия. Използван е 100 fs импулс на дължина на вълната 266 nm, като резолюцията му е по-добра от 100 nm (IBM's mask-making facility).

Дюзи и тестери: Първото приложение на аблация на свръхбързи лазери за масови производство е пробиване на дюзи за принтери със специфични форми. В момента ps лазери са по-подходящи от fs лазери за индустриални приложения, поради тяхната по-висока мощност, ефективност, надеждност и стабилност. От 2007г. за изработване на сензорите за контрол на отделените газове в заводите на Bosch в Бамберг, Германия е използвано ps лазерно изрязване (фиг. 7a.). Пико- и субпикосекундните лазери се използват при изработването на инжекторната дюза на дизеловите двигатели. Системите работят надеждно и стабилно до 2000 bar (фиг. 7b.). В резултат на това, системите за дизелово впръскване са станали по-надеждни, мощни и щадящи околната среда.



Фиг. 7. Компоненти за системи за високо налягане на газове: а) Разрез на газов сензор, произведен посредством ps лазер; б) Профил на газов конектор за високо налягане, за да се избегне изтичането на газ.

Коронарни стендове: Изработват се от неръждаема стомана или запаметяващи формата си сплави (фиг. 8.). Необходима е допълнителна химическа обработка на продукта. За по-добра биосъвместимост се използват Mg сплави или специални полимери. При субпикосекундните лазерни обработки не е необходим пост-процес. В настоящето е възможно изработка на стендове от Ti.

Black Si: През 2011г. черният Si (фиг. 3б.) се прилага за производство на фотоволтаични панели от *SiOnyx Inc.*

Средната ефективност е по-висока от 16,9% като се реализира от слоеве от поликристален силиций с дебелина 150 nm, което е 20% по-тънък от стандартно използваните. Ултрабързите лазери също са обещаващи инструменти за маркировка и моделиране на фотоволтаични соларни клетки на основата на мед-индий-галий-(ди)селенид (CIGS) или мед-индий-селенид [11].



Фиг. 8. *Коронарен стент изработен от биосъвместим полимер без постпроцесинг*

4. Заключение

Пико- и субпикосекундните лазери позволяват разработването на принципно нови технологии. Днес на пазара съществуват фемтосекундни лазерни системи на основата на оптични влакна, генериращи импулси с продължителност 300-500 fs, енергия от 50-100 μ J, честота на повторение 1 Hz - 5 MHz и разходимост, сравнима с дифракционната. Този факт подтикна индустрията към създаването на все повече нови непостижими до момента технологии. Тези лазери сега се използват в производството на електроника, за маркировка, моделиране и текстуриране на стъкло и полупроводници.

Многообразието от параметри, които характеризират генерацията на субпикосекундните лазери позволява моделиране на лъчението в различни аспекти. В началото усилията бяха съсредоточени главно върху пространствено или времево оформяне на свръхбързите лазерни импулси, докато неотдавна интересът се измести към едновременното пространствено времево манипулиране на фемтосекундните лазерни импулси, което дава възможност за структуриране на интензитета по напречното сечение на лазерния лъч. В допълнение, манипулирането на поляризацията е позволило производството на поляризация-чувствителни оптични устройства. По-задълбоченото разбиране на физическите механизми ще помогне за ускоряване на широкото използване на ултрабързите лазери в широк спектър от приложения, включително интегрирана оптика и фотоника, опто-флориди, оптомеханика, оптоелектроника, повърхностно микро- и наноструктуриране, стъкло за заваряване и тъканно инженерство.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Küper S. and Stuke M. Femtosecond UV excimer laser ablation, Appl. Phys., B 44, 199–204.
- [2]. Srinivasan R., et al. Ablation and etching of polymethylmethacrylate by very short (160 fs) ultraviolet (308 nm) laser pulses, Appl. Phys. Lett., 51, 1285.
- [3]. Küper S. and Stuke M. “Ablation of polytetrafluoroethylene with femtosecond UV excimer laser pulses”, Appl. Phys. Lett. 54, 4–6

- [4]. Yanik M.F. et al. Neurosurgery: Functional regeneration after laser axotomy, *Nature*, 432, 822
- [5]. Nakata Y., Okada T., and Maeda M. "Fabrication of dot matrix, comb, and nanowire structures using laser ablation by interfered femtosecond laser beams", *Appl. Phys. Lett.*, 81, 4239–4241
- [6]. Wu Q., et al. Femtosecond laser-induced periodic surface structure on diamond film, *Appl. Phys. Lett.*, 82, 1703–1705
- [7]. Miyaji G. and Miyazaki K. "Ultrafast dynamics of periodic nanostructure formation on diamondlike carbon films irradiated with femtosecond laser pulses", *Appl. Phys. Lett.*, 89,
- [8]. Hanada Y. et al. UV waveguides light fabricated in fluoropolymer CYTOP by femtosecond laser direct writing, *Opt. Express*, 18, 446–450
- [9]. Davis K.M. et al. "Writing waveguides in glass with a femtosecond laser." *Opt Lett* 1996; 21: 1729–1731
- [10]. Chimmalgi A., et al. "Femtosecond laser apertureless near-field nanomachining of metals assisted by scanning probe microscopy", *Appl. Phys. Lett.*, 82, 1146–1148
- [11]. Booth H. "Laser processing in industrial solar module manufacturing." *J Laser Micro/ Nanoeng* 2010; 5: 183–191

ТЕОРИЯТА НА АЙНЩАЙН ЗА ГРАВИТАЦИОННИТЕ ВЪЛНИ

Стефанка Алексиева и Бисер Кръстев

ТУ-София, ФТК, e-mail: stefanka.aleksieva@abv.bg

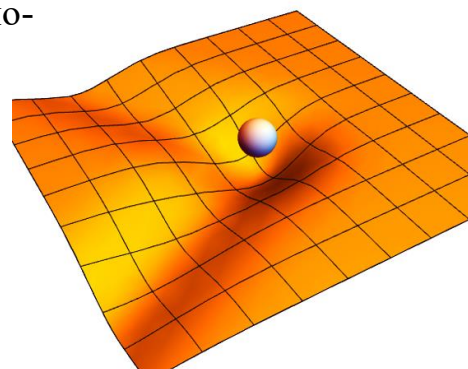
СУ „Св. Кл. Охридски“, ФМИ, e-mail: biserkrustev.botyto@gmail.com

Резюме. В този доклад е разгледано явлението гравитационна вълна, как е открито, какво го причинява и как го измерваме, както и вълните, доказателство на теорията, засечени през 2015г.

Ключови думи: гравитация, вълна, черна дупка, неутронна звезда, Алберт Айнщайн, време-пространство, LIGO

1. Увод

В началото на миналия век, Алберт Айнщайн публикува своя работа, която наричаме „Специална теория на относителността“. В нея се говори за това, как всички наблюдаваме една и съща реалност, въпреки че на пръв поглед е различна. Как скоростта на светлината във вакуум също е еднаква за всички ни, без значение дали източника ѝ се движи, спрямо наблюдателя, или не. Също така се описва един нов модел, в който времето и пространството не са отделни, ами по-скоро са вплетени в един четиримерен обект, който наричаме „време-пространство“. Десет години по-късно, през 1915г., Айнщайн публикува друга работа - „Общата теория на относителността“, която описва гравитацията като геометрично свойство на време-пространството. В последствие, година по-късно, се прави извод за явление, което наричаме „гравитационни вълни“.



2. Що е то гравитационна вълна

В най-общия случай, „вълна“ наричаме осцилация, придружена от пренос на енергия, която пътува през някакъв медиум (било то маса, пространство, или нещо друго). Гравитационните вълни биват породени от едни от най-силните и най-енергичните събития във Вселената, и според Алберт Айнщайн, те ще пътуват през пространството със скоростта на светлината. Става въпрос за събития от мащаба на: орбитиращи неутронни звезди; сливане на две галактики или черни дупки; Когато тези обекти обикалят, един около друг, те излъчват „гравитационна радиация“, която отслабва пропорционално на изминатото разстояние. Когато тези вълни минат през Земята, те ще предизвикат особено

малки разтягания и свивания на пространството, което ги прави изключително трудни за засичане.

Тъй като ние не можем да ги генерираме, тук, на Земята, единственият начин да ги изучаваме е да погледнем към места от Вселената, където такова явление се поражда от природата. Вселената е пълна с масивни обекти, които претърпяват бързо ускорения (черни дупки, неутронни звезди, звезди в края на живота си). Към момента на писане, учените са дефинирали четири разновидности на тези вълни:



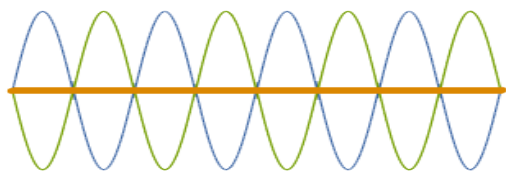
- 1) Непрекъснати гравитационни вълни - породена от плътен и масивен обект (например неутронна звезда). Всяка промяна, като подутина или несъвършенство, в сферичната форма, ще предизвика гравитационна вълна в процес на въртенето на тялото. Ако то се върти с постоянна скорост, то вълната ще има непрекъснато една и съща честота и амплитуда, от където идва и нейното наименование.
- 2) Вълни, получени от падането на двойка компактни маси една към друга. Пораждат се при орбитирането на два масивни и плътни обекта, като черни дупки или неутронни звезди, от където идва тяхното наименование „компактни двойки“. Всяка една от възможните двойки създава характерна поредица от вълни, но механизма на вълните е един и същи и в трите случая. Наричаме го „спираловидно приближаване“. Идеята е, че обектите се движат към една и съща точка в пространството, като се движат по спираловидни орбити. С приближаването до тази точка, скоростта с която двата обекта обикалят един друг, се увеличава рязко. Следователно, тези вълни са характерни с кратко времетраене, и увеличаване честотата.
- 3) Наричаме ги „стохастичен сигнал“. Тъй като през Земята минават гравитационни вълни от всички краища на Вселената. Те се смесват по случаен за нас начин, от където идва и наименованието на този вид. Тях можем да анализираме статистически, но не можем да прогнозираме с точност.
- 4) Взривни гравитационни вълни – за тях информация все още няма, защото не се знае достатъчно за физиката на една система, за да бъде предсказано как ще се появи гравитационна вълна от този източник.

3. Метод на изследване

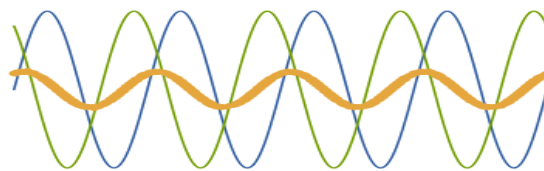


Фиг. 1.

Тъй като такива вълни са изключително слаби, за да си докажем тяхното съществуване ще ни бъдат нужни две неща: голяма маса и прецизна техника. Както споменахме по-горе, става въпрос за черни дупки и неутронни звезди - тоест, неща върху които все още нямаме контрол. За щастие, по втория интензивно се работи от учени по целия свят в множество обсерватории. В този доклад ще наблегнем върху тези от LIGO (Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory). Те построяват две обсерватории в Северна Америка, които се състоят от два напречни тунела с дължина 4 километра (фиг. 1). Използва се лазер, който излъчва светлина в точно определена честота. Лъча светлина се разделя на две и се спуска по двата тунела. Там той се отразява с огледала напред назад общо 400 пъти. Огледалата са толкова прецизно настроени, че след дългото си пътуване, когато съберем лъчите обратно, те интерферират деструктивно (фиг. 2). Когато през това пространство мине гравитационна вълна, тя свива и разтяга пространството, съответно единия лъч изминава разстоянието за по-кратко време, а другия - за по-дълго, в резултат на което, от другата страна започваме да получаваме някакъв сигнал (фиг. 3).



Фиг. 2.



Фиг. 3.

Апаратът е толкова прецизен, че може да измерва изменения в дължината на страните си в мащаб от 10^{-18} m. Това е особено малко разстояние. Една горе долу обозрима аналогия е размера на едно бяло кръвно телце, съпоставено към разстоянието от Земята до Слънцето, като, ако не се лъжа, дори това е по-голямо с около 10 000 пъти. Когато правим толкова малки измервания, почти

всичко започва да пречи. Всякакви сеизмични дейности, минаващ камион, дори вятъра. Тук е подходящо да споменем, че за проекта е жизненоважно да има поне две лаборатории, на голямо разстояние една от друга. Тъй като гравитационните вълни пътуват със скоростта на светлината, те ще бъдат измерени виртуално по еднакъв начин на двете места. Така ще сме сигурни че локалните смущения ще бъдат различни на двете места и ще можем лесно да ги отхвърлим. Също така, знаем че гравитационните вълни ще деформират страните на апарата чрез осцилации, което спомага разпознаването им. Кооперацията между множество интерферометри по света подсигурава почти 100% сигурност, че направените изводи описват именно гравитационна вълна, както е описана от Алберт Айнщайн, а не просто шум.

4. Физическо доказателство на теорията

Гравитационните вълни, както разказаха физици, са били открити на 14 септември 2015г. Тези вълни са породени от двойка сливащи се черни дупки с маси, които 29 и 36 пъти по-големи от слънчевата, на разстояние 1,3 миялрда светлинни години от Земята. Три слънчеви маси се превърнали в гравитационни вълни за части от секундата. Сигналът, който LIGO регистрира, е с честота от 35 Hz до 255 Hz. Амплитуда на деформацията в метриката на време-пространството $1,0e-21$. Вероятността за грешка е около 0.00005%.



ЛИТЕРАТУРА

1. www.ligo.caltech.edu/page/gravitational-waves
2. www.inspirehep.net/record/1206821/plots

БЪЛГАРСКИТЕ ПОСТИЖЕНИЯ В КОСМОНАВТИКАТА

Мария-Косара Александрова Свиленова

Технически университет-София, бул. „Климент Охридски“ 8,
Транспортен факултет, e-mail: mariqkosarasvilenova@abv.bg

Резюме: Българските постижения в космонавтиката започват през 1964г. Началото е било поставено от Георги Иванов-първият български космонавт. Продължаваме развитието си с множеството космически апарати, които български учени разработват в различни области на проучване на Космоса и планетата Земя. Едни от най-интересните постижения са първата българска песен зазвучала в Космоса и вкусната ни космическа храна. Въпреки трудностите всичките тези постижения ни поставят на шесто място на Космическата световна сцена.

Ключови думи: българска космонавтика, космонавти, песен, космическа храна, космически апарат, спътник.

1. Увод

Космическото пространство (Космос) е пространството около всяко небесно тяло. Огромно пространство, което в големи части е необитаемо. Поради тази причина, то подлежи на много изследвания. Космонавтиката е процесът на изследване на космическото пространство с помощта на специализирани космически апарати.

Практическото усвояване и запознаване с Космоса започва на 4 октомври 1957г. От тогава до сега Космосът е бил изследван от много космически станции по цял свят. Изстрелвани са много спътници и апарати за наблюдение. В проектирането, конструирането и изстрелването на космически апарати активно участва и България.

Развитието на българската космонавтика започва август 1964г. За пръв път е повдигнат въпросът за полет на български космонавти с кораб на СССР от генерал-лейтенант от авиацията Захари Захариев. Той дава и предложения за летци, които да изпълнят полета, но през 1964г. това все още не е възможно. Съветският съюз още няма космически кораб за изпълнението на такъв полет.

Възможността за България се отваря през 1977г. когато в рамките на програмата „Интеркосмос“ изпраща своите кандидати за космонавти на обучение в „Център за подготовка за космонавти „Ю. А. Гагарин“.

2. Първият български космонавт Георги Иванов

Подадени са стотици заявления, но поради строги изисквания се одобряват само двама кандидати в лицето на Георги Иванов Какалов и Александър

Александров. Основен кандидат - Георги Иванов и дубльор - Александър Александров. На 1 март 1978г. се избира окончателно първият български кандидат, който да излети в Космоса. На 10 март 1979г. в 20 часа и 34 минути московско време е изстрелян в орбита около Земята космическият кораб „Союз-33“, с международен екипаж: командир на полета Николай Рукавишников и космонавт-изследовател Георги Иванов.

Полетът им е бил доста драматичен. Не успяват да се скачат с космическата орбитална станция „Салют-6“. Причината за това е била по-високата скорост на сближаване от предварително разчетената. Включва се системата за коригиране на скоростта, но по време на корекцията прогаря едната страна на горивната камера на основния двигател. След тази техническа неизправност



Николай Рукавишников Георги Иванов

скачането става напълно невъзможно. Рукавишников получава припадък. Но за сметка на това Георги Иванов запазва самообладание и пулсът му остана непроменен до края на полета. Иванов приземява кораба на 320 km югоизточно от Джезказган. Успяват да направя 31 пълни обиколки около Земята. Прекарват 1 ден 23 часа и 1 минута в Космоса.

3. Първата българска песен в Космоса

Българските постижения в космонавтиката не приключват само с първия ни космонавт. Българска песен е избрана за полет в Космоса. Записът на Валя Балканска на песента „Излел е Делю Хайдутин“ е осъществен от американския изследовател на български фолклор Мартин Кьонинг. В края на 60-те години той прави записи на оригинални български народни песни. Една от тях е песента на Валя Балканска. След сериозна селекция и обсъждания Карл Сейгън се спира на изпълнението на Валя Балканска. Озаглавяват изпълнението - „Делю хайдутин“ - песента на една овчарка. През 1977г. песента, в изпълнение на Валя Балканска, е включена в



Валя Балканска

Златната плоча на Вояджър на американските космически апарати „Вояджър 2“ и „Вояджър 1“, като музикално послание от Земята към далечния Космос.

4. Българската космическа храна

Друго голямо постижение в българската космонавтика е производството на космическа храна. Академик Цветан Цветков е български криобиолог - създателят на космическата храна. България е третата държава, която изпраща храни в Космоса.

Екипът на акад. Цветан Цветков разработва биотехнологии за студено консервиране и изсушаване на храните във вакуум. Родното космическо меню включва кисело мляко, ядки, ягоди, ябълки, кайсии, праскови, пъпеш, дори мусака и боб чорба и още много други. Начинът на консервиране на храната се нарича лиофилизация (вакуумно сублимационно сушене). Това е най-съвършеният метод на консервиране, измислен досега. Той позволява на практика напълно (до 95%) да се съхранят хранителните вещества, витамините, микроелементите, даже първоначалната форма, естественият аромат, вкус и цвят продължително време при температури от -50 °C до +50 °C. В процеса не се използват ароматизатори, оцветители или консерванти. Високото качество и биологичната пълноценност на съхранените по този начин продукти се обуславя и от това, че на лиофилизация могат да се подложат само свежи продукти. Например съхраняването на ягоди, преди обработка, не трябва да превишава 8 часа от момента на брането им. Българското меню е адаптирано за четирикратен дневен хранителен режим - две закуски, обяд и вечеря. Тези храни покриват изискванията на организма от хранителни биологични вещества, като средната стойност е 3000-3200 kcal. За разработките на лиофилизирани продукти колективът на акад. Цветан Цветков има два патента.

Интересен факт е, че много световни космонавти от различни националности и култури предпочитат да се хранят с българска космическа храна. Френският космонавт признал: „Преди да се озова в Космоса, специална комисия изпробва продукти от СССР, САЩ и България, на които нямаше етикет, сочещ държавата производител, и констатира, че вашите са най-вкусни и качествени“. А кубинският му колега Тамайо Мендес Арналдо споделя:



Българските храни в Космоса

„Преди да се скачим със станцията „Салют-6“, се договорихме с моя „съкафезник“ Юрий Романенко да помолим „хазяите“ ѝ Леонид Попов и Валерий Рюмин да ни почерпят с българска мусака. За нея бяхме слушали легенди, а в нашите хранителни запаси тя, кой знае защо, липсваше”.

5. Българските космически уреди и програмата „ИК-Б-1300“

Първият български космически уред П-1, предназначен за директно измерване на параметрите на йоносферната плазма (температурата и концентрацията на йоните и електроните, както и масовия състав), е изстрелян на борда на спътника “Интеркосмос-8” на 1 декември 1972г. България се нареди на 18-то място в списъка на "космическите държави", които пряко извеждат своя апаратура в Космоса, съгласно ратифицирания и от нашата страна договор за космическата дейност на държавите (приет от ООН през 1968г.). Така започна “космическата ера” за страната ни и през изминалите повече от 40 години българските учени участваха активно в стотици интересни проекти в почти всички области на космическите изследвания. След П-1 са разработени и успешно изстреляни още цяла серия от български сондови уреди за директно изследване на йоносферата и високата атмосфера, които летяха на борда на спътниците “Интеркосмос - 12, 14 и 19”, както и на геофизичните ракети “Вертикал - 3, 4, 6, 7 и 10”. Във връзка с драматичния полет на Георги Иванов българските учени разработиха апаратура за изследвания в областта на космическата физика, космическата медицина и дистанционните методи, които бяха използвани от следващите екипажи.

Едно от най-значимите български научни постижения в областта на космическата изследвания беше програмата “България-1300”, през 1981г. в чест на 1300 годишнината от създаването на нашата държава. Целта на тази космическа програма е постигането на съществени научни резултати в две области на космическите изследвания, в които нашата страна вече има свои



Спътникът “Интеркосмос-България-1300”

традиции: космическата физика и дистанционното изследване на Земята от Космоса. По тази програмата бяха изведени в орбита два големи изкуствени спътника на Земята тип „Метеор”. Първият спътник “Интеркосмос-България-1300” (ИК-Б-1300), изстрелян на орбита с височина около 900 km, беше изцяло оборудван с комплекс от българска научна апаратура за изучаване на йоносферно-магнитосферните взаимодействия. На втория спътник “Метеор Природа” имаше българска научна апаратура за дистанционно изучаване на природните образувания на Земята от по-ниска орбита.

Спътникът “Интеркосмос-България-1300”. Основната задача на първата част от програмата - в областта на космическата физика, е разкриването на механизма на пренос на енергия от Слънцето към Земята във времето и пространството. Задачата се усложнява от необходимостта от комплексен подход към изучаването на явленията, протичащи в йоносферата и магнитосферата. Инициативата на българските учени е не само за разработката на програмата за изследвания, но и за създаването на самите научни прибори и методиката за измервания. Комплексът научна апаратура на спътника „ИК-Б-1300” е предназначен за измервания на йоносферната плазма и високоенергийните потоци заредени частици, постоянни и променливи електрически и магнитни полета, светенето на високите слоеве на атмосферата в ултравиолетовия и видимия диапазон на спектъра. Спътникът „ИК-Б-1300” е изведен на 7 август 1981г. от руския космодрум „Плесецк”, Архангелска област, на почти полярна орбита с наклон 81,2°, перигей 825 km и апогей 906 km. Спътникът е с 2 панела слънчеви батерии, с ориентация на оста му по направление на радиуса на Земята с точност $\pm 1^\circ$, с осигурена херметизация и темпериране на електрониката, разположена вътре в корпуса. Научният комплекс е съставен от 12 уреда - 11 от тях за магнитосферно-йоносферни изследвания и лазерен отражател за геодезични измервания.

6. Заключение

Колкото и малка да е България ние имаме много причини да се гордеем с нея. Доказателство за това са постиженията в космонавтиката. Правим успешно всяка една стъпка напред наравно със САЩ и Русия. Това може да ни даде самочувствие като наистина „Победител на Космическата Световна сцена“. Нека запазим името на България на челна позиция в Космоса.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://bg.wikipedia.org/wiki/>
2. <http://littlebg.com/akad-cvetan-cvetkov-suzdatelqt-na-kosmicheskata-hrana/>

БИОЛОГИЧНО ДЕЙСТВИЕ НА ЙОНИЗИРАЩЕ ЛЪЧЕНИЕ

Георги К. Найденов

СУ „Св. Климент Охридски”, МФ, 3 курс, медицина, e-mail: joro_monk@abv.bg

Резюме. Изключително голямо предизвикателство за учените е да разберат как човешкият организъм се повлиява от йонизиращата радиация. Съвременната теория, която обяснява биологичното действие на тези лъчения, не дава абсолютно задоволителни твърдения и все още остава непълна. В доклада ще бъдат разгледани видовете радиоактивност, източници на радиационния фон на Земята, както и биологични ефекти, които настъпват, когато човек бъде облъчен.

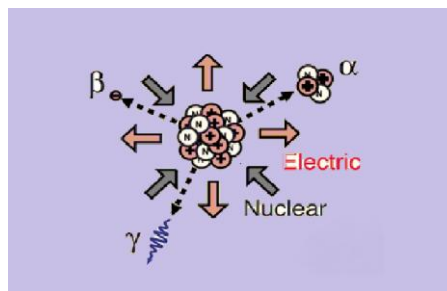
Ключови думи: радиоактивност, йонизиращи лъчения, радиационен фон, биологичен ефект

1. Понятието радиоактивност.

Радиоактивността представлява спонтанно превръщане на ядрата на даден химичен елемент в ядра на друг елемент. Наблюдава се при всички по-тежки елементи, разположени в края на периодичната система на Менделеев и за някои изотопи на по-леки елементи като $^{14}_6\text{C}$ и $^{40}_{19}\text{K}$ (естествена радиоактивност), но може да се предизвика по изкуствен път практически за всички елементи при облъчване на ядрата им с високоенергетични лъчения (изкуствена радиоактивност). Тъй като е процес, свързан с ядрата на атомите, радиоактивността не се изменя, ако даден атом участва в различни химични съединения. Естествената радиоактивност е открита през 1896 г. от френския учен А. Бекерел.



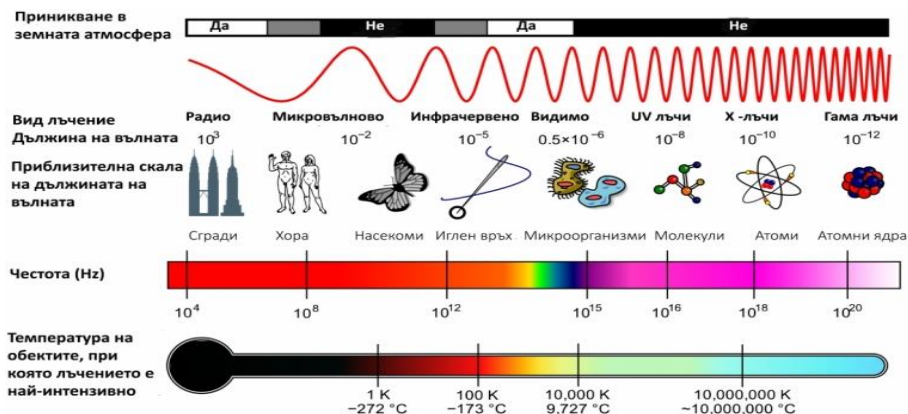
Фиг. 1. Международен знак за радиоактивност



Фиг. 2. Радиоактивност

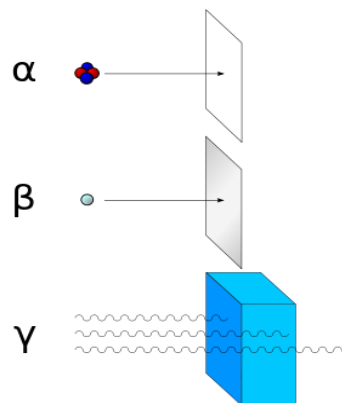
Спектърът на електромагнитните лъчения е много широк - радиовълни, инфрачервена светлина (IR), видимата светлина, ултравиолетовата светлина (UV), рентгеново (X-лъчи), гама-лъчение (фиг. 2). Йонизиращи лъчения са

рентгеновото, гама- и X-лъчите. Видимата светлина, IR, UV и радиовълните нямат достатъчна енергия да йонизират веществото и затова не са йонизиращи лъчения. Обръщаме внимание, че рентгеновите и гама-лъчите се различават по начина на получаването си, но имат еднакви свойства. Те се препокриват в долната част на енергийния спектър до около 450 keV.



Фиг. 3 Място на йонизиращите лъчения в електромагнитния спектър

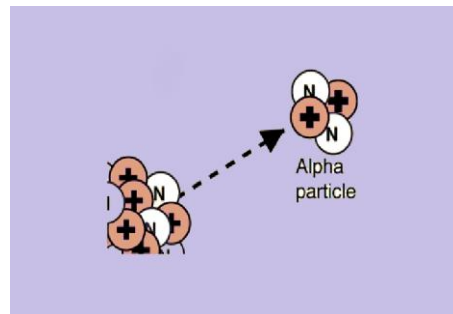
Съгласно дефиницията на Международната комисия по радиологична защита (МКРЗ): “*Радиация (или йонизиращо лъчение) е това лъчение, което може да йонизира (да създава двойки йони) в биологичните тъкани*”. Йонизиращите лъчения представляват поток от заредени или електронеутрални частици и фотони, които могат да йонизират веществата, през които преминават. По своята природа йонизиращите лъчения са два вида: корпускулярни - електрично заредени или неутрални частици (протони, електрони, алфа частици, позитрони, неутрони и др.) и електромагнитни или квантови лъчения - рентгенови и гама лъчи (фиг.4).



Фиг.4. Алфа, бета и гама лъчение

Основните различия между двата вида лъчения при взаимодействие с веществата са начинът на предаване на енергията на единица дължина т.нар. линейно предаване на енергията (ЛПЕ) и проникващата им способност (дължината на пробега).

Алфа частици - излъчват се при радиоактивно превръщане на ядрата на химичните елементи, по-тежки от оловото ($Z = 82$) - полоний, радий, радон, торий, уран (фиг. 5). Те са идентични с хелиевите ядра, които притежават много висока йонизационна способност поради голямо ЛПЕ. Имат



Фиг. 5. Алфа-частица

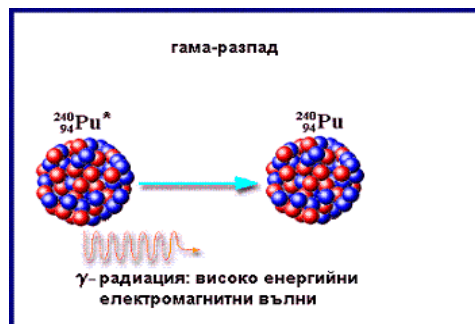
положителен електричен заряд. Характеризират се с малък пробег, който във въздуха е не по-голям от 8 - 10 см. Практически представляват опасност само при вътрешно облъчване.

Бета частици - образуват се при радиоактивно превръщане на ядрата на химични елементи от цялата периодична таблица от най-леките, до най-тежките - водород, натрий, калий, йод, иридий, уран и др. Те могат да бъдат електрони или позитрони, съответно с отрицателен или положителен електричен заряд. В сравнение с алфа частиците имат по-слаб йонизационен ефект. Пробегът им във въздуха може да достигне до няколко метра. Практически представляват опасност при външно облъчване само в случаите, когато бета източниците са разположени в непосредствена близост с човешкото тяло.

Гама-лъчението се получава при радиоактивното разпадане на някои атомни ядра, когато новополучените ядра, наричани дъщерни, са във възбудено състояние (фиг. 6).

При преминаването на ядрото в основно състояние излишъкът от енергия се излъчва под формата на фотон гама-лъчи. Не притежават електричен заряд и предизвикват индиректна йонизация. Имат много голям пробег във въздуха, който може да достигне до няколко километра. Характеризират се с относително ниско ЛПЕ.

Рентгенови лъчи - те са също електромагнитни вълни с малка дължина на вълната (10^{-9} до 10^{-12} m) и имат техногенен произход (фиг. 7). Техните свойства са идентични с тези на гама лъчите. Съществуват два вида рентгеново лъчение - спирачно и характеристично. Основно приложение в медицината намира спирачното рентгеново лъчение, което се генерира в рентгеновата тръба в резултат на бомбардирането на анода на тръбата със сноп ускорени електрони и не зависи от вида на атомите на мишената.



Фиг. 6. Гама-кванти



Фиг. 7. X-лъчи

2. Източници на радиационен фон

Най-мощният източник на лъчения е Слънцето. То изпуска всички известни видове лъчения: радиовълни, инфрачервени (топлинни) лъчи, видима светлина, ултравиолетови лъчи, а също и корпускуларни лъчения с високи енергии. Първичното космично лъчение попада в атмосферата на Земята от космичното пространство. Обикновено то не оказва влияние върху облъчването на повърхността на Земята. Атмосферата играе ролята на един екран спрямо космичното лъчение, който е еквивалентен на 3 m до 5 m бетон. Вторичното космично лъчение се получава от взаимодействието на първичното космично

лъчение със земната атмосфера. Частиците с високи енергии предизвикват ядрени реакции с атомите на въздуха, като при това се получават вторични потоци от частици, а също и редица радионуклиди (тритий - 3, берилий - 7, въглерод - 14, натрий - 22 и др.), които се наричат космогенни. Живите организми, които населяват Земята, се облъчват именно от вторичното космично лъчение. Интензивността на вторичното космично лъчение расте в зависимост от надморската височина, като най - ниска е тя на морското ниво.



Фиг. 8. *Нефтена платформа*

Друг източник на радиация са естествените радиоактивни елементи, които се намират навсякъде в земната кора, като са разпределени неравномерно. При редица технологични процеси от земните недра се извличат естествени радионуклиди и се изхвърлят на повърхността или в атмосферата, при което се получава усилване на ЕРФ и допълнително облъчване на хората.

Това са главно: произвеждане на енергия чрез изгаряне на каменни въглища, добиване на нефт (фиг. 8) и природен газ, производство и използване на фосфатни торове, добив, преработка и използване на различни материали. В резултат на техногенно усилване на ЕРФ се получава ефективна доза от порядъка на $20 \mu\text{Sv/a}$, което представлява около 1% от облъчването от ЕРФ.

Вътрешното облъчване на човека се определя главно от 3 основни фактора: съдържанието на калий - 40 в тялото, инкорпориране на радионуклиди от семействата на уран - 238, уран - 235 и торий - 232 чрез поглъщане и вдишване, инхалиране на радон - 222 и дъщерните му продукти.

Изкуствен радиационен фон т.е. йонизиращите лъчения, създадени от човешката дейност: глобалните и локалните ядрени отлагания изхвърлени в околната среда в резултат на експерименталните ядрени експлозии, ядрената енергетика, облъчването при различни радиационни аварии, медицинските облъчвания.

3. Биологично действие

Биологичното действие на йонизиращата радиация се отличава с някои характерни особености: 1) Организмът на повечето животни, включително и на човека е лишен от специализирани структури (рецептори и анализатори) спрямо действието на йонизиращото лъчение. За тях то е *неадекватен дразнител*. Поради тази причина те не усещат това действие, дори с дози в леталния диапазон. 2) Несъответствие между *незначителната величина на погълнатата енергия и голямата степен на изразеност на реакциите на облъчения биологичен обект*. 3) В резултат на облъчването в биологичните

структури възникват верижни реакции, които умножават и задълбочават биологичния ефект. 4) Характерна особеност на действието на йонизиращите лъчения е и наличието на изразен *латентен период*.

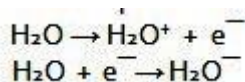
3.1. Биологични фактори, определящи радиобиологичния ефект в организма

Площ на облъчването - размерът на облъчването съществено влияе на величината на биологичния ефект при външно облъчване, тъй като по-голямата площ довежда до получаването на по-голяма погълната доза. Поради това най-голям биологичен ефект се получава при общо облъчване на организма. Важно значение има и локализацията на облъчването. Изхожда се от различната лъчечувствителност на отделните органи и тъкани. Облъчването например само на част от корема довежда до големи поражения на организма, докато облъчването със същата доза на други равни по площ участъци на тялото (крайниците) не дава такъв ефект. Възраст на организма - най-радиочувствителни са организмите в ембрионалния период и по време на активното формиране на органите. Младите организми са по-радиочувствителни и след раждането. Този факт се обяснява главно с преобладаването на делящите се клетки, т.е. най-радиочувствителни са тъканите на растящите организми.

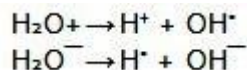
В историческото развитие на радиобиологията са се обособили две основни схващания: *Теория за прякото действие* на йонизиращата радиация (мишенната теория); *Теорията за непрякото действие*. Първата теория не е актуална, доста непълна и затова ще бъде разгледана само съвременната теория за непрякото действие.

3.2. Теория на непрякото действие.

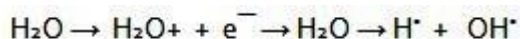
Основното схващане в тази теория е, че при облъчване на биосубстратите с йонизираща радиация възникват верижни реакции, които умножават и задълбочават увреждащия лъчев ефект. Според нея първичния ефект на йонизиращата радиация в живата тъкан е взаимодействието ѝ с молекулите на водата. Под влияние на радиацията молекулите на водата се йонизират:



Тези йонизирани водни молекули са нетрайни и се разпадат на радикали:



Поради наличието на кислород в тъканите се образуват още свободни радикали и перекисни съединения:



Те са химически активни и встъпват в реакции с разни молекули от клетъчния субстрат. По този начин се нарушава нормалния цикъл на биохимичните реакции в организма и възникват атипични продукти на обмяната, които увреждат клетката.

Биологично действие на йонизиращата радиация върху белтъците. Под влияние на големи дози настъпва деструкция. При облъчване с малки дози настъпват биохимични изменения в белтъците. Получават се и атипични белтъци, чужди за организма, които предизвикват алергични реакции. Увреждат се нуклеиновите киселини, дезактивират се ензимите. Степента на увреждане на клетките зависи от радиочувствителността на клетката - пропорционална е на възпроизводителната способност на клетките и обратно пропорционална на деференцираността им. Йонизиращата радиация е мощен мутагенен фактор, т.е. предизвиква мутации в ДНК структурите на клетката.

3.3. Биологично действие на йонизиращата радиация на тъканно ниво.

1) Влияние върху нервната тъкан. Нарушава се функционалното състояние на вегетативните центрове - настъпват изменения в терморегулацията, кръвното налягане, изменения в отделянето на стомашен сок и в моториката на червата.

2) Влияние върху кръвотворната тъкан. Тя показва висока радиочувствителност. Засягат се червения костен мозък, лимфните възли и други лимфоидни органи. В периферната кръв се наблюдават лимфопения, тромбопения, еритроцитопения. Смущава се кръвосъсирването и се появяват токсични продукти.

3) Влияние върху половата тъкан. В зависимост от погълнатата доза йонизиращата радиация причинява смърт на част от половите клетки. Това определя клетъчната радиочувствителност на половите клетки. От мъжките полови клетки генетично най-лъчечувствителни са сперматидите, а от женските са зреещите и зрелите фоликули.

4) Влияние върху храносмилателната система. С най-голяма радиопоражаемост при големи дози са тънките черва. В лигавиците на червата възникват хеморагии, които се превръщат в огнищни некрозии и язви. Нарушава се и моторната дейност на червата.

5) Влияние върху сърдечно-съдовата система. Наблюдават се тахикардия и хипотония. Намалява проницаемостта на капилярите, те стават чупливи и настъпват кръвоизливи.

6) Влияние върху имунобиологичната активност на организма. Иmunната система е най-радиочувствителна и в резултат на това подтискането на имунитета се наблюдава още в най-ранния стадий след облъчването.

Обобщавайки особеностите на биологичното действие на йонизиращата радиация върху организма като цяло, могат да се определят два основни вида ефекти: **детерминирани**, наричани още нестохастични, ранни, прякопричинно зависими и **стохастични**, наричани още отдалечени, вероятностни, случайни, индетерминирани.

Детерминирани ефекти - възникването на тези ефекти е в пряка зависимост от големината и мощността на погълната доза. При общо облъчване на организма с достатъчно висока доза (над 1,0 Gy), типичен детерминиран ефект е лъчевата болест (ОРС).

Стохастични ефекти - това са случайно възникващи последствия от облъчването, при това в отдалечени срокове след него. Към стохастичните ефекти се отнасят: развитието на злокачествени новообразувания, и т.нар. генетични ефекти - наследствените аномалии и заболявания. Стохастичните ефекти се приемат за безпрагови относно дозата. Рак, предизвикан от доза например 0,1Gy, не се различава от рак, предизвикан от доза 1,0 Gy.

4. Заключение

Използването на йонизиращите лъчения в медицината за диагностика и лечение започва преди повече от сто години. Веднага след откриването на рентгеновите лъчи те са използвани за визуализиране на структурите в човешкото тяло. Ползата и рискът за здравето на човека са двете страни на приложението на йонизиращите лъчения в медицината. Те са еднакво важни и затова трябва да се разглеждат едновременно. Тази концепция е логична, но нейното прилагане на практика е трудно, защото рискът и ползата трябва да бъдат оценявани количествено. Това изисква задълбочени знания по клинична медицина, радиобиология, радиационна физика и радиационна защита.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] "Медицина на бедствените ситуации" доц. Драгнев
- [2] Материали, подготвени от проф. Желя Василева
- [3] „Медицинска физика” Венцеслав Тодоров

МЕТОДИТЕ МОНТЕ КАРЛО: НЯКОИ ПРИЛОЖЕНИЯ ВЪВ ФИЗИЧНИТЕ СИМУЛАЦИИ

Христо Търнев

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

Резюме. В доклада е направен кратък обзор на методите Монте Карло и техните приложения във физиката, като акцентът е върху моделиране с отделни частици в областта на физиката на плазмата и в механиката на флуидите. Представени са и методи за генериране на разпределения. Показани са и примерни резултати от моделирането.

Ключови думи: Монте Карло методи, Particle in cell, Direct simulation Monte Carlo.

1. Увод

Методите Монте Карло са широк клас от изчислителни алгоритми, които използват случайни числа. Те намират приложение в задачи както със, така и без вероятностна природа. Освен във физиката и математиката се използват и в области като финанси и бизнес, телекомуникации, потоци на трафика и др. Обикновено като исторически важен момент за възникването на тези методи се споменава проблемът за иглите на Жорж-Луи Леклерк дьо Бюфон [1], чрез който може да бъде определено числото π . Съвременното развитие на методите Монте Карло е започнало в годините на Втората световна война за описание на дифузията на неутрони при конструирането на атомната бомба и е свързано с имената на учени като Станислав (Стан) Улам, Джон фон Нойман, Николас Метрополис [2-4].

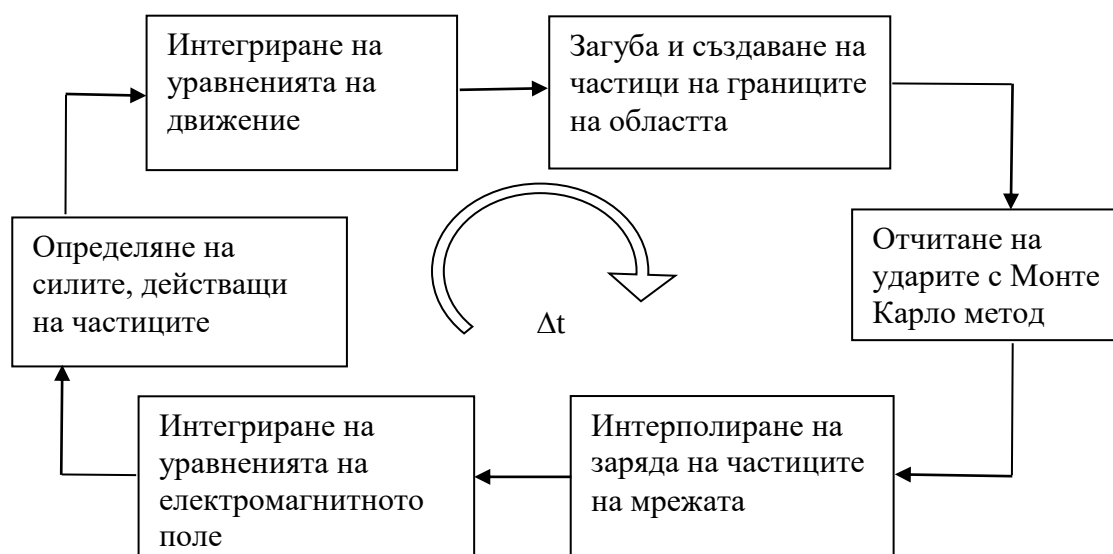
Понастоящем, с развитие на компютърната техника, Монте Карло методите стават все по-привлекателни за решаване на математични и физични задачи. Едно широко известно приложение, където тяхната ефективност е доказана, е решаването на многомерни интеграли. Друго приложение са симулациите в областта на механика на флуидите и физика на плазмата, където те заменят кинетичните модели, решаващи уравнението на Болцман. Предимство на методите Монте Карло в тези случаи са по-малкото предположения в моделите и по-лесното и естествено въвеждане на граничните условия, докато недостатъците са свързани с големите изисквания към компютрите и възникването на някои числени, нефизични ефекти в решенията.

Докладът представя кратък обзор на някои от приложенията на методите Монте Карло, основно в области свързани с моделирането във физиката на

плазмата и е организиран по следния начин. Първо е представен методът „Частича в клетка“ (Particle in cell) или съкратено PIC, при моделиране на плазма. След това е разгледано моделирането на разреждени газове „Директно Монте Карло моделиране“ (Direct Simulation Monte Carlo (DSMC) method). Последната част е посветена на генерирането на разпределения.

2. Частича в клетка (Particle in cell)

PIC моделите се използват във физиката на плазмата, където е необходимо да се отчита обемния заряд, създаван от електроните и йоните. Първо ще бъде представена общата схема (фиг. 1) на метода [5-8]. Основната идея е областта на моделиране да се раздели на голям брой клетки и на ъглите на тези клетки да се разпредели зарядът на намиращите се в клетката частици. След това, знаейки обемната плътност на заряда, се решават уравненията на електромагнитното поле при зададените гранични условия и се пресмятат силите, действащи на всяка заредена частица. Решават се уравненията за движение на частиците в рамките на една стъпка във времето Δt . Отчита се загубата на частиците, напуснали областта на моделиране (например, достигнали стените на камерата) и евентуално притокът на частици, влизащи в областта на моделиране. Изчисляват се промените на скоростта и енергията на частиците в резултат на удари с други частици както и създаването и загубата на частици в резултат на йонизация и рекомбинация.



Фиг. 1. Блок схема на PIC модел [8].

Тъй като броят на електроните и йоните в плазмата е много голям, в PIC моделите обикновено се изследва поведението само на няколко стотин хиляди до милион частици. Те се наричат макрочастици, като се приема, че една макрочастица е представител на голям брой реални частици. В резултатите представени по-долу една макрочастица е представител на 10^9 електрона. Основните изисквания, които трябва да се спазват при моделирането са: 1)

размерът на клетките трябва да е по-малък или най-много равен на радиуса на Дебай; 2) стъпката във времето трябва да е по-малка от реципрочната стойност на плазмената честота; 3) за една стъпка във времето частицата трябва да изминава разстояние, по-малко от размера на клетката; 4) за да имаме добра статистика е необходимо броят на частиците в една клетка да е достатъчно голям; 5) вероятността за удар в една стъпка във времето трябва да е ниска (под 0.1).

При описанието на ударите между частиците в PIC моделите се използва Монте Карло метод. Тук ще разгледаме по-подробно случая на удари електрон-атом. С помощта на случайни числа се определят:

1. Времето между два удара:

$$t = -\frac{1}{\nu_{\max}} \ln(1 - R_{01}) \quad (1)$$

като $\nu_{\max}$ е пълната честота на удари на електрон с атом, а R_{01} е случайно число между 0 и 1.

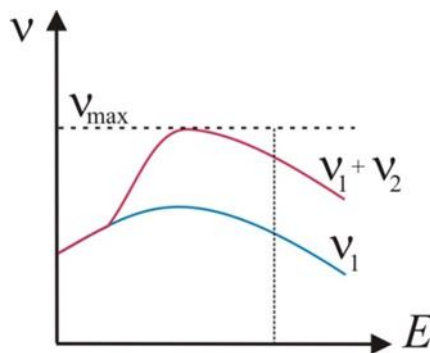
2. Посоката на движение след удара, която се определя от полярния ъгъл θ и азимуталния ъгъл α :

$$\cos \theta = (1 - 2R_{p01}) \quad (2)$$

$$\alpha = 2\pi R_{A01} \quad (3)$$

Тук R_{p01} и R_{A01} са случайни числа, равномерно разпределени между 0 и 1.

3. Вид на удара. Съществуват различни видове удари на електрон с атом в плазмата (еластични, нееластични за възбуждане на различни нива в атома, йонизация). Вероятността за реализирането на даден вид удар зависи от енергията на електрона. Подходът при определяне на вида на удара е следния: Изчертава се зависимостта на честотата на първия вид удари ν_1 от енергията на електрона. След това се изчертава зависимостта на сумата $\nu_1 + \nu_2$ от енергията на електрона и т.н. докато се представят всичките n на брой удари в модела $\nu_1 + \nu_2 + \nu_3 + \dots + \nu_n$. На фиг. 2 е даден пример с два вида удари. Генерира се случайно число $R_{0\max}$ от 0 до $\nu_{\max}$ и се проверява къде попада то за дадена енергия на електрона. Ако $R_{0\max} < \nu_1$ считаме, че е реализиран първият вид удар, ако $R_{0\max} < \nu_1 + \nu_2$ считаме, че е реализиран вторият вид удар и т.н. При $R_{0\max} > \nu_1 + \nu_2 + \nu_3 + \dots + \nu_n$ имаме т.н. нулев удар. След като видът на удара е определен се изчислява промяната на енергията на електрона при удара и оттам и големината на скоростта на електрона след удара. Като се имат предвид (2) и (3) се определят всички компоненти на скоростта. При нулев удар движението на електрона не се променя и той продължава със същата скорост и енергия.



Фиг. 2. Схематично представяне на зависимост на честотата на удари електрон-атом от енергията на електрона.

За да се спестят компютърни ресурси в много случаи се търсят възможности за различни опростявания в PIC моделите. Например движението на йоните не се описва от PIC, а от флуиден модел или електроните се разделят на бързи и бавни и PIC моделът описва само бързите електрони, докато бавните електрони се описват от флуиден модел.

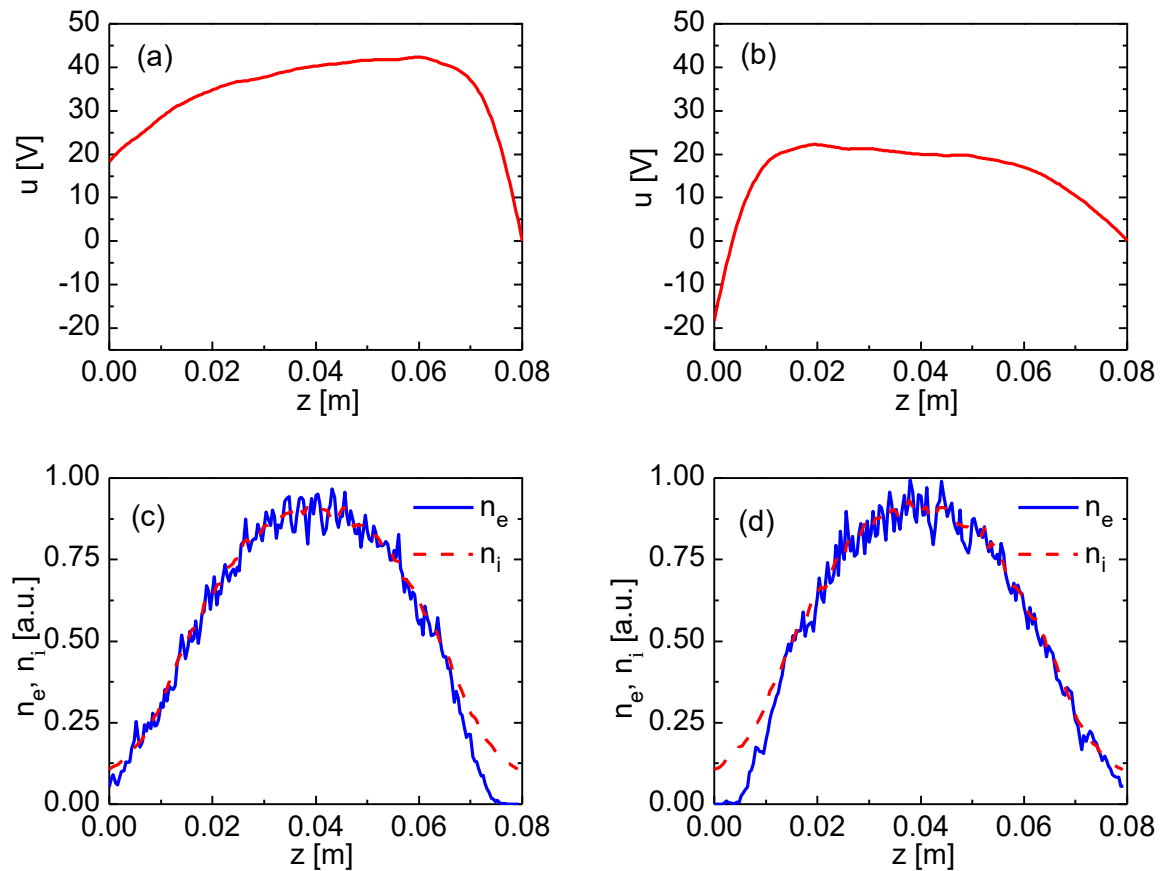
Като илюстрация на метода, тук ще бъдат представени резултати от едномерен PIC модел на кондензаторен разряд в аргон. Разстоянието между електродите е 8 cm, като на левият електрод се подава променливо напрежение $u = u_0 \cos(2\pi ft)$ с амплитуда $u_0 = 20 \text{ V}$ и честота $f = 27 \text{ MHz}$, а десният електрод е заземен. Налягането на неутралния газ е 2 Pa.

Резултатите на фиг. 3 показват, че йоните, поради голямата си маса, не могат да реагират на високата честота на полето и профилът им остава почти непроменен в рамките на един период. Електроните успяват да следват полето и ясно се вижда изместването им по посока на електрода с по-висок потенциал. При електрода с по-нисък потенциал полето е по-силно и там слойът е по-широк. (Слойът е областта в близост до електродите, където плазмата не е електронеутрална, т.е. концентрацията на йоните е по-голяма от концентрацията на електроните.)

3. Директно Монте Карло моделиране (Direct Simulation Monte Carlo)

Методът DSMC намира приложение при моделирането на разреждени газове на ниво на разглеждане на индивидуални молекули. Степента на разреждане на газа се характеризира от числото на Кнудсен $K_n = \lambda / L$, като λ е дължината на свободен пробег на молекулите, а L е характерен размер на газовия поток. При малки стойности на числото на Кнудсен ($K_n < 0.1$) газът може да се разглежда като непрекъсната среда и се описва добре от уравнението на Навие-Стокс, докато при високи стойности на числото на Кнудсен грешката при решаването на флуидните уравнения нараства и именно там намира приложение методът DSMC. Основните области на приложение на DSMC са при описанието на

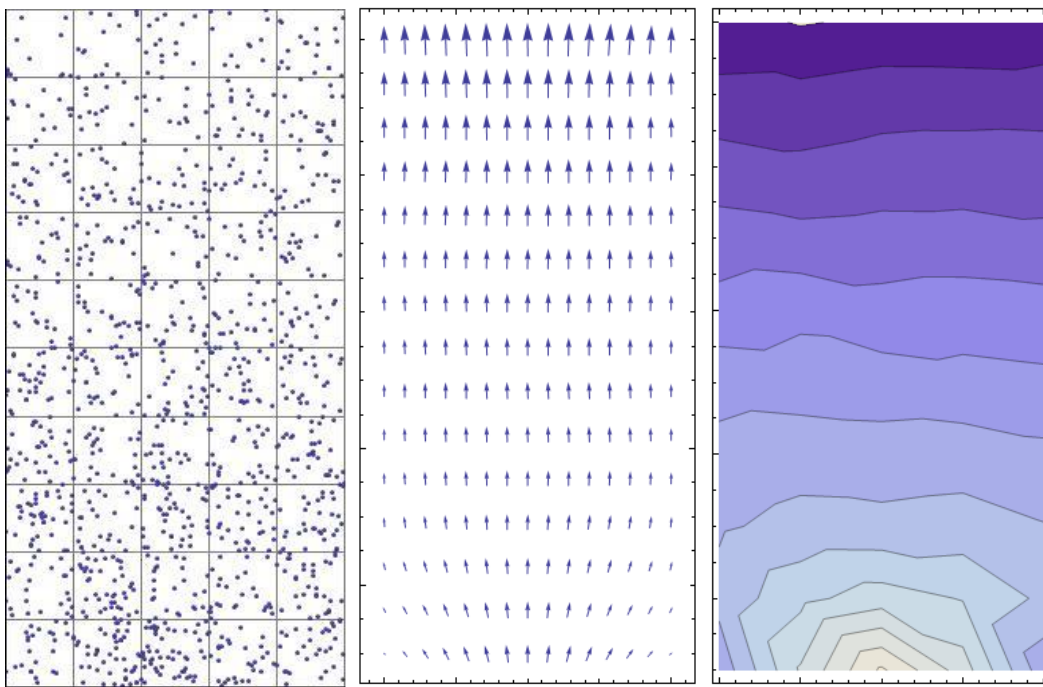
движението на тела в горната част на атмосферата (голям свободен пробег) и в микроустройства (малък размер на газовия поток).



Фиг. 3. Резултати от PIC модел на кондензивен разряд. Изменение на потенциала (a) и (b) и нормираната концентрация на електрони и йони (c) и (d). (a) и (c) съответстват на максимална стойност на потенциала на левия електрод, а (b) и (d) на минималната му стойност след един полупериод.

Тук ще бъде направено описание на метода, следвайки [9, 10]. Подобно на PIC метода от предната точка и тук се разглеждат макрочастици, всяка от които е представител на голям брой молекули и областта на моделиране се разделя на много клетки. Тъй като молекулите са електроненутрални, от блок-схемата на фиг. 1 остават само три блока, като отпадат блоковете, свързани с разпределението на заряда, пресмятане на полето и определяне на електричните сили, действащи на частиците. Особеност при интегрирането на уравненията на движение е, че в много случаи действащите на молекулите сили могат да се пренебрегнат и движението им между ударите е равномерно праволинейно. За разлика от PIC, при който електроните, достигнали стената на камерата са загубени за модела, при DSMC молекулите, достигнали стената се връщат в камерата. Скоростта, с която молекулите се връщат в камерата се определя с помощта на случайни числа, но така, че разпределението по скорости да е

Максуелово с температура на стената на камерата. При отчитането на ударите между частиците първо се изчислява колко удара между частици се случват в една клетка за една стъпка във времето. След това по случаен принцип се определят двойките макрочастици в клетката, които участват в удар. Промяната на посоката на относителната скорост на частиците след удара се определя от (2)-(3). Основните изисквания, които трябва да се спазват при моделирането са: 1) размерът на клетките трябва да е по-малък или най-много равен на средния свободен пробег на молекулите; 2) стъпката във времето трябва да е по-малка от времето между ударите; 3) броят на частиците в клетка трябва да е 20-40.



Фиг. 4. Примерни резултати от DSMC модел. Моментно положение на макрочастиците (ляво), посока и големина на средната за дадена точка скорост (в средата) и средна концентрация на молекулите (дясно), като по-тъмния цвят съответства на по-ниска концентрация.

Като пример ще бъде разгледан модел на протичане на водород в правоъгълна тръба с ширина 4.5 cm и дължина 9 cm (фиг. 4) при много ниско налягане от 0.3 Pa и температура 300 K. При тези условия средния свободен пробег на молекулите е оценен на 5 cm и следователно числото на Кнудсен е по-голямо от единица. В средата на долния край на тръбата, през отвор с ширина 1 cm се пуска поток газ, който изтича свободно през горния край на тръбата. Резултатите показват най-висока концентрация на молекулите в долния край на тръбата, около отвора за захранване с газ. Тъй като в обема на тръбата не се създават и губят частици, интегрираният по сечението на тръбата поток на частиците трябва да е постоянен. Оттук следва, че там, където концентрацията на частици е по-малка, тяхната скорост е по-голяма (фиг. 4).

4. Генериране на случайни числа със зададена функция на разпределение

В тази точка ще бъде представен един метод за генериране на случайни числа с предварително зададена функция на разпределение. Във връзка с разглежданията в предишните точки, това може да е необходимо при началното зареждане с частици на областта на моделиране или при наличието на поток от частици, влизащи в областта на моделиране от отвор или от стените на камерата. И в двата случая обикновено се използва Максвелово разпределение по скорости.

Тук ще говорим за функция на разпределение по скорости, но представеният метод не е ограничен само до този случай. По дефиниция, функцията на разпределение $f(v)$ се дава от

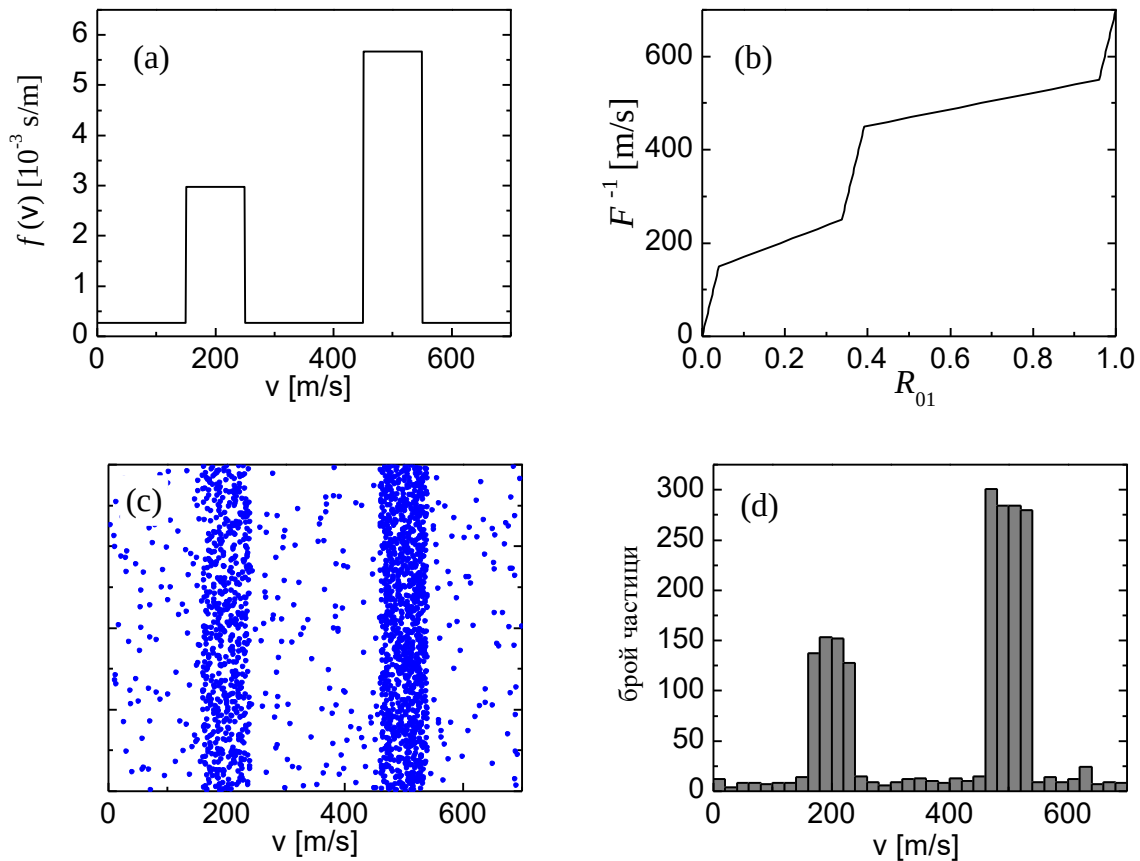
$$f(v) = \frac{dN}{N \cdot dv} \quad (4)$$

където N е броя на всички частици в системата, а dN е броя на частиците, имащи скорости в интервала от v до $v + dv$. С $F(v)$ ще означим кумулативната функция на разпределение:

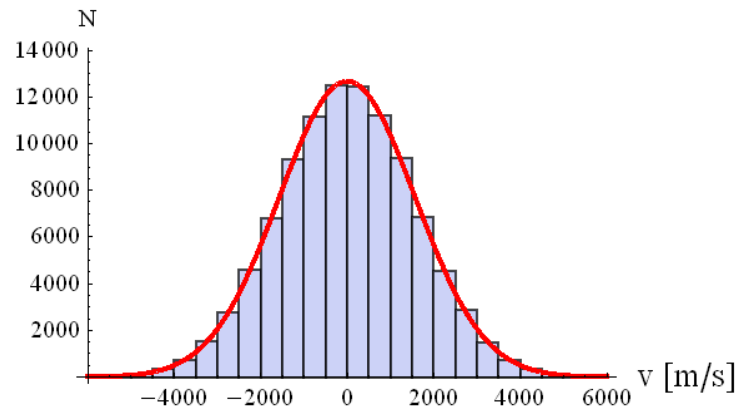
$$F(v) = \int_{-\infty}^v f(v') dv' \quad (5)$$

При използване на нормировка $\int_{-\infty}^{\infty} f(v) dv = 1$, $F(v)$ се изменя в границите от 0 до 1. Може да се докаже [11], че ако R_{01} е случайно число, равномерно разпределено в интервала от 0 до 1, обратната функция $F^{-1}(R_{01})$ дава случайни числа с функция на разпределение $f(v)$.

Като пример ще бъде разгледано генерирането на функцията на разпределение, показана на фиг. 5 (а). Физически тя представя два снопа частици, движещи се със скорости 200 m/s и 500 m/s, като вторият сноп има двойно по-голяма интензивност. Има и постоянен малък фон от частици, движещи се с различни скорости. На фиг. 5 (b) се вижда, че функцията F^{-1} нараства по-бавно там, където трябва да има повече частици. Следователно, при генерирането на случайно число R_{01} по-вероятно е то да попадне в такъв интервал. Това се потвърждава и от резултатите на фиг. 5 (c) след генериране на 2000 случайни числа. Най-много частици се движат със скоростите на двата снопа, като във втория сноп са приблизително два пъти повече (фиг. 5 (d)).



Фиг. 5. Аналитично зададена функция на разпределение (a), съответната ѝ функция $F^{-1}(R_{01})$ (b), генерираните случайни числа със зададената функция на разпределение (c) и хистограма на тези случайни числа (d).



Фиг. 6. Хистограма, получена от (b) за 100 000 частици и теоретично едномерно Максвелово разпределение (плътна линия).

За често използвания в практиката случай на Максвелово разпределение има разработени специални подходи. Например ефективен метод за генериране на случайни числа с Максвелово разпределение с дадена температура T е използването на формулата [12]:

$$\sqrt{\frac{-2k}{m} T \ln(R1_{01})} \cos(2\pi R2_{01}) \quad (6)$$

В (6) k и m са константата на Болцман и масата на частицата, а $R1_{01}$ и $R2_{01}$ са случайни числа, равномерно разпределени между 0 и 1.

Резултати от прилагането на (6) за едномерно разпределение за водород при 300 K са показани на фиг. 6. Вижда се много доброто съвпадение на хистограмата, получена от (6) с линията за аналитичното Максвелово разпределение.

5. Заключение

Методите Монте Карло са съвременни числени методи, използващи случайни числа за решаване на голям брой задачи от различни области. Те намират приложение там, където традиционните методи не са достатъчно ефективни. Предимство на Монте Карло моделите е, че използват по-малко начални предположения в сравнение с другите методи за моделиране и поради това получените резултати са по-близки до реалността. Като недостатък може да се посочат големите изисквания към използваната компютърна техника. Също така в някои случаи тълкуването на резултатите е по-трудно в сравнение с флуидните модели.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Leclerc de Buffon: „Essai d'Arithmétique morale“ (1777)
- [2] N. Metropolis и S. Ulam, Journal of the American Statistical Association, **44**, 335 (1949)
- [3] N. Metropolis, Los Alamos Science, **15**, 125 (1987)
- [4] R. Eckhard, Los Alamos Science, **15**, 131 (1987)
- [5] S. Longo, Plasma Sources Sci. Technol. **15**, S181–S188 (2006)
- [6] Z. Donko, Plasma Sources Sci. Technol. **20**, 024001 (2011)
- [7] W. Brok, дисертация Modelling of Transient Phenomena in Gas Discharges (2005)
- [8] J.P. Verboncoeur, Plasma Phys. Control. Fusion **47**, A231–A260 (2005)
- [9] G.A. Bird, Molecular gas dynamics and the direct simulation of gas flows. Clarendon Press, Oxford, (1994)
- [10] F. Alexander, A. Garcia, Computers in Physics, **11**, 588 (1997)
- [11] L. Devroye, Non-Uniform Random Variate Generation, Springer-Verlag, New York, (1986)
- [12] <http://people.virginia.edu/~lz2n/mse627/notes/DSMC.pdf>

ОТ ТЕЛЕФОНА НА БЕЛ ДО МОДЕРНИТЕ КЛЕТЪЧНИ ТЕЛЕФОНИ

Невена Кожухарова, Елена Халова, Сашка Александрова

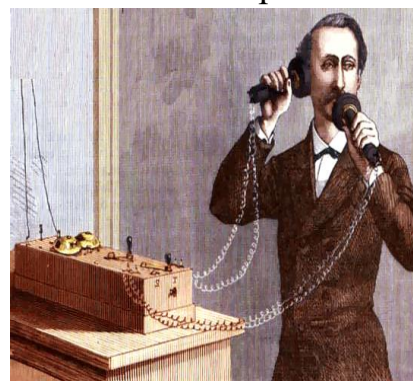
Департамент по приложна физика, Технически Университет-София, София 1000, бул."Кл. Охридски" 8, България,
e-mails: nkojuharova@tu-sofia.bg, ehalova@tu-sofia.bg, salex@tu-sofia.bg

Резюме. През 2016 г. се навършват 140 години от създаването на телефона – кратък период в исторически план и същевременно–огромен от гледна точка на развитието и прогреса в областта на комуникациите. Мобилните телефони имат само 30-40 годишна история, а вече са неотменна част от живота на всеки от нас. Превърнаха се в миникомпютри, необходими за много от работещите, но все пак са и средство за забавление и общуване.

Ключови думи: телефон, телефонни централи, мобилни телефони, мобилни мрежи и базови станции.

I. Изобретяването на телефона

С историята за създаването на телефона са свързани (както и с други отрития) множество спорове, неясноти и недоразумения. Независимо, че и днес за негов създател се счита Александър Бел, много хора почти едновременно достигат до откритието му. През 1861г. Йохан Филип Райс докладва на заседание на Физическото общество във Франкфурт на Майн за изобретяването на устройство за предаване на звук на разстояние чрез електрически сигнали. Конструкцията на апарата се състои от микрофон, храняващ източник (гальванична батерия) и устройство за възпроизвеждане на звука - високоговорител. Именно Райс нарекъл конструираното устройство **телефон** (по-късно наречен телефон на Райс), но с него се предавал лошо тона и силно се променял тембъра. Били необходими още 15 години за представянето на подобно изобретение и то става възможно благодарение на работата по усъвършенстване на електрическия телеграф. Почти едновременно за такова изобретение през февруари 1876г. подават заявка Александър Бел и Елайша Грей и единствено преднината от 2 часа носи слава и световно признание на Бел (както и богатство на фамилията му от основаната от него



Представяне на телефона на Бел през 1877г. Първите думи, по телефона от Бел са до съседната стая, където бил помощникът му Т. Уотсън

компания), а на Грей - унизителен съдебен процес за патента и обричане на забрава.

Бел е роден на 3 март 1847г. в Единбург, Шотландия, където живее до смъртта (от туберкулоза) на двамата си братя. Семейството се мести в Канада. Бащата, дядото и чичото на Бел са професионални ритори. Първите си изобретения А. Бел прави още в Европа, но продължава с тази дейност до края на живота си. В Канада създава електрическо пиано, предаващо звука по проводници. През 1873г. става преподавател по физиология на говора в Бостън, а е натурализиран гражданин на САЩ 4 години по-късно. Той създава и микрофон, който не е бил воден, а въглероден (първият такъв е изобретен от Т. Едисон). Работи и по използването на светлинни лъчи в телекомуникациите, както и хидрокрило, детектор на метали и др. и е един от създателите на Националното географско дружество на САЩ. През 1879г. основава компанията „Бел Телефон“, чиито акции достигат няколко хиляди долара в кратък период от време. Женен е за своя ученичка - Мейбъл Хабард. Любопитно е, че той не е телефонира нито на съпругата си, нито на майка си, тъй като са били глухи. С получените средства от основаната от него компания той създава във Вашингтон института „Александр Волта“, подпомагащ работата по усъвършенстване на телефона, както и много други научни проекти от областта на предаване на информация посредством електрически сигнали, също в областта на хидродинамиката и авиацията, дори се е занимавал с овцевъдство. Материалната страна на нещата не го интересувала особено, голямо удовлетворение му носела възможността да поддържа талантиливи учени и изобретатели (като Алберт Абрахам Майкелсън и Глен Къртис). От собствения си опит Александър Бел знаел колко важно е своевременно да се помогне на всеки надарен човек (в началото на неговите собствени научни търсения огромна поддръжка му оказва американският физик Джоузеф Хенри). Едно десетилетие след изобретяване на телефона са регистрирани около 3000 други патента в областта (голяма част са на работещи в института „А. Волта“). Бел прекарва последните години от живота си в имението си в Канада в провинция Нова Скотия, където и умира на 2 август 1922г.

II. Устройство на телефона

Телефоните са от т. нар. „от точка до точка“ тип комуникационна система, чиято основна функция е да позволи на двама души, разделени от големи разстояния, да разговарят помежду си. Той е един от най-често срещаните апарати в света и отдавна се счита за абсолютна необходимост в предприятия, домакинства и правителствата (с големи изисквания по отношение на сигурността на провежданите разговори - „червен телефон“). Думата *телефон* е еднаква на много езици в целия свят.

Съвременният стандарт за телефония предвижда предаването на сигнала в честотна лента 0,3 - 3,4 kHz. Основните части на телефона са телефонен

трансформатор и микрофон и телефонна капсула, обединени конструктивно в т.нар. телефонна гарнитура (слушалка). Микрофонът преобразува звука, генериран при говорене, в електрически сигнал. Телефонната капсула преобразува получения от събеседника електрически сигнал обратно в звук. Телефонният трансформатор намалява до минимум силата, с която се чуват в слушалката звуците, приети от микрофона, като ги изпраща само към насрещния телефон. Електрическият сигнал се предава по проводници към телефонна централа, която пренасочва (комутира) сигнала към централата на търсения абонат.

Всички телефонни апарати имат микрофон, слушалка, звънец и клавиатура (в миналото шайба за набиране на номера). Микрофонът и слушалката обикновено са интегрирани в едно (слушалка), която се поставя близо до лицето, за да се говори. Клавиатурата може да бъде част базовата единица или от слушалката. Стационарен телефон е този, който е свързан с електрическа двойка кабели (чифт) към телефонната мрежа. Микрофонът преобразува звуковите вълни в електрически сигнали, които се изпращат чрез телефонната мрежа към друг телефон, който ги приема и преобразува обратно в звукови вълни в слушалката на другия телефон. Телефоните са дуплексна комуникационна среда, което означава, те позволяват на хората и от двете страни да говорят едновременно. Телефонната мрежа (състои се от световна мрежа от телефонни кабели, фиброоптика, микровълново предаване, клетъчна мрежа, спътникови комуникации и подводни телефонни кабели, свързани с отделни пренасочващи центрове - телефонни централи) позволява всеки телефон в света да се свързва с всички останали. Всяка телефонна линия има идентификационен номер, който се нарича телефонен номер (но в разговорния език се използва и само *телефон*). За да се започне телефонен разговор с друг телефон, потребителят въвежда номера от числовата клавиатура на своя и изпраща сигнал, другият телефон го приема, звъни и връзката се осъществява. Графичните символи за обозначаване на телефонна услуга или информация са: ☎ (U + 2121), ☎ (U + 260E), ☎ (U + 260F) и ☎ (U + 2706).

Въпреки че първоначално системата е проектирана за гласова комуникация, тя е пригодена и за предаване на данни (например по телекс, факс и Интернет).

Преди изобретяването на електромагнитните устройства, хората използвали механични средства за предаване на звук и да комуникират помежду си на разстояние - например по тръби и други подобни среди.

Един от най-разпространените варианти, който днес е детска игра, представлява две чаши или консервени кутии, свързани с връв или конец, а принципът на действие е: когато връвта се опъне и някой говори в една от кутиите, дъното действа като мембрана, преобразувайки звуковите вълни в



Fig. 76. Trübschiff.

Механичен „телефон“

надлъжни механични трептения, които създават напрежение във връвта. Тези отклонения в напрежението, създават такова на дъното на другата кутия и тя започва да вибрира по същия начин като първата, като по този начин пресъздава звука.

Първият телефонен разговор в България е осъществен в гр. Пордим през 1877г. по време на Руско-Турската освободителна война при обсадата на Плевен между щабвете на руската и на румънската армия, а днес и двете сгради са музеи. Официално телефонът е въведен в България през 1879г. и първата линия е свързвала кабинета и канцеларията на губернатора на гр. Пловдив. Първата междуселищна връзка в страната ни е осъществена през 1891г. между София и Пловдив.



Оливети телефон (1940г.) и телефони от 20-те и 30-те години на XX век

Доста бързо навлизат и т. нар. „таксофони“ - обществени телефони с монети, които се използваха широко и в България до началото на ХХІ в. Първият такъв телефон е представен на изложението в Париж пред 1890г.

В началото на века броят на абонатите по света достига 5 млрд., но намалява в развитите страни с навлизане на мобилните комуникации.

III. Телефонни централи

Телефонните централи приемат електрическите сигнали от търсещия абонат, комутират го (пренасочват го) и го предават на централата на търсения абонат. Първата централа е построена в САЩ още през 1877г. и нейн създател е Тивадар Пушкаш. През първите 3-4 десетилетия това пренасочване се е правилото от оператори ръчно и понякога установяване на връзката между двата абоната е траело дори часове. Автоматизирането на процеса става в началото на 30-те години на XX в. и първата действаща централа е в САЩ. В България има такива от доста по-късно: 60-те години, а изцяло автоматизацията е осъществена едва през 80-те години на XX в.

Между централите предаването на електрическия сигнал се извършва по най-различни начини. Класическият е чрез проводници, с вариант посредством високочестотни уредби (уплътнителни уредби), като няколко нискочестотни сигнала се модулират с по-висока носеща честота. Високочестотният сигнал вече може да бъде предаван на големи разстояния, както по проводници, така и по радиорелейни и радиовръзки. Частен случай на радиорелейните връзки са спътниковите връзки.



Стара Софийска телефонна централа

IV. Съвременните телефони - ерата на смартфоните

Идеята за мобилни комуникации чрез предаване на сигналите с радиовълни е доста стара - 40-те години на 20 век са произвеждани такива телефони от компании като AT&T, като разбира се и много други използвани в съвременността изобретения - първо е въведена от военните и после става достъпна за цивилни (най-ярък пример в областта си остава използването на Интернет). В началото сигналите се предавали в много ограничен обхват и било необходимо да изминат 2-3 десетилетия и да напреднат технологиите. Радиовълните започват да навлизат в автомобилите, които през 90-те години често са с вградени радиотелефони.



Първият мобилен телефон на Джон Купър

Първият мобилен телефон е по-стар, отколкото си представяме. Създаден е през 1973г. от Джон Купър. Той се вдъхновява от комуникатор (вграден в обувка), показан в сериала „Стар трек“ през 1969г. Устройството е снабдено с доста дълга антена за улавяне на сигнала. Първите масово предлагани на пазара мобилни телефони са на фирмата „Моторола“ през 1983г. като са имали тегло около 1 kg. и цена от 4000 \$. Това голямо „чудо на техниката“ е било доста неудобно за носене и далеч от реалното си предназначение за мобилност на комуникацията предвид теглото и обема му. През следващите години усилията са насочени към намаляване на размерите, а по-късно започват внедряването на повече функции. През 1992г. е изпратен първия SMS с поздрав за „Весела Коледа“ и услугата става хит сред потребителите. Мобилните телефони стават част от модните тенденции, като са показвани в много телевизионни продукции и реклами. През 1996г. е представен първият телефон-мида Motorola StarTAC, а две години по-късно се появява и първата Bluetooth слушалка, която освобождава ръцете на потребителите по време на разговори. През 1999г. се появява първият модел BlackBerry, 850, предназначен за бизнес и използван от

корпоративни клиенти предимно с възможности за получаване и изпращане на имейли. След година Sharp представят и първия телефон с вградена камера J-Phone. След 2000г. тенденциите се променят в посока все по-малки, но все пак функционални телефони. През 2002г. се слага началото на интеграцията на мобилните услуги в сферата на забавленията след като популярното шоу American Idol представя метод за гласуване чрез SMS.

Рекордът по продажби (който не е подобрен и до днес) на определен модел мобилен телефон е на Nokia 1100, който се разпродава в 250 милиона екземпляра. През следващите години се появяват все по-модерни и интересни мобилни устройства, а компаниите започват да печелят от продажба на тонове за звънене и различни мелодии. През 2007г. се появява първият iPhone с тъч дисплей, а година по-късно и първият смартфон с Android - HTC Dream. Година по-късно се появява магазинът за приложения на Apple, а Google и Visa обявяват новата си услуга за мобилни плащания. Google е първата компания, която създаде конкуренция на iPhone със своята операционна система Android. Първият телефон с Android е представен в края на 2008г. и произведен от HTC. Телефонът е не толкова добър, колкото iPhone, но това е добро начало.



Моделът „мида“



Минимизация



*Телефон с опер.
система
Android*



*Съвременни
телефони*

Днес броят на абонатите по света е около 4,4 милиарда и всеки ден се увеличава с 1 милион, което означава почти 12 абоната на секунда. Само за сравнение през 2001г. броят на абонатите е бил „едва“ 500 милиона. През последните 4-5 години има наистина сериозно увеличение на абонатите на мобилни телефони, поради значително нарастване на броя и вида на предлаганите услуги и това може би е краят на стационарните телефони.

V. Развитие на мрежите за мобилни комуникации

При мобилните телефони апаратът преобразува електрическия сигнал в радиосигнал, който се предава чрез т. нар. „базови станции“ към съответната централа.

Ранните мобилни телефони в края на 70-те и началото на 80-те години работели през така наречените "1G", които са аналогови мрежи. Технологиата

не е идеална и било относително лесно някой да прихване сигнала и да подслушва разговорите на други хора (в момента не се използват 1G мрежи).

Ерата на 2G мрежите започва в края на 80-те и началото на 90-те. Тези мрежи са дигитални и осигуряват по-добро качество и по-голяма сигурност. Предимството им е, че позволяват изпращането на текстови съобщения (SMS) и прехвърлянето на данни, както и че осигуряват висококачествени гласови разговори и удобен международен роуминг. Тези предимства полагат основите на световен бум в използването на мобилни телефони. Най-голям производител на съоразения от този тип е фирмата „Nokia“, която има и най-голям процент продажби на мобилни апарати в този период от време (един от най-разпространените модели има продадени 250 милиона в света). *Глобалната система за мобилни комуникации (GSM)* през 1987г. е възприета като Европейски стандарт за цифрова мобилна технология. Важен е и фактът, че вече всеки телефон има свой идентификационен номер, който е в SIM-картата. Това позволява да има значително по-голяма сигурност, като кодовете за сигурност по това време са 64 цифрови (понастоящем те са 128). През следващите години броят на абонатите на GSM нараства извън всякакви предвиждания. В този период се изграждат множество базови станции, като мощността на излъчвателите намалява, тъй като мрежата става все по-гъста. Това е и времето, в което се правят първите проучвания за влиянието им върху човешкото здраве. В много страни, особено в Европа, започват да влизат в сила закони и правила за безопасно използване на мобилните мрежи, които днес в голяма степен са задължителни за всички страни и под контрола на Световната Здравна Организация. По своята степен на опасност са на много по-ниско ниво в сравнение с други фактори, но статистиката за рисковете върху здравето е много по-кратка във времето.

Истинската „революция“, обаче, настъпва със създаване на 3G мрежите в началото на XXI век с възможността за използване на Интернет. Бързо се увеличава скоростта на пренос на данни и има много повече възможности за мобилни широкообхватни услуги. Първата такава мрежа започва да работи в Ю.Корея през 2011г. като само за няколко месеца са приведени в експлоатация от две фирми в страната, а малко по-късно и в много други страни по света. През следващите години са правени подобрения, а започва и развиването на новото поколение 4G мрежи. Развитието през последните 3-4 години е наистина с огромни темпове.

В момента има действащи 838 GSM-мрежи в 234 страни и независими територии в целия свят и разширяването продължава.

Може би наистина отминава времето на телефона на Бел!

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://bg.wikipedia.org>
2. www.digital.org

МОДЕЛИ НА КВАЗИПЕРИОДИЧНИТЕ ОСЦИЛАЦИИ И МАСА НА МИКРОКВАЗАРА GRO 1665-40

Радостина Ташева и Иван Стефанов

Департамент по приложна физика, Технически университет - София, София 1000,
бул. "Кл. Охридски" 8, e-mails: rpt@tu-sofia.bg, izhivkov@tu-sofia.bg

Резюме. Разгледани са основните типове модели описващи високочестотните квазипериодични осцилации (HF QPO) на маломасивните двойни системи включващи черни дупки и е изследвана приложимостта им към микроквара GRO J1665-40. Дискутирана е достоверността на получената съвкупност от стойности за масата на обекта.

Abstract. In this paper we consider several main model types that describe the quasiperiodic oscillations (HF QPO) of low massive binaries that include black holes and their applicability to the microquasar GRO J1665-40. Having done that we discuss reliability of the obtained set of mass values.

Ключови думи: микроквазари, квазипериодични осцилации, рентгенови спектри

1. Увод

Рентгеновите спектри, получени за някои маломасивни двойни системи включващи черни дупки (микроквазари), показват наличието на пикови стойности, които могат да бъдат апроксимирани като квазипериодични осцилации (КПО) с периоди между 10^{-3} и 1s. Тези осцилации са резултат от зависимости между величините, описващи движението на акреционен диск, въртящ се около черна дупка и са следователно индикатор за силните гравитационни полета, възникващи там.

Наблюдавани са два силно различаващи се типа КПО - нискочестотни и високочестотни. Нискочестотните осцилации (с периоди 0.03-1 s) са по-лесни за проследяване предвид по-големия им интензитет, но променят честотата си в широки граници. Този тип осцилации са наблюдавани за 14 двойни системи, съдържащи черни дупки.

Високочестотните осцилации (периоди 10^{-3} - 10^{-2} s) са наблюдавани за 7 маломасивни двойни системи, две от които съдържат все още непотвърдени кандидати за черни дупки. Основен проблем, свързан с тяхното наблюдение, е относително малкия им интензитет, но за сметка на това честотата им не се променя с времето. Интервалът време, за който се наблюдават, е доста кратък и за някои източници са получени двойка честоти пропорционални помежду си - в съотношение 3:2 - горна ν_U и долна ν_L .

Разликите в свойствата на ниско- и високочестотните квазипериодични осцилации са вероятно резултат от процесите и механизмите, водещи до тяхната поява. Съвместното им изучаване обаче е полезно доколкото може да доведе до налагането на допълнителни ограничения върху параметрите на черните дупки, които могат да бъдат получени - масите и безразмерните ъглови моменти. Обикновено нискочестотните осцилации се разглеждат като резултат от релативистичната прецесия на Lense-Thirring с честота на въртене на прецесионната равнина $\nu_{\text{nod}} = \nu_{\Phi} - \nu_{\Theta}$, където ν_{Φ} е Кеплеровата орбитална честота, а ν_{Θ} е честотата на вертикалните епициклични осцилации. За високочестотните осцилации има множество модели, но малко от тях имат ясна физична интерпретация. Критерий за приложимостта им е тяхната способност да описват светлинните криви, както и рентгеновия спектър в неговата високочестотна част.

2. Модели на високочестотните осцилации

Хипотезите, свързани с квазипериодичните осцилации, обикновено предполагат пряка връзка между техните честоти и тези на материята, съдържаща се в акреционния диск и движеща се около черната дупка. Модулациите на излъчвания поток енергия са в резултат на въздействието на орбитиращи горещи нееднородности („hot spots“) или на ексцентричната орбита на самия диск. Съществуват две големи групи модели, които се опитват да обяснят високочестотните квазипериодични осцилации - моделите на релативистична прецесия (RP) и резонансните модели.

2.1 Прецесионни модели

Те са основани на съвкупност от резонанси между прецесионните и орбитални честоти и са свързани с горещи нееднородности в близост до вътрешната граница на акреционния диск, пресичащи линията на зрителния лъч и модулиращи излъчвания светлинен поток. Съществуват три такива модела - релативистичния прецесионен модел, модел на вертикална прецесия и тотален прецесионен модел [1].

Релативистичния прецесионен модел (RP), предложен от Стела и Виетри [2], обяснява квазипериодичните осцилации като резултат от релативистичното прецесионно движение на излъчващи горещи маси флуид, разпределени на различни разстояния r от центъра на орбитата си близо до вътрешната граница на акреционния диск. Връзката между отделните честоти може да бъде приписана на прецесията на релативистичната орбита на тестова частица в силното гравитационно поле на черната дупка. Горната висока честота се асоциира с орбиталната $\nu_u = \nu_{\Phi}$. Долната е равна на прецесионната, т.е. $\nu_L = \nu_{\text{per}} = \nu_{\Phi} - \nu_r$ (виж 3:1K,RP модела). За да се получи съотношението 3:2, тези осцилации трябва да възникват върху орбити с радиуси, за които е изпълнено $R = \nu_{\Phi}/\nu_r = 3/1$, т.е. много близо до ISCO ($r = 6.75 \text{ GMc}^{-2}$ за $a = 0$). RP моделът

предполага ниско и високочестотните осцилации да възникват върху една и съща орбита.

Моделът обяснява връзката между високите и ниските честоти за редица неутронни звезди и двойни системи с черни дупки, но не успява да покаже причината за възникването на двойката високи честоти.

Тоталният прецесионен модел приписва ν_u на азимуталната честота ν_ϕ (или вертикалната ν_θ). Ниската честота е $\nu_L = \nu_\theta - \nu_r$. Последният случай е подобен на 3:1 модела на принуден резонанс - виж по-долу.

2.2 Модел на приливно разкъсване (TD)

Този модел е разновидност на „hot spot“ модела. Горещите сгъстявания във акретиращия флуид се деформират и разкъсват от приливните сили създавайки пръстеновидни сегменти, които са отговорни за наблюдаваните осцилации [3]. Този модел предсказва $R \in (1,2)$ за всяко a и r , но не определя точната му стойност. Радиусът на орбитата, където възниква двойката честоти, е леко отместена спрямо ISCO и е близко до радиуса, където радиалната прецесионна честота има максимум ($\nu_\phi/\nu_r = 2/1$). Тази орбита от своя страна е все още разположена в близост до вътрешната граница на акреционния диск.

Радиусът на Рош е разстоянието r_{TD} от даден обект, на което приливните сили започват да разкъсват приближаващия обект. За флуид с плътност ρ , въртящ се около тяло с маса M , заради равенството между центробежната и гравитационна сила този радиус е $\sim (M/\rho)^{1/3}$. От третия принцип на Кеплер $\nu_{TD} \sim (GM/r_{TD})^{1/2}$. Като резултат се получава $\nu_L = \nu_{TD} \sim 10^{-3}$ Hz, което е доста по-малко от наблюдаваните честоти от порядъка на 100 Hz. Моделът позволява получаването на правдоподобни светлинни криви и добро описание на двойката честоти във високочестотната част в рентгеновия спектър на микроквазара ХТЕ 1550-564.

2.3 RP1 and RP2 – подобрени прецесионни модели

Те са версии на прецесионните модели, т.е. предполага се, че КПО възникват заради резонанси между прецесионните и не-осиметричните осцилации на тестовите частици. В случая на RP1 акреционния тор е леко ексцентричен и върху прецесионните движения са насложени вертикални осцилации. Ниската честота е изразена като честота на прецесията $\nu_L = \nu_{per} = \nu_\phi - \nu_r$, ν_U е приета да бъде ν_θ . Този модел е известен и под името модел на вертикална прецесия [1]. RP2 моделът предлага резонанс между радиалната $m = 1$ и вертикалната $m = 2$ моди на акреционния диск (виж WD модела). Възбудените високочестотни КПО са $\nu_L = \nu_\phi - \nu_r$, $\nu_U = 2\nu_\phi - \nu_r$. RP1 дава приемливо обяснение на високочестотните КПО в ХТЕ 1550-564 и GROJ1665-40 [3].

2.4 Резонансни модели

Съществуват две най-често цитирани в литературата разновидности на модели, свързани с резонанси между честотите на акреционните дискове -

прецесионният резонансен модел и моделът на деформирания диск (WD).

Прецесионният резонансен модел предполага резонанси между основните осцилационни моди на акреционния диск. Резонансите са или параметрични или нелинейни принудени, като разликата между тях не е в условията за възникване на резонанс, а в самите параметри, характеризиращи резонанса - ширината на резонансната крива, резонансната амплитуда и т.н.

Вътрешният, параметричен резонанс възниква директно между радиалната и вертикалната мода на осцилация и се описва с основния прецесионен резонансен модел. За осцилатор, подчиняващ се на уравнението на Матю [1], параметрична резонансна нестабилност възниква близо до $\nu_r = 2\nu_\theta/n$ за $n = 1, 2, 3, \dots$. Моделът предсказва $\nu_\theta/\nu_r = n:2$. Възможно най-силният резонанс възниква при $n = 3$, защото $\nu_r < \nu_\theta$. Замествайки $\nu_L = \nu_r$ и $\nu_U = \nu_\theta$ получаваме съотношението между двете високи честоти като 3:2.

Числените симулации за движещ се флуид във формата на идеален тор [5] показват наличието на резонанс като резултат от принуждаващо въздействие върху вертикалните осцилации. Принуждаващото въздействие се оказва от страна на радиалните пулсации чрез сдвояване на градивните комплекси от частици и модулиране на налягането. (нелинеен резонансен модел - NRM). Моделът предсказва, че една от комбинациите $\nu_- = \nu_\theta - \nu_r$ и $\nu_+ = \nu_\theta + \nu_r$ има отношение 3:2 към вертикалната честота ν_θ . За $n = 2$: $\nu_\theta:\nu_r = 2:1$, $\nu_L = \nu_\theta$, $\nu_U = \nu_+ = \nu_\theta + \nu_r$. За $n=3$, $\nu_\theta:\nu_r = 3:1$, $\nu_L = \nu_- = \nu_\theta - \nu_r$, $\nu_U = \nu_\theta$.

Пропорционалността между двойката честоти е съществена за NRM модели. Въпреки, че са привлекателни заради тяхната простота, те не предлагат адекватен механизъм на възбуждане на КПО. Налице са също така някои несъответствия между техните предсказания за ъгловите моменти и наблюдения, базирани на други методи като: анализ на емисията на изхвърлените струи, анализ на профила на K_α линията на желязото и симулацията на спектралния континуум.

2.5 Модел на деформирания диск(WD)

Като S. в [4] предлага модел, включващ резонансни моди на деформиран диск. Този модел предлага механизъм на възбуждане на осцилации на частици, включени в състава на акреционния диск, въртящ се около централната черна дупка - пертурбации, дължащи се на вътрешното триене и адиабатното изменение на обема на деформирания диск и водещи до резонанс в хоризонтална посока. Пертурбациите са експоненциална функция на честотата ω и азимуталния ъгъл Φ - $\exp[i(\omega t - m\Phi)]$, $m = 0, 1, 2, \dots$. Възникващите квазипериодични осцилации са два типа - вътрешно акустични осцилации (p-мода) и гравитационни (g-мода) или комбинации от тях. Двойката КПО са $\nu_L = 2(\nu_\Phi - \nu_r)$, $\nu_U = 2\nu_\Phi - \nu_r$.

2.6 Кеплеров нелинеен резонансен модел

Горната честота предсказана от този модел се различава от прецесионния резонансен модел - при първия $\nu_U = \nu_\Phi$ вместо $\nu_U = \nu_\Theta$ за последния модел.

3. Данни за микроквазара GRO 1665-40

Съгласно получените в работите на Shafee [6] и Motta [7] обектът GRO1665-40 показва 3:2 съотношение на честотите на високочестотните квазипериодични осцилации. Данните за масата от спектро-фотометричните данни в работата на Beer & Podsiadlowski [8] заедно с честотите от предните две работи са дадени в Таблица 1. Тези данни, обозначени като M_{Ref} са използвани за да се оцени достоверността на средните стойности на масите получени от нас въз основа на 9 разновидности на описаните по-горе модели.

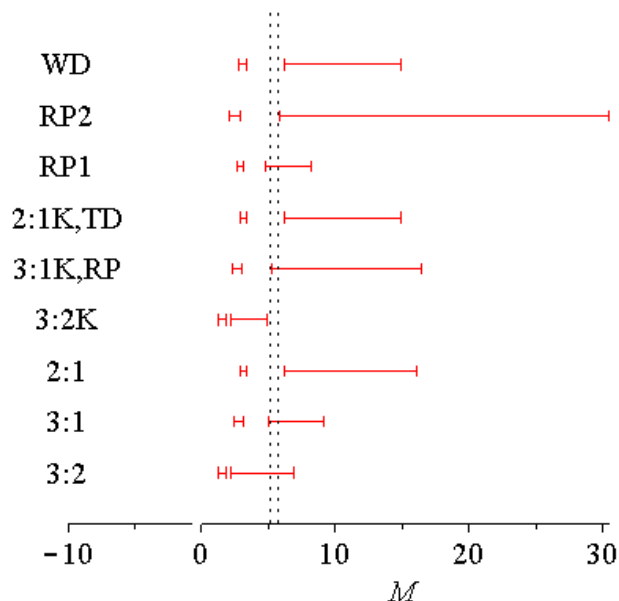
Таблица 1. Данни за микроквазара GRO 1665-40 от литературата

обект	$M/M_\odot$	a	$\nu_{LF}[\text{Hz}]$	$\nu_L[\text{Hz}]$	$\nu_U[\text{Hz}]$
GRO1665-40	5.4 ± 0.3	0.65 - 0.75	28	300 ± 5	450 ± 3

Наборът от маси, възможен за всеки от моделите, е получен чрез решение на системата от три уравнения:

$$\begin{aligned} \nu_{LF}(a, M, r_{LF}) &= 28 \\ \nu_L(a, M, r_{HF}) &= 300 \\ \nu_U(a, M, r_{HF}) &= 450 \end{aligned} \quad (1)$$

Тук a е безразмерният ъглов момент на въртящата се черна дупка с възможни стойности $-1 < a < 1$, r_{LF} и r_{HF} са радиусите на възникване на съответните честоти, различни за високите и ниските честоти, но винаги $r \geq r_{\text{ISCO}}$. Резултатите от пресмятанията са дадени на фиг. 1.



Фиг. 1. Граници на масата на GRO 1665-40 в случаите на $a < 0$ и $a > 0$ въз основа на девет разновидности на моделите на високочестотните КПО

4. χ^2 -тестът като подход за оценка на достоверността на извадката от маси получени въз основа на моделите.

Нека да предположим, че като резултат от нашите пресмятания сме получили 9 интервала от маси $\Delta M_1, \Delta M_9$, за $a < 0$ и също толкова за $a > 0$, като стойностите на получените от наблюденията маси са нормално разпределени с математическо очакване равно на средната стойност на интервала $M_{\text{mod}} = (M_{\text{мин}} + M_{\text{макс}})/2$, дисперсия $\sigma_{\text{mod}}^2 = (0.5\Delta M)^2$ (средно стандартно отклонение $\sigma_{\text{mod}} = 0.5\Delta M$) и не корелират помежду си. Истинската стойност на получената маса се намира с вероятност 0,6827 в интервала $[M_{\text{mod}} - \sigma_{\text{mod}}, M_{\text{mod}} + \sigma_{\text{mod}}]$.

Искаме да тестваме кои от моделите дават най-достоверни средни стойности M_{mod} . Дефинираме χ^2 като:

$$\chi^2 \equiv \frac{(M_{\text{ref}} - M_{\text{mod}})^2}{\sigma_{\text{mod}}^2} \quad (2)$$

Тук M_{ref} е масата получена от литературата измерена с други методи. χ^2 има вероятностно разпределение от вида

$$f(\chi)^2 = \frac{1}{2^\nu \Gamma(\nu/2)} e^{-\chi^2/2} (\chi^2)^{(\nu/2)-1} \quad (3)$$

При нормално разпределение на M_{ref} около средните стойности M_{mod} ν е броят на степените на свобода, който в нашия случай, при липса на корелация между получените стойности на масата съвпада с броя на измерените независими променливи, т.е. $\nu = 1$. Стойността на интеграла

$$\int_{\chi_{\text{exp}}^2}^{\infty} f(\chi)^2 d\chi^2 \quad (4),$$

наречена Р-стойност дава вероятността случайната величина χ^2 да е равна или по-голяма от дадена експериментална стойност χ_{exp}^2 , т.е. да е изпълнено $\chi^2 \geq \chi_{\text{exp}}^2$. Тази вероятност се пресмята като площта под фигурата, описана от функцията $f(\chi^2)$ при стойности $\chi^2 \geq \chi_{\text{exp}}^2$.

Нека да сравним Р-стойността с предварително избрано от нас ниво на значимост α . Когато Р-стойността е твърде малка (типичен избор за нивото на значимост е $\alpha = 0.05$), т.е. $P < \alpha$, считаме, че съответната експериментална (или наблюдавана) стойност на χ^2 е твърде малко вероятна. В този случай можем да смятаме, че имаме достатъчно основание да отхвърлим модела. Вероятността да направим грешка от тип I (т.е. да отхвърлим верен модел), ако отхвърлим съответния модел е по-малка от Р-стойността (в случая $< 5\%$).

Както може да се види, практически всички модели с $a < 0$ имат изключително малки Р-стойности, което при единствен получен резултат може да се счете за статистически невероятно отклонение, но при повтарящи се практически нулеви стойности по-скоро говори за неподходящо избрана посока на въртене, т.е. можем да считам, че тестовата частица има винаги положителен ъглов момент, т.е. обикаля в посока, съвпадаща с посоката на въртене на

черната дупка. При $a > 0$ най-малката стойност за P е при 3:2K модела, където $P=0.16$, т.е. нямаме достатъчно основания да отхвърлим дори този модел. Той предсказва резонанс от нелинеен тип в Кеплерова модификация и е целесъобразно да се изследва приложимостта му и за други обекти. Както се вижда и на фиг. 1, интервалът от получените от нас стойности за този модел изключва доверителния интервал на референтната маса $5.4 \pm 0.3M$: Пет от моделите имат също така интервали от маси, които не включват референтния интервал - 2:1, 3:2K, 2:1K, TD, RP2 и WD. За останалите случаи - 3:2, 3:1, 3:1K, RP и RP1 и резултатите от решенията на съответните уравнения, и P -стойностите - между 0.3 и 0.7 показват голяма вероятност за тяхната приложимост. За 3:2 модела P -стойността е 0.70, и този модел в същото време представя най-близката до референтната оценка за масата - $M_{\text{mod}}=4.51M$:

Таблица 2. Резултати за P -стойността

Модел	P -стойност, $a < 0$	P -стойност, $a > 0$
3:2	$7.37 \cdot 10^{-33}$	0.70561
3:1	$1.65 \cdot 10^{-18}$	0.40206
2:1	$8.45 \cdot 10^{-19}$	0.2499
3:2K	$6.45 \cdot 10^{-41}$	0.1645
3:1K,RP	$1.07 \cdot 10^{-16}$	0.3315
2:1K,TD	$1.54 \cdot 10^{-18}$	0.5592
RP1	$9.90 \cdot 10^{-23}$	0.5205
RP2	$1.84 \cdot 10^{-13}$	0.3017
WD	$1.54 \cdot 10^{-18}$	0.2428

5. Заключение

Честотите на излъчване на микроквазара GRO 1665-40 в рентгеновия спектър позволяват да се направят оценки за масата и ъгловия му момент. Колкото по-близо са тези стойности до получените с други методи оценки, толкова по-надеждни могат да се считат моделите, свързани с тях.

Сравнението на резултатите от нашите пресмятания с резултати от приложението на χ^2 теста за оценка на пригодността на даден модел показва, че отрицателните ъглови моменти $a < 0$ са по правило много малко вероятни, т.е., че тестовата частица се движи в посока, съвпадаща с посоката на въртене на черната дупка.

В същото време един от моделите, 3:2K, показва най-малка P -стойност - $P=0.16$, но тя не дава достатъчно силни основания да отхвърлим този модел като неприменим за математическо описание на високочестотните квазипериодични осцилации при микроквазара GRO 1665-40. Ако предположим, че един и същи модел трябва да служи за описание на всички разглеждани микроквазари, получената неголяма стойност подлага на съмнения пригодността му за други подобни обекти.

За четири от моделите - 3:2, 3:1, 3:1K, RP и RP1 както Р-стойностите ($0.33 \div 0.7$), така и резултатите от решенията на съответните уравнения [1] показват, че те с достатъчна увереност може да се използват за оценка на масата на GRO 1665-40. Първите два са от групата на нелинейните резонансни модели, а последните два - от групата на релативистичните прецесионни модели, т.е. по формални критерии не може да бъде предпочетена едната група пред другата.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Lin Y., Boutelier M., Barret D., Zhang S.N., arXiv:astro-ph/0006198v1, 2010.
- [2]. Stella L., Vietri M., ApJ, 492, L59, 1998.
- [3]. Torok G., Kotrlova A., Sramkova E., Stuchlik Z., A&A, 531, A59, arXiv:1103.2438, 2011.
- [4]. Kato S., PASJ, 53, 1, 2001.
- [5]. Abramowicz M.A., Karas V., Kluzniak W., Lee W.H., Rebusco P., PASJ, 55, 467, 2003.
- [6]. Remillard R.A., McClintock J.E., Orosz J.A., Levine A.M., ApJ, 637, 1002, 2006.
- [7]. Motta S.E., Munoz-Darias T., Sanna A., Fender R., Belonni T., Stella M., MNRAS, 439, L65, 2014.
- [8]. Beer, M.E., & Podsiadlowski, P. MNRAS, 331, 351, 2002.

ЕДНОВРЕМЕННО НАБЛЮДАВАНЕ НА КОРПУСКУЛЯРНО-ВЪЛНОВИ СВОЙСТВА В ЕДИНИЧЕН ЕКСПЕРИМЕНТ

Иван Г. Копринков

Департамент по приложна физика, Технически университет-София, бул. „Кл. Охридски“ №8, София 1000, България, e-mail: igk@tu-sofia.bg

Резюме. Корпускулярно-вълнови свойства на светлината са наблюдавани едновременно в една и съща пространствена област в единичен експеримент. Експериментът включва интерференция на светлина в интерферометър на Юнг и множество индивидуални фотоефекти във всеки пиксел на диодна матрица, осветена директно от интерфериращата светлина. Анализирани са корпускулярните и вълнови аспекти на разглеждания проблем.

Ключови думи: корпускулярно-вълнов дуализъм, интерференция, фотоефект, принцип на допълнителността, квантова механика.

Simultaneous observation of particle-like and wave-like behavior in a single experiment

I. G. Koprinkov

Department of Applied Physics, Technical University of Sofia, 8 Kl. Ochridsky Blvd., Sofia 1000, Bulgaria

Abstract. Particle-like and wave-like behaviour of the light are observed simultaneously in same space area in a single experiment. The experiment includes interference of the light in a Young interferometer and a large number of photoelectric effects in each pixel of an image viewer, illuminated directly by the interfered light. The particle-like and the wave-like aspects of the problem under consideration are analyzed.

Keywords: particle-wave duality, interference, photoelectric effect, principle of complementarity, quantum mechanics.

1. Увод

Квантовата механика е основен теоретичен инструмент за изследване на физическата реалност на микрониво и нейните предсказания се потвърждават от експеримента с впечатляваща прецизност. Въпреки това, някои от нейните основни концепции остават трудно разбираеми, особено що се отнася до създаване на определена физическа картина за описваните обекти и явления.

Вероятно най-ярък пример в това отношение е корпускулярно-вълновия дуализъм. Той се изразява в това, че физическите обекти в едни експерименти проявяват свойства, които асоциираме с частици, а в други експерименти наподобяват свойства на вълни. Корпускулярно-вълновият дуализъм има фундаментално значение за квантовата механика. Той е едно от базисните твърдения в копенхагенската интерпретация, която се приема за официална интерпретация на квантовата механика от преобладаващата част от физиците.

Корпускулярно-вълновият дуализъм се счита за потвърден за всички частици, за които може експериментално да се регистрира вълната на де Бройл, а това включва елементарни частици (електрони, протони, неутрони), атоми, молекули и сложни комплекси от атоми с маса над 10000 атомни единици [1]. Класически пример за демонстрация на корпускулярно-вълновия дуализъм представлява интерференцията на частици на светлината (фотони) и частици на веществото в интерферометъра на Юнг. Корпускулярният характер се асоциира с факта, че частицата преминава през определен процеп на интерферометъра (но не и през двата едновременно, което по принцип е възможно за вълните), а вълновите свойства се демонстрират с интерференцията (в областта на припокриване) на дифракциралите от двата процепа вълни. Според едно схващане на Нилс Бор, свойствата на физическите обекти и стойностите на описващите ги величини не са предварително определени, а стават такива след взаимодействие с измерителния прибор. Видът на измерителния прибор определя дали ще бъдат наблюдавани корпускулярни или вълнови свойства. Опитът за наблюдаване на едните свойства води до разрушаване на другите, което показва, че корпускулярните и вълновите свойства са взаимно допълнителни. Нилс Бор издига тази концепция до ранг на самостоятелен принцип, *принцип на допълнителността* [2]. Неговата формулировка най-често се представя така: *физическите обекти имат взаимно допълнителни свойства, които не могат да бъдат наблюдавани или измервани едновременно*. Една двойка такива свойства са именно корпускулярните и вълновите свойства.

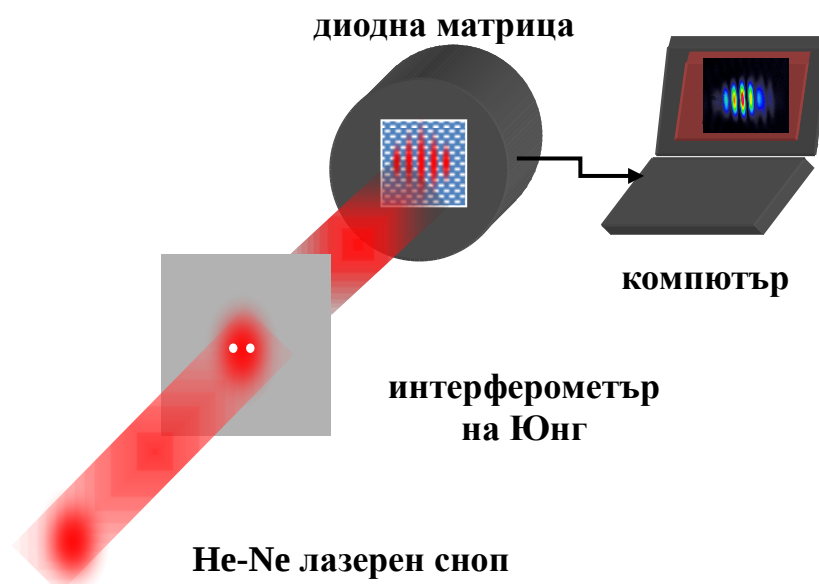
Частично корпускулярни и вълнови свойства, обаче, могат да се наблюдават едновременно [3-5]. Този факт намира израз в съотношението за дуалност на Енглерт-Гринбергер (СДЕГ), $V^2 + D^2 \leq 1$ [6, 7], където V е видимост на интерференчната картина, а D е различимост (вероятност) с която частицата преминава през даден отвор на интерферометъра, т.н., "кой път" ("which way")-информация. Това съотношение може да се разглежда като един количествен израз на принципа на допълнителността. Неотдавна, частично корпускулярни и вълнови свойства на светлината значително над ограниченията на СДЕГ, $V^2 + D^2 > 1.35$, е наблюдавано експериментално в модифициран вариант на интерферометъра на Юнг [8, 9].

В представените досега експерименти, корпускулярните и вълновите свойства се определят в различни места на експерименталната установка и, следователно, не са едновременни в истинския смисъл. Това на практика са две установки за последователно наблюдаване на корпускулярни и вълнови

свойства, което, от общи съображения, не би трябвало да бъде проблем стига регистрацията на едно от свойствата да не води до унищожаване на самия обект (например, поглъщане на фотоните) и прави невъзможно провеждането на допълнителната част от експеримента. Наблюдаването на частично корпускуларни и вълнови войства в рамките на СДЕГ се базира именно на този принцип – регистрация на едните свойства води само до пертурбация и влошаване на регистрацията на другите но не и до пълното им потискане. В настоящата работа е представен експеримент, при който корпускуларни и вълнови свойства се наблюдават едновременно в една и съща пространствена област. Използван е интерферометър на Юнг, при който, вместо да се наблюдава върху екран, интерференчната картина се проектира директно върху диодна матрица и се записва чрез фотоэффект във всеки осветен пиксел на матрицата. Така, в един и същ експеримент, едни и същи фотони в една и съща пространствена област участват едновременно в корпускуларно и вълново явление. Този изключително прост експеримент вероятно е извършван многократно преди това, но тук, за първи път, доколкото ни е известно, се анализира и интерпретира като пространствено и временно съвпадение на корпускуларни и вълнови свойства. Анализирани са корпускуларните и вълновите аспекти на представения експеримент.

2. Експериментална установка и резултати

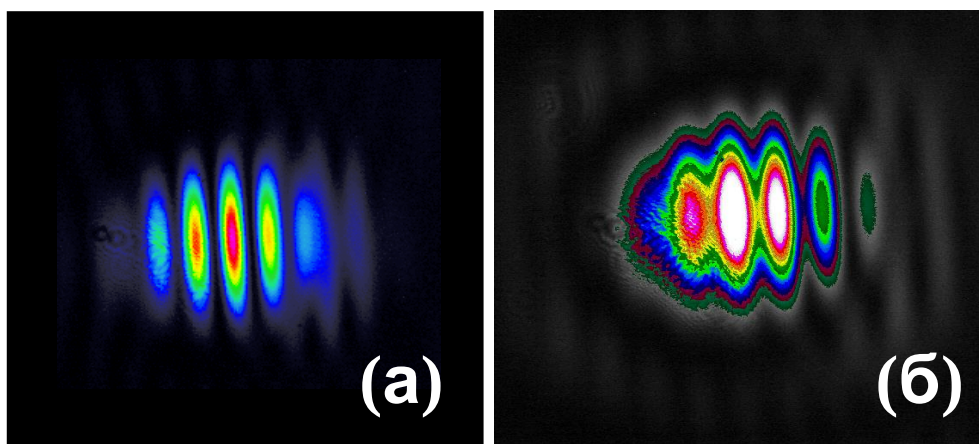
Схемата на експерименталната установка е показана на фиг. 1. Тя включва интерферометър на Юнг и диодна матрица. Диодната матрица се състои от 1280×1024 пиксела с размер $6.7 \times 6.7 \mu\text{m}$, формиращи $8.6 \times 6.9 \text{ mm}$ активна област.



Фиг. 1. Експериментална установка

Двата отвора на интерферометъра на Юнг се осветяват едновременно от лъчението на хелий-неонов лазер на дължина на вълната 632.8 nm. Светлината на хелий неоновия лазер дифрактира от всеки от двата отвора и интерферира във всички точки от пространството, където дифрактиралите снопове се припокриват. Получената интерференчна картина се проектира върху диодна матрица, където се записва чрез фотоефект във всеки пиксел на матрицата.

Записаната интерференчна картина е показана на фиг. 2а (линеен режим) и фиг. 2б (наситен режим). Поради малкия динамичен диапазон на използваната диодна матрица, по-слабо интензивната периферна част на интерференчната картина не се вижда на фиг. 2а. За да се представят и по-слабо интензивните детайли на картината, интензитетът на падация върху интерферометъра лазерен сноп беше увеличен. Интерференчната картина в този случай е показана на фиг. 2б, където централната част е наситена.



Фиг. 2. Интерференчна картина записана с диодна матрица

3. Обсъждане и интерпретация на резултатите

Интерпретацията на резултатите в квантовата механика и особено тези в областта на корпускулярно-вълновия дуализъм често пъти водят до различни и понякога взаимно изключващи се мнения. Ето защо, разглеждането на множеството аспекти на корпускулярната и вълновата част на проблема е наложително за да се направят правилните изводи относно това *какво показва и какво не показва представеният експеримент*. Преди всичко, това не е "кой път"-експеримент и при него не се получава информация за това през кой отвор на интерферометъра минава фотонът попаднал в даден пиксел, т.е., различимостта в този случай е $D=0$. В същото време, видимостта на интерференчната картина може по принцип да достигне максималната стойност $V=1$, макар че на практика е по-малка от нея. Следователно, СДЕГ не се нарушава при този експеримент. От друга страна, различимостта на пътя на частицата, както в рамките на интерферометъра на Юнг така и в общия случай, не е единствения критерий за корпускулярност. Във физиката са известни определени явления, които се приемат от преобладаващата част от физиците за

проява на корпускулярни свойства. Сред тях е и фотоефектът, който в случая се използва за регистрация на интерференчната картина. Следователно, отговорът на въпроса дали този експеримент показва едновременно корпускулярни и вълнови свойства се свежда до отговора на следните два въпроса: (а) "Демонстрира ли фотоефектът проява на корпускулярни свойства?" и (б) „Демонстрира ли интерференцията проява на вълнови свойства?". Въпреки че отговорът на тези въпроси може да изглежда очевиден за болшинството физици, тяхното обсъждане не е излишно поради съществуването на алтернативни мнения.

(а) Демонстрира ли фотоефектът проява на корпускулярни свойства?

Съществуват опити за обяснение на фотоефекта в рамките на електромагнитната вълнова теория за светлината без прибегване до представата за фотони [10]. В тази работа, разглеждайки взаимодействие на квантова система с електромагнитна вълна, е изведен израз за скоростта на свързано-свободни квантови преходи (както е при фотоефекта), от който следва уравнението на Айнщайн за фотоефекта. На тази база е направено заключението, че обяснението на фотоефекта не изисква приемането на корпускулярни свойства на светлината, а може да се даде в рамките на вълновата теория. Всъщност, уравнението на Айнщайн е необходимо но не и достатъчно условие за обяснението за фотоефекта. Някои от експерименталните закономерности на фотоефекта изискват представата за квантова структура на светлината, а не само уравнението на Айнщайн. Последното е следствие от корпускулярната представа, а не предпоставка за нейното обосноваване. Освен това, наличието на корпускулярни свойства на светлината изобщо не се отхвърля в тази работа, а се приема за необходимо при обяснението на явленията топлинно излъчване, ефект на Комптон, спонтанно излъчване, лембово отместване породено от нулевите фликтуации на вакуума [10]. Трудно е да се приеме, че при всички други прояви на взаимодействие с веществото (излъчване, разсейване), светлината проявява корпускулярна природа, а единствено при фотоефекта (поглъщане), светлината проявява вълновата си природа. Най-накрая, формалният математически извод на закон описващ дадено явление, в случая - фотоефекта, не доказва окончателно неговата физическа природа. Вълновата теория на фотоефекта не е широко приета сред физиците и фотоефектът продължава да се разглежда като явление, при което се проява корпускулярната природа на светлината. На тази база може да се приеме, че *представеният експеримент демонстрира корпускулярни свойства на светлината върху диодната матрица*. Трябва да се отбележи, че за най-убедително доказателство за корпускулярните свойства на светлината се приема поведението на корелационната функция от втори порядък на луминисценцията от единични атоми в режим на антигрупировка на фотони [11]. Това е директно експериментално доказателство за локализираност (корпускулярност) на светлинната енергия (в рамките на разрешението на

експерименталната апаратура) за разлика от цитираните по-горе явления, които се приемат като проява на корпускулярност, но на базата на косвени аргументи, основани на факта, че експерименталните закономерности при тях не могат да се обяснят (по-точно, не е намерено обяснение) в рамките на вълновите представи, а се обясняват непротиворечиво в рамките на корпускулярните представи.

Може да се спори дали наблюдаването на "точка" върху екрана на интерферометъра на Юнг при попадане на фотон (или друга частица) при експеримент с единични фотони не е също демонстрация на пространствено и временно съвпадение на корпускулярни и вълнови свойства. Това по принцип би било така, ако процесът на детекция е показателен за корпускулярен ефект. Локализираността върху екран, което наричаме "точка", не е непременно доказателство за корпускулярност. Експериментът с диодна матрица има предимство в това, че фотоефектът се приема като доказателство за корпускулярност без да се базира на изискването за локализираност. От друга страна, критерият за локализираност на обекта при фотоефект с диодна матрица (размер на пиксел $6.7 \times 6.7 \text{ }\mu\text{m}$), макар в случая да отсъства "кой път"-информация, не отстъпва на този базиран на размера на отвора на интерферометър на Юнг с диаметър от порядъка на десетки μm , или "точка" от екрана с размер от порядъка на зърното на емулсията (в случай на фотоплака). Всъщност, при всички варианти на този експеримент, локализацията на фотона на микрониво е върху електрон от структурата (атом, твърдо тяло), с която фотонът взаимодейства. Изследвания базирани на най-съвременни технологии показват, че локализираност от порядъка на десетки или дори няколко μm , не може да се разглежда като окончателно доказателство за корпускулярност. Така например, вълнови свойства могат да бъдат визуализирани при свръхкъси лазерни импулси с продължителност 2-3 осцилации на носещата честота. Това означава временна продължителност от порядъка на 5-7 fs, съответстваща на пространствена протяжност (надлъжна локализираност) от порядъка на 1.5 – 2.5 μm [12]. Ето защо, фотоефектът може да се счита за по-надежден показател за корпускулярност в сравнение с този базиран на локализираност на фотона в рамките на определени структурни размери.

(б) Демонстрира ли интерференцията проява на вълнови свойства ?

Във физиката е прието, че интерференцията заедно с дифракцията са най-надеждните доказателства за проява на вълнови свойства. Наскоро беше показано, обаче, че интерференцията формално може да се обясни без прибегване до вълнови свойства, а на базата на допускането за съществуване на определени пространствени корелации водещи до специфично разпределение на частиците в пространството, което съответства на това при интерференция [13]. Този интригуващ резултат позволява практически да се елиминира проблема с трудния за разбиране корпускулярно-вълнов дуализъм. Това, за сега, е единично мнение и, което е по-важно, не дава обяснение за природата на тези пространствени корелации, нито доказателство за тяхното реално

съществуване. Ето защо, можем да приемем, че досега няма наложило се мнение, което да отхвърля интерференцията (и дифракцията) като критерий за вълнови свойства. На тази база може да се приеме, че *представеният експеримент демонстрира вълнови свойства на светлината върху диодната матрица*.

От казано до тук може да се направи следния извод: *наблюдавани са едновременно корпускулярни и вълнови свойства в една и съща пространствена област в единичен експеримент*. Представената реализация на опита на Юнг и предложената интерпретация базирана на широко приети концепции като разбирането, че фотоефектът е корпускулярен процес а интерференцията е вълнов процес, без да противоречи на СДЕГ, не се съгласува с приетата формулировка на принципа на допълнителност. Това повдига въпроса дали принципът на допълнителност в неговата обща формулировка, въпреки множеството частни потвърждения, може да се приеме за общ физичен закон.

4. Заключение

Представен и анализиран е експеримент, при който, без да се нарушава съотношението за дуалност на Енглерт-Гринбергер, са демонстрирани едновременно корпускулярни и вълнови свойства в една и съща пространствена област. Едни и същи фотони участват едновременно в корпускулярно и вълново явление. Това представлява предизвикателство към принципа на допълнителност на Бор в неговата обща формулировка.

Благодарности: Изказвам благодарност на Михаил Михалев за софтуерната и хардуерна инсталация на използваната диодна матрица и на департамента по приложна физика за предоставяне на диодната матрица.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. S. Eibenberger, S. Gerlich, M. Arndt, M. Mayor, J. Tüxen, "Matter-wave interference of particles selected from a molecular library with masses exceeding 10 000 amu", Phys. Chem. Chem. Phys., **15**, 14696 (2013).
- [2]. N. Bohr, "The quantum postulate and the recent development of atomic theory", Nature, **121**, 580 (1928).
- [3]. H. Rauch, and J. Summhammer, "Static versus time-dependent absorption in neutron interferometry", Phys. Lett. A, **104**, 44 (1984).
- [4]. P. Mittelstaedt, A. Prieur, and R. Schieder, "Unsharp particle-wave duality in a photon split-beam experiment", Found. Phys. **17**, 891 (1987).
- [5]. S. Dürr, T. Nonn, G. Rempe, "Origin of quantum-mechanical complementarity probed by a 'which-way' experiment in an atom interferometer", Nature, **395**, 33 (1998).

- [6]. D. M. Greenberger, A. Yasin, "Simultaneous wave and particle knowledge in a neutron interferometer", Phys. Lett. A, **128**, 391 (1988).
- [7]. B.-G. Englert, "*Fringe Visibility and Which-Way Information: An Inequality*", Phys. Rev. Lett., **77**, 2154 (1996).
- [8]. S. Afshar "Violation of the principle of complementarity, and its implications", Pros. SPIE **5866**, 229 (2005).
- [9]. S. S. Afshar, E. Flores, K. F. McDonald, E. Knoesel "Paradox in wave-particle duality", Found. Phys., **37**, 295 (2007).
- [10]. W. E. Lamb and M. O. Scully, "The photoelectric effect without photons" in Polarisation Matiere et Rayonnement, ed. A. Kastler (Paris : Presses Universitaires de France, 1969) 363.
- [11]. H. J. Kimble, M. Dagenais, L. Mandel, "Photon Anti-bunching in Resonance Fluorescence", Phys. Rev. Lett., **39**, 691 (1977).
- [12]. Attosecond Control and Measurement: Lightwave Electronics, E. Goulielmakis, V. S. Yakovlev, A. L. Cavalieri, M. Uiberacker, V. Pervak, A. Apolonski, R. Kienberger, U. Kleineberg, F. Krausz, Science, **317**, 769 (2007).
- [13]. R. Castañeda, G. Matteucci, R. Capelli, "Quantum Interference without Wave-Particle Duality", J. Mod. Phys., **7**, 375 (2016)

ИЗМЕРВАНЕ НА НЕЛИНЕЙНИЯ КОЕФИЦИЕНТ НА ПРЕЧУПВАНЕ n_2 И КОЕФИЦИЕНТА НА МНОГОФОТОННО ПОГЛЪЩАНЕ β

д-р Тодор Стефанов Петров

Лаборатория Лазери с Метални Пари, Институт по Физика на Твърдото Тяло – БАН,
бул Цариградско шосе 72, 1784 София, e-mail: petrovts@gmail.com

Резюме. Представена е нова оптична схема на популярният z-скан метод използван за определяне на нелинейните параметри на оптични среди. Предимството на подхода е преодоляването на негативният ефект от дифракцията, характерна за класическите оптични схеми.

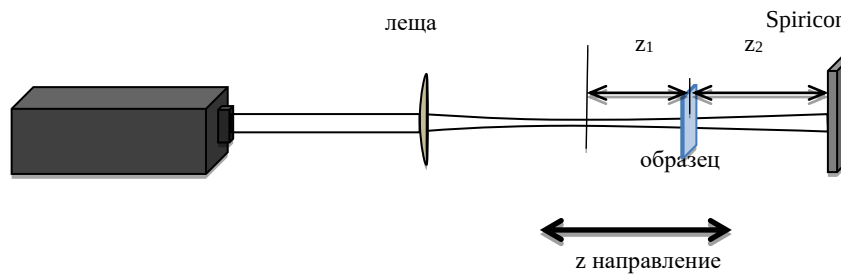
Ключови думи: нелинейна оптика, нови оптични среди.

1. Увод

Последните 20 години z-scan метода е широко използван за определяне на нелинейния коефициент на пречупване n_2 и коефициента на многофотонно поглъщане β [1-4]. Главната идея е да бъде използвано изменението на пространственото разпределение на гаусовият профил на лазерният лъч вследствие нелинейния процес на самофокусировка и дефокусировка, както и процеса на многофотонно поглъщане. Методиката, която ние предлагаме се различава от използваните до момента. Класическата схема, използва диафрагма или диск-екран, разположени пред измерителя на мощност, за да бъде определена частта от преминалия лазерен лъч в зависимост от взаимодействието му с охарактеризираната среда. При този експеримент винаги съществува дифракция, която е допълнителен ефект не винаги отчитан от моделите. В предложената от нас методика за определяне на нелинейния коефициент на пречупване n_2 , се наблюдава изменението на профил на целият преминал лъч и се изчислява мощността само на част ограничена от виртуална диафрагма. За случая на коефициента на многофотонно поглъщане β се изчислява мощността на целият преминал сигнал. За определяне на β методиката на екрана или диафрагмата работи без ограничение.

2. Експериментална установка

Нелинейните възприемчивост на новосинтезираните стъкловидни матрица бе осъществено посредством модифициран z-scan метод, разработен за нуждите на проекта. Експерименталната установка е представена на фиг. 1. Фемтосекунден лазер - Fianium HE1060-2uJ-fs е използван. Продължителността



**Фиг. 1. Модифициран z-scan метод -
експериментална установка**

на лазерният импулс е 350 fs и дължина на вълната $\lambda = 1060$ nm. Честотата на повторение на генерацията е 0.2 или 0.5 MHz и максимална импулсна енергия 2,25 μ J. По време на експериментите бе използвана енергия в зависимост от материалите, които бяха изследвани. Профилът на лъчението от лазера е много близко до Гаусовото, с фактор $M^2 = 1.16$. Лазерното лъчение се фокусира с леща с фокусно разстояние 10 cm. Изменението на профила на лъча преминавал през изследвания образец се наблюдава посредством профилометър на лъча - Spiricon BGS-USB-SP620.

3. Теоретичен подход за използвания в експериментите z-scan метод

Електромагнитното поле на лазерен лъч с Гаусово разпределение може да се представи по следния начин:

$$E_s(z, r) = E_0 \frac{\rho_0}{\rho(z)} \exp\left(-\frac{\alpha L}{2}\right) \exp\left[-\frac{r^2}{\rho(z)^2} - i \frac{kr^2}{2R(z)} - ikz\right] \exp\left[-i\Delta\phi_0 \exp\left(\frac{2r^2}{\rho(z)^2}\right)\right] \quad (1)$$

където ρ_0 е радиуса на лъча в шийката, $\rho(z)$ - радиуса за координата z (фиг. 1a), z се отчита спрямо позицията на шийката, $0 < r \leq \rho(z)$, k е вълновото число и $\Delta\phi_0$ - фазовото отместване следствие на нелинейни процеси, L е дебелината на средата и α е коефициента на еднофотонно поглъщане. Уравненията, описващи фазовото изменение вследствие нелинейният коефициент на пречупване са:

$$\begin{aligned} \frac{d(\Delta\phi_0)}{dz} &= \Delta n(I)k \\ \frac{dI}{dz} &= -\alpha(I)I \end{aligned} \quad (2)$$

където Δn е изменението на коефициента на пречупване $n = n_0 + n_2 I_0 \exp\left(-\frac{r^2}{\rho_0^2}\right)$ в средата и следователно $\Delta n = n_2 I(z)$. Ако мощността на лазера е P , то интензитетът е $I_0 = \frac{2P}{\pi\rho_0^2}$.

В случая на параболично изменение, следва:

$$n = n_0 + n_2 I_0 \exp\left(-\frac{r^2}{\rho_0^2}\right) \approx n_0 + n_2 I_0 - n_2 I_0 \left(\frac{r^2}{\rho_0^2}\right) = N - K r^2. \quad (3)$$

Следствие самофокусируващата нелинейната среда може да бъде разгледана, като параболична леща с фокусно разстояние:

$$f_{nl} = \frac{1}{2KL} = \frac{\rho_0^2}{2n_2 L I_0}. \quad (4)$$

Ако изследваният образец не е във фокуса то горната формула придобива следния вид:

$$f_{nl} = \frac{\rho_0^2(1+\xi^2)}{\frac{2n_2 L I_0}{1+\xi^2}}, \quad (5)$$

където $\xi = z/z_0$, z_0 е Релеевската дължина.

Изменението на гаусовия сноп при разпространението му през оптични системи може да бъде описан от комплексния параметър q (complex radius of phase) $\frac{1}{q} = \frac{1}{R} + i \frac{\lambda}{\pi \rho_0^2}$, и матрична оптика. Тук R е реалния радиус на кривата на

фазовият фронт. В шийката $R \rightarrow \infty$ и $q_0 = -i \frac{\pi \rho_0^2}{\lambda}$, $z_0 = \frac{\pi \rho_0^2}{\lambda}$. Смисъла на $\pi \rho^2$ е

напречно сечение на лъча S , тогава $S(\xi) = S_0(1 + \xi^2)$. Ако означим матрицата

на разпространение през оптичната система с $M = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}$, то тогава следвайки

$ABCD$ закона получаваме: $q_{out} = \frac{Aq_{in} + B}{Cq_{in} + D}$. За нашият случай матрицата ще се

описва от три отделни параметъра, свободното пространство между положението на шийката и образца (z_1), образца разгледан като леща с фокусно разстояние f_{nl} , и свободното пространство между образца и Spiricon профилометъра (z_2). Матрицата е

$$M(z_1, f_{nl}, z_2) = \begin{pmatrix} 1 - z_2/f_{nl} & d - z_1 z_2/f_{nl} \\ -1/f_{nl} & 1 - z_1/f_{nl} \end{pmatrix}, \quad (6)$$

където $d = z_1 + z_2$ и $d_n = d/z_0$. Може да запишем $q_{in} = -i z_{01}$ и

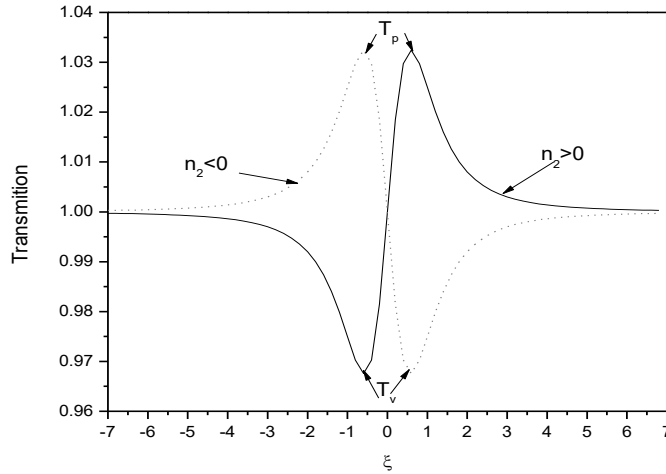
$\frac{1}{q_{out}} = \frac{1}{R_{out}} - i \frac{\lambda}{\pi S_{out}}$ и следователно $S_{out} = S_0 \left(\frac{B^2}{z_{01}^2} + A^2 \right)$. Имайки предвид $d \gg z_{01}$ и $d \gg z_1$, получаваме

$$S_{out} = S_0 d_n^2 \left(1 - \frac{\xi z_{01}}{f_{nl}} \right)^2 \approx S_0 d_n^2 \left(1 - 2 \frac{\xi z_{01}}{f_{nl}} \right) = S_0 d_n^2 \left(1 - \frac{4n_2 I_0 \xi}{\lambda(1+\xi^2)^2} L \right) \quad (7)$$

Интензитетът на лазерният лъч I е пропорционален на S^{-1} така че функцията на пропускане ще е:

$$\frac{T(\xi)}{T(\xi \rightarrow \infty)} = 1 + \frac{4n_2 I_0 \xi}{\lambda(1 + \xi^2)^2} L \quad (8)$$

Типичната форма на кривата описана от горната формула е показан на фиг. 2. От съотношението минимум до максимум (“peak to valley”) ΔT_{p-v} , се определя n_2 :



Фиг. 2. Теоритична крива за формулата (8)

$$n_2 = \frac{\lambda \Delta T_{p-v} \pi \rho_0^2}{4L \cdot 2P} \quad (9)$$

При определяне коефициента за многофотонно поглъщане β се използва метода на отворената диафрагма (“open diaphragm”) и приближението на “бавно променящата се амплитуда” $I(L) = \frac{I_0}{1 + \beta I_0 L}$. Когато нелинейният образец се намира извън шийката за интензитета имаме:

$$I(r, \xi, L) = \frac{I(r, \xi)}{1 + \beta I(r, \xi) L} \approx I(r, \xi) [1 - \beta I(r, \xi) L] = I(r, \xi) - \beta [I(r, \xi)]^2 L \quad (10)$$

Имайки предвид, че $\beta I(r, \xi) L \ll 1$ получаваме

$$P_\beta(\xi) = P - \frac{\beta L P^2}{\pi \rho_0 (1 + \xi^2)}, \quad (11)$$

и следователно за пропускането

$$T_\beta(\xi) = \frac{P_\beta(\xi)}{P} = 1 - \frac{\beta I_0 L}{2(1 + \xi^2)}. \quad (12)$$

Лесно е да бъде измерен $T_\beta(\xi)$ за $\xi = 0$ и за $\xi = 10$ и да се определи ΔT . Тогава за многофотонно поглъщане β се получава:

$$\beta = \frac{2\pi \Delta T \rho_0^2}{2PL} \quad (13)$$

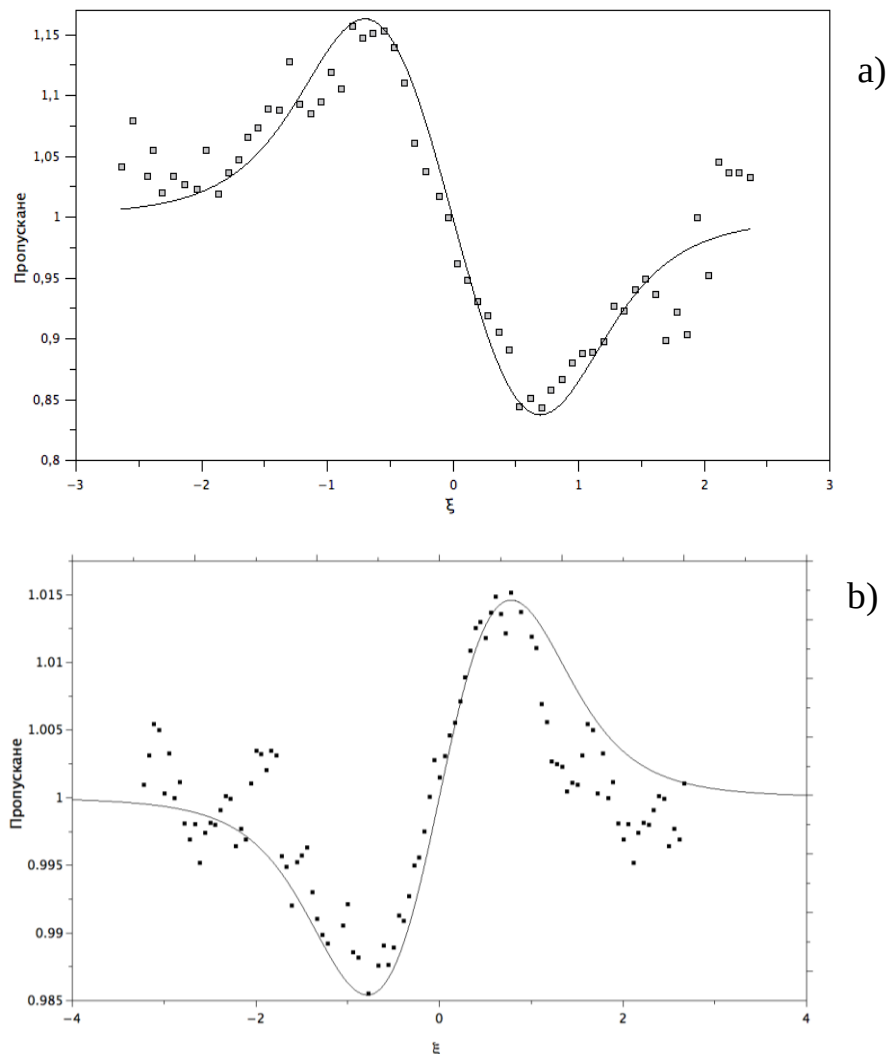
4. Резултати, получени от предложеният z-scan метод

Таблица 1.

материал	литер. данни $n_2 [m^2/W]$	измерени $n_2 [m^2/W]$
топен кварц	$3,5 \times 10^{-20}$ [5]	$2,6 \times 10^{-20}$
BaF ₂	$1,4 \times 10^{-20}$ [6]	$0,94 \times 10^{-20}$

Посредством представената от нас методика бяха направени “калибровъчни” измервания за коефициента на нелинейно пречупване n_2 на материали, за които е известен n_2 от литературата. Използвани са топен кварц и бариев флуорит. Данните са представени в Таблица 1.

Резултатите от таблицата показват добро съвпадение с данните от литературата. Графиката получена от формула (8) минава много добре през експерименталните точки - фиг. 3.



Фиг. 3 Кривата получена по формула (8) за калибровъчните образци,

- a) пропускането на 1 mm топен кварц,
b) пропускането на 1 mm BF₂

Следователно разработената от нас схема за определяне на n_2 е достатъчно точна и опростена, като се избягват проблемите с дифракцията.

5. Заключение

В заключение трябва да подчертаем, че е разработен нов подход на широко използвания z-scan метод за определяне на нелинейният коефициент на пречупване. Посредством него се избягва влиянието на дифракцията върху наблюдаваните резултати. Методът е валидиран, като бяха определени нелинейните коефициенти на пречупване и многофотонно поглъщане за оптични среди с добре известни параметри.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] M. Sheik-Bahae, A.A. Said, et al., IEEE J. Quantum Electron. 26(1990), 760.
- [2] M. Sheik-Bahae, A.A. Said, E.W. Van Stryland: Opt. Lett. 14(1989), 955.
- [3] G. Tsigaridas , M. Fakis, I. Polyzos et al., Appl. Phys. B 77(2003), 71.
- [4] L. Pálfalvi, · B.C. Tóth , · G. Almási ·et al., Appl Phys B, doi: 10.1007/s00340-009-3656-z
- [5] S. Courisa, M. Renarda, O. Fauchera, et al., Chemical Physics Letters 369 (2003), 318.
- [6] R. DeSalvo, Ali Said, D. Hagan et al., IEEE J. Quantum Electron. 32 (1996), 1324.
- [7] R. H. Stolen and H. W K. Tom, Opt. Lett. 12 (1987), 587
- [8] U. Osterberg and W Margulis, Opt. Lett. 11 (1986), 516.

ОТНОСНО ВОЛТ-АМПЕРНАТА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ФОТОДИОД

Димитър Г. Стоянов

ИПФ-Сливен на ТУ-София

Резюме: В работата теоретично се изследват волт-амперните характеристики на фотодиод. Предполага се наличие на нова компонента на тока, генериран при осветяване. Получена е в аналитичен вид волт-амперната характеристика на фотодиода при осветяване с отчитане на новата компонента.

Ключови думи: фотодиод, волт-амперна характеристика

1. Увод

Развитието на земната цивилизация върви по пътя на постоянно увеличение на обема на използваната енергия, но стандартните енергоресурси постепенно се изчерпват. През последните 20-30 години изходът се търси във „възобновяемите източници" [1]. Най-развиващата се напоследък насока е по използването на слънчевата енергия. Голяма част от усилията са насочени към развитието на преобразувателите на слънчевата енергия в електрическа, наречени photovoltaic [1]. Дейността е насочена най-вече към разработване на технологии за нови и по-евтини материали за преобразувателите и акумулаторите.

Цел на настоящата работа е преглед на теоретичния извод на аналитичния вид волт-амперните характеристики на фотодиод.

2. Волт-амперна характеристика на фотодиод

2.1 P-N преход [2]

P-N преходът представлява тясна област, която възниква на граничната повърхност при контакт на два полупроводника с различна примесна (p- и n-) проводимост. Механизмът на формиране на потенциалната бариера (спиращ слой в прехода) включва дифузно преместване на дупки от p- в n- слоеве и на електрони от n- в p- слоеве и рекомбинация между електрони и дупки в обема, в резултат на което акцепторните и донорните атоми на границата на различните области не са неутрални, а представляват обемни заряди с противоположни знаци, създаващи електрическо поле E_0 , насочено от n-областта към p-областта. В резултат между двата материала възниква енергетична разлика (виж фиг.1) $W_0 = q \cdot U_0$.

При свързване на прехода към външен източник на напрежение U през него протича ток. При включване в права посока, двете полета - външното E и вътрешното E_0 са разнопосочни, което води до намаляване на енергетичната

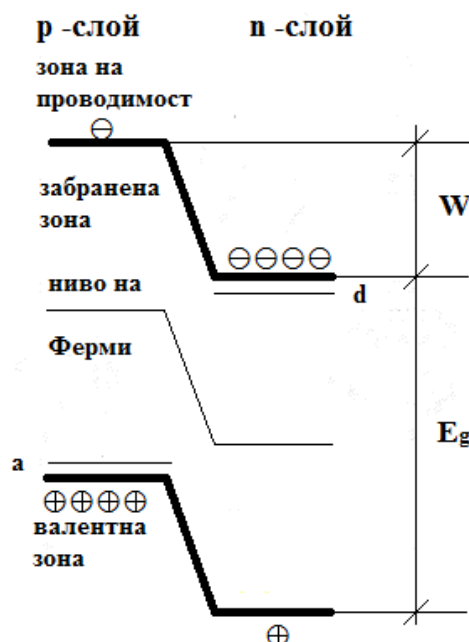
разлика на прехода (потенциалната бариера е $W = W_0 - q \cdot U$). Ако преходът се свърже обратно към външен източник на напрежение, то двете полета E и E_0 са съпосочни, което води до увеличаване ширината на прехода на потенциалната бариера, а следователно и до увеличаване на съпротивлението му.

През р-п прехода протичат два противоположни по посока тока с големина [2]

$$I_{T+} = I_{0Tn} \cdot e^{-q(U_0 - U)/kT} \quad (1)$$

$$I_{T-} = I_{0Tp} \quad (2)$$

Където: I_{0Tp} и I_{0Tn} са константи, характеризиращи плътностите на тока, генерирани в двете области в резултат на **термичното възбуждане** на полупроводника; q е големината на заряда на електрона, k - константа на Болцман и T е температурата на материала в Келвин.



Фиг. 1. Схема на енергетичната структура на р-п преход

Резултантният ток през р-п прехода, като функция от приложеното напрежение се получава като сума на (1) и (2) [2]

$$I_T(U) = I_{0T} \cdot (e^{qU/kT} - 1) \quad (3)$$

където

$$I_{0T} = I_{0Tp} = I_{0Tn} \cdot e^{-qU_0/kT} \quad (4)$$

Както се вижда от (3), при нулево външно напрежение токът през р-п прехода е нулев - следствие от изпълнението на локално термодинамично равновесие.

2.2 Осветяване на р-п преход

Ако полупроводникова пластинка със създаден в нея Р-Н преход се освети с лъчист поток Φ , чиито фотони имат енергия по-голяма от енергията на

забранената зона на полупроводника ($h\nu > E_g$), то на изводите от Р и N областите ще се получи фотоелектродвижеща сила. Основните причини за появата на фотоелектродвижещото напрежение са: фотогенерацията на двойката токоносители (електрони и дупки) и разделянето им под действието на вътрешното контактно електрическо поле E_0 на прехода, което ги натрупва в Р и N областите, извън обемния заряд. В N областта се натрупват електрони и тя се зарежда отрицателно, а в Р областта се натрупват дупки и тя се зарежда положително. Движението на токоносители под действието на полето E_0 , обуславя електрически ток I_E , който се нарича **фототок** [2].

Тук ще предположим, че фотогенерацията се осъществява и в двата Р- и N-слоя на РN-прехода с характерни максимални токове I_{0Ep} и I_{0En} съответно в Р- и N- слоевете, пропорционални на лъчист поток Φ . Коефициентите на пропорционалност зависят от оптичните свойства и габаритните размери на материалите.

$$I_{0Ep} = a_p \cdot \Phi \quad (5)$$

$$I_{0En} = a_n \cdot \Phi \quad (6)$$

Токоносителите, генерирани от светлината ще предизвикат протичане на два противоположни по посока токове през р-п прехода, аналогични на (1) и (2)

$$I_{E+} = I_{0En} \cdot e^{-q(U_0 - U)/kT} \quad (7)$$

$$I_{E-} = I_{0Ep} \quad (8)$$

Резултантният фототок през р-п прехода, като функция от приложеното напрежение се получава като сума на (7) и (8)

$$I_E(U) = I_{0E} \cdot \left[\frac{a_n}{a_p} \cdot \exp\left(-\frac{q \cdot (U_0 - U)}{k \cdot T}\right) - 1 \right], \quad (9)$$

където

$$I_{0E} = I_{0Ep} \cdot \quad (10)$$

След като направим субституцията

$$U_* = U_0 - kT \cdot \ln\left(\frac{a_n}{a_p}\right), \quad (11)$$

можем да получим

$$I_E(U) = I_{E0} \cdot \left[\exp\left(\frac{q \cdot (U - U_*)}{kT}\right) - 1 \right]. \quad (12)$$

2.3 Фотодиод

При поставяне под външно напрежение U , токът I във веригата извън Р-N прехода е сума от тока (3) на диода I_T (тъмновият ток на диода) и фототокът I_E (12):

$$I(U) = I_T(U) + I_E(U) \quad (13)$$

$$I(U) = I_{T0} \cdot \left[\exp\left(\frac{q \cdot U}{kT}\right) - 1 \right] + I_{E0} \cdot \left[\exp\left(\frac{q \cdot (U - U_*)}{kT}\right) - 1 \right] \quad (14)$$

Така е получено обобщение на формулата за волт-амперната характеристика на фотодиод. Всички константи в това уравнение са положителни величини.

3. Анализ на полученият резултат

Волт-амперната характеристика на фотодиода представлява фамилия от криви с параметър светлинния поток върху фотодиода, изразени чрез (5) и (6).

3.1 При липса на генерация в п-слоя

В случай, когато няма генерация на фотоелектрони в п-слоя - в (6) $a_n=0$, уравнение (14) добива вида

$$I(U) = I_{T0} \cdot \left[\exp\left(\frac{q \cdot U}{kT}\right) - 1 \right] - I_{E0}. \quad (15)$$

Това е традиционната форма [1, 2] на аналитичната формула на волт-амперната характеристика на фотодиод. Зависимостта (15) с моделни константи е представена като илюстрация на фиг. 2.

При липса на осветяване на фотодиода ($\Phi = 0$), той се “държи” като обикновен диод. При осветяване на прехода се генерира фототок, който е толкова по-силен, колкото по-голям е осветяващият поток (5).

Отделните криви, съответстващи на различното осветяване са успоредни помежду си.

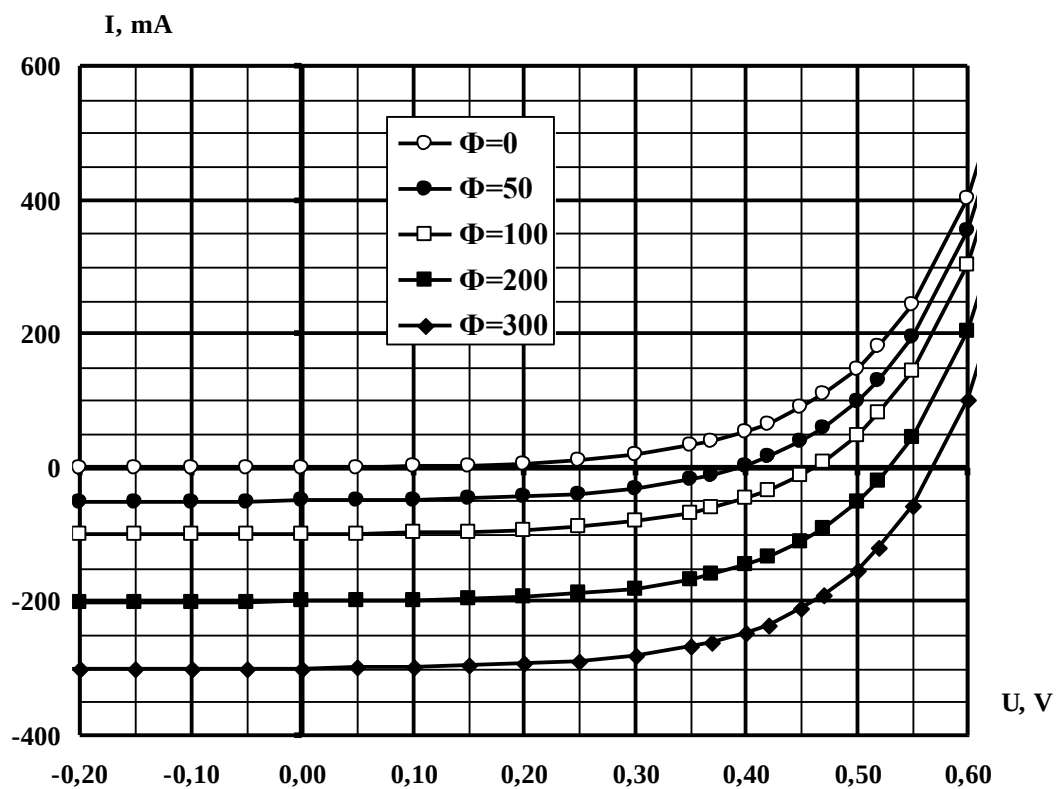
3.2 При наличие на генерация в п-слоя

В случай, когато има генерация на фотоелектрони и в п-слоя уравнение (14) запазва вида си. Зависимостта (14) с моделни константи е представена като илюстрация на фиг. 3.

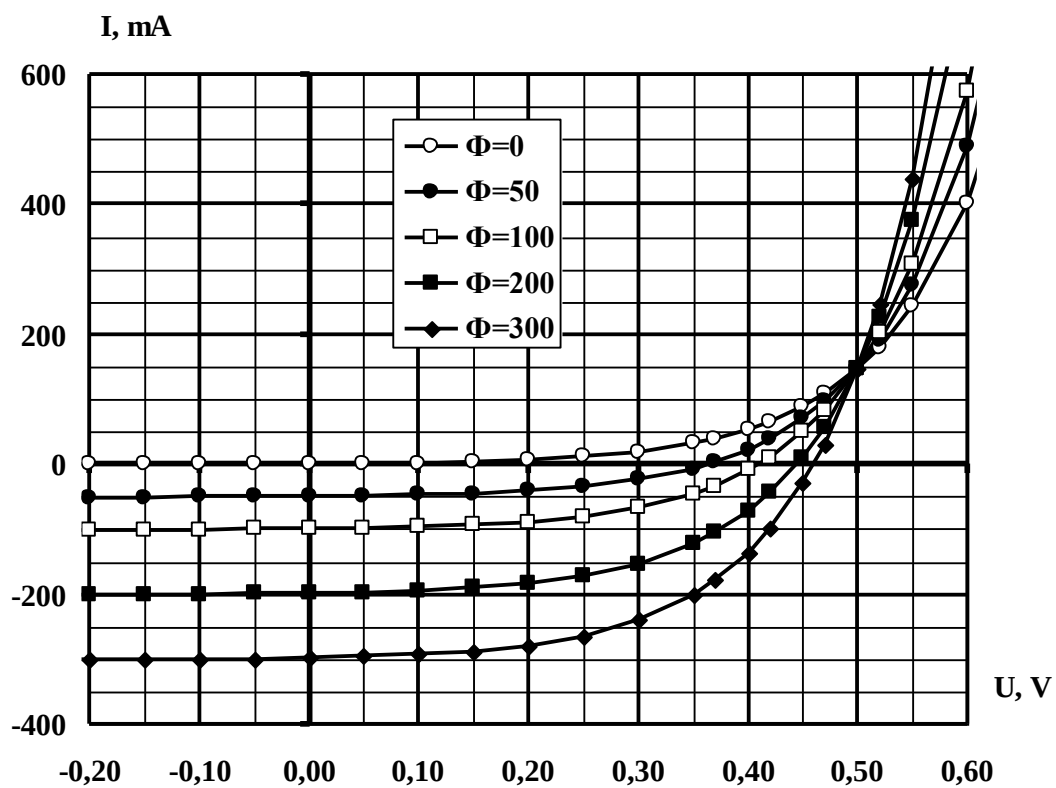
При липса на осветяване на фотодиода ($\Phi = 0$), също се “държи” като обикновен диод. При $U = U_*$, независимо от големината на лъчистия поток Φ , фототокът (12) през фотодиода се нулира и през фотодиода ще протича само “тъмновия ток на диода”

$$I_* = I(U_*) = I_{T0} \cdot \left[\exp\left(\frac{q \cdot U_*}{kT}\right) - 1 \right] \quad (16)$$

Това означава, че отделните криви (виж фиг. 3.), съответстващи на волт-амперната характеристика с различно осветяване ще се пресичат в точка (U_*, I_*) . Тази точка можем да наречем „точка на пресичане”.

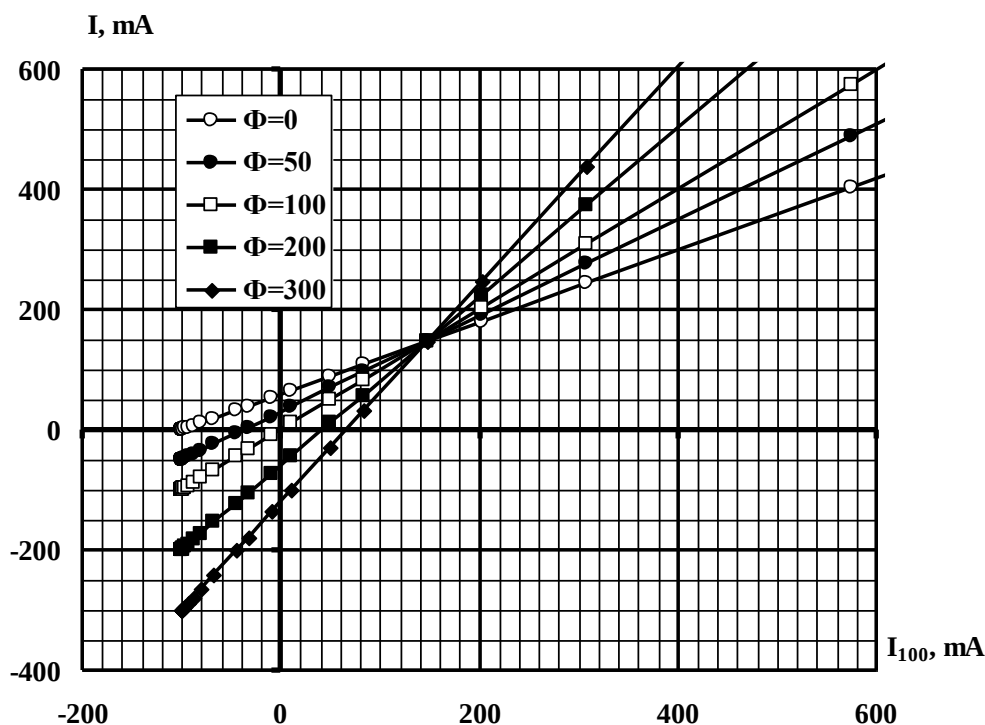


Фиг. 2. Теоретична волт-амперна характеристика на фотодиод при липса на генерация в p-слоя



Фиг. 3. Теоретична волт-амперна характеристика на фотодиод при наличие на генерация в p-слоя

Още по-добре пресичането се илюстрира и в представянето на $I(\Phi, U)$ като функция на $I(\Phi = 100, U)$, показано на фиг. 4. Теоретичните зависимости дават ветрило от прави линии, пресичащи се в една точка. Ако се направи същото представяне на точките от фиг. 2, ще получим успоредни прави линии.



Фиг. 4. Ветрило от пресичащи се прави линии

4. Заключение

В работата е разгледана ситуация, когато генерация на фотоелектрони се извършва в р- и п- слоевете на фотодиод. Получен е аналитичния вид на волт-амперните характеристики на фотодиода за различни осветявания.

Посочена е възможността при определена стойност на напрежението U^* фототокът да се нулира, независимо от големината на осветяването. Наблюдава се пресичане на кривите, съответстващи на различно осветяване в една точка при напрежение U^* на „полюса“.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Неделчева, Ст. *Нетрадиционни и възстановими енергийни източници в електроенергетиката*. Изд. на Технически университет – София, 2006.
- [2] Спроул Р., *Современная физика*, Серия „Физико-математическая библиотека инженера“, Изд. Наука, Москва, 1974 г.

ОЦЕНКА НА РАДИОЛОГИЧНИЯ РИСК ЗА НАСЕЛЕНИЕТО И ТУРИСТИТЕ В РАЙОНА НА НАЦИОНАЛНИЯ ПАРК ЦЕНТРАЛЕН БАЛКАН, ДЪЛЖАЩ СЕ НА ГАМА ИЗЛЪЧВАЩИ РАДИОНУКЛИДИ

Румен Кобиларов¹, Лъчезар Костов² и Христо Протохристов³

¹ Департамент по приложна физика, Технически университет - София, София 1000, бул. "Кл. Охридски" 8, България, e-mail: rkobi@tu-sofia.bg

² Агенция за ядрено регулиране, бул. "Шипченски проход" 69, София

³ Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика, БАН, София

Abstract. Radiological investigations have been performed in National Park Central Balkan region by means of high-resolution gamma-spectrometry. The activity concentrations of the natural radionuclides ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K , as well as of the fission product ^{137}Cs have been determined. The activity concentrations of ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K vary in the region 31.0-60.3 Bq/kg, 19.7-55.3 Bq/kg and 338.0-661.4 Bq/kg respectively. The activity concentrations of ^{137}Cs vary from 15.0 to 221.6 Bq/kg. Absorbed gamma dose rate at 1 m above ground level due to ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs , the annual outdoor effective dose and external hazard index for population have been estimated to 71.98 nGy/h, 0.088 mSv/y and 0.399 respectively. Contributions of these radionuclides to the absorbed dose rate are calculated as 30.8%, 31.6%, 34.6% and 3% respectively. The calculated values of the parameters defining the radiological risk are comparable to the average for Bulgaria.

Keywords: radioactivity, gamma-spectrometry, activity concentration, absorbed doses, annual effective dose, external hazard index.

Резюме. Извършени са радиологични изследвания в района на Националния парк Централен Балкан посредством гама-спектрометрия с висока разрешаваща способност. Определени са концентрациите на активността на естествените радионуклиди ^{238}U , ^{232}Th и ^{40}K , както и на изкуствено създаденият ^{137}Cs . Концентрациите на активността на ^{238}U , ^{232}Th и ^{40}K се изменят в областта от 31.0-60.3 Bq/kg, 19.7-55.3 Bq/kg and 338.0-661.4 Bq/kg, съответно. Концентрацията на активността на ^{137}Cs се изменя от 15.0 до 221.6 Bq/kg. Мощността на абсорбираната гама доза, годишната външна ефективна доза и индекса на външния риск за местното население са оценени на 71.98 nGy/h, 0.088 mSv/y и 0.399, съответно. Приносът на тези радионуклиди към мощността на абсорбираната доза са 30.8%, 31.6%, 34.6% и 3%, съответно. Изчислените стойности на величините, определящи радиологичния риск са сравними със средните стойности за България.

Ключови думи: радиоактивност, гама-спектрометрия, концентрация на активността, абсорбирана доза, годишна ефективна доза, индекс на външния риск.

1. Увод

Развитието на съвременната индустрия значително увеличава риска от замърсяване на почвите в частност с радионуклиди [1]. Идентификацията и определянето на концентрацията на активността на радиоизотопите е важна задача, защото почвата е част от пътя на радионуклидите към растенията, животните и човека. Измерването на радиоактивността на околната среда се използва също за оценка на радиационните дози към населението и определяне на областите с висока естествена радиация [2], [3].

Целта на настоящата работа е да се оцени радиологичния риск, произтичащ от съдържанието в почвата на естествените радионуклиди ^{238}U , ^{232}Th и ^{40}K , както и изкуствено създадения ^{137}Cs , за местното население и туристите в района на Националния парк Централен Балкан.

2. Събиране на почвените проби

Общо 19 почвени проби са събрани от равна и неповлияна от човешка дейност повърхност на почвата. Пробите имат формата на куб със страни $0.25\text{ m} \times 0.25\text{ m}$ и дълбочина 0.1 m . Пробите са взети приблизително по меридиана $24^{\circ} 58' \text{ E}$ през интервали от 60 m надморска височина. За да може да се оцени радиологичния риск за населението, няколко почвени проби са взети от места, използвани от къмпингуващи туристи, както и от често посещавани от местните жители обекти.

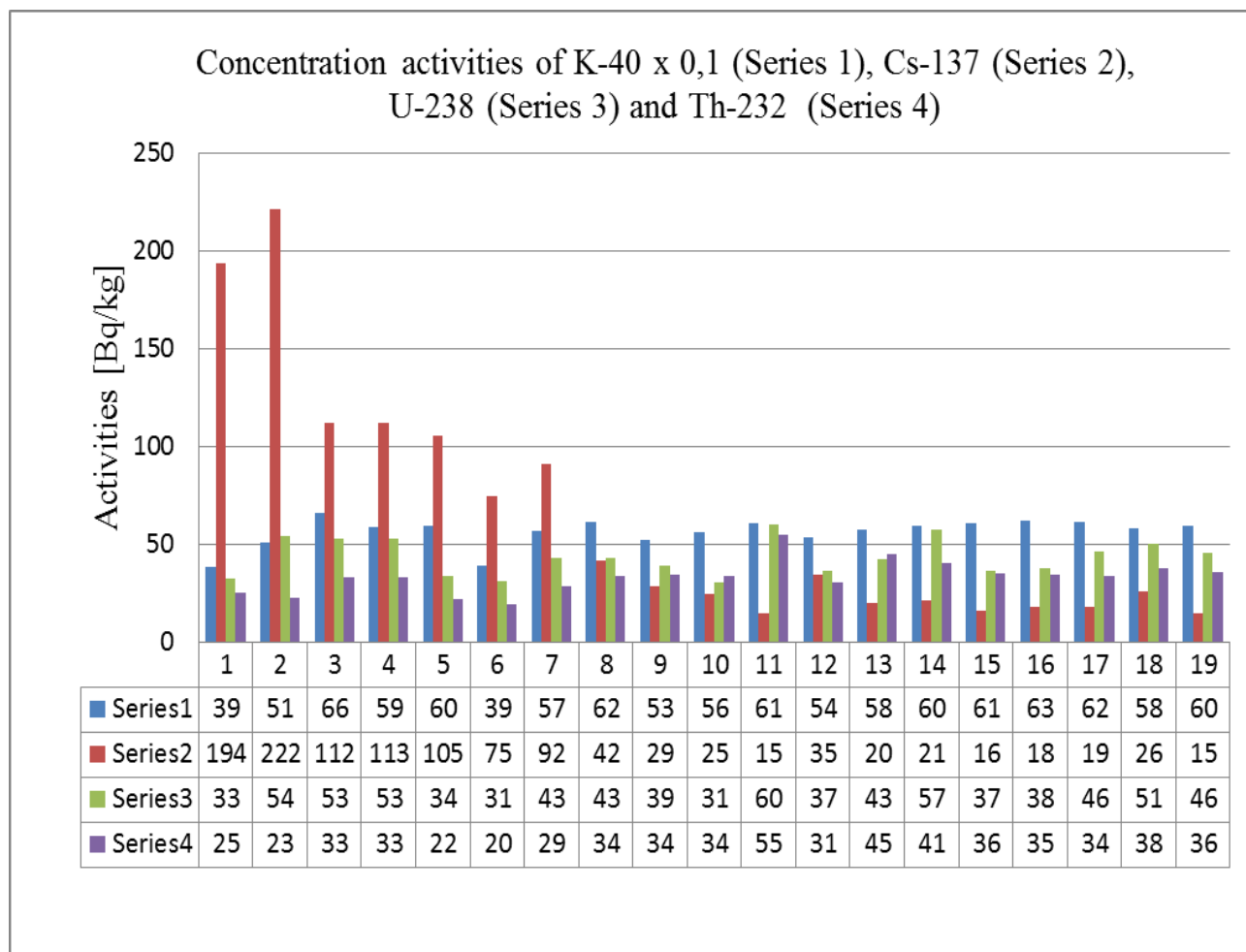
3. Измервателна система

Гама спектрометричните измервания са извършени с Canberra Packard гама спектрометър с HPGe детектор. HPGe детекторът има ефективност 25% и разделителна способност по енергии 1.9 keV за 1.33 MeV гама прехода от ^{60}Co и 1.1 keV за 122 keV гама прехода от ^{57}Co . Непосредствено преди измерването на активността на почвените проби е измерен фоновия гама спектър, който след това се изважда за да се получи чистата активност за всяка проба.

Концентрацията на активността на ^{40}K е оценена от площта на 1460.8 keV гама пика. Концентрацията на активността на ^{232}Th е изчислена чрез използване на пиковите на 338.3 keV (^{228}Ac) и 911.2 keV (^{228}Ac). Концентрацията на активността на ^{238}U е изчислена от пика 1001.03 ($^{234\text{m}}\text{Pa}$). Концентрацията на активността на ^{137}Cs е определена от гама пика 661.66 keV .

4. Опитни данни и резултати

На фиг. 1 са показани концентрациите на активностите на ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K и ^{137}Cs , измерени в Bq/kg . Показаната на фигурата активност на ^{40}K е умножена по 0.1 за по-добро форматиране на стълбовете.



Фиг. 1. Концентрациите на активностите на ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K и ^{137}Cs , измерени в Bq/kg.

Мощността на външната гама доза на височина 1m над земната повърхност (D_R (nGy.h⁻¹)) е изчислена от измерените концентрации на активностите на ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K и ^{137}Cs съгласно уравнението

$$D_R = 0.0417A_K + 0.463A_U + 0.604A_{Th} + 0.156A_{Cs} \quad (1)$$

където A_K , A_U , A_{Th} и A_{Cs} са концентрациите на активностите в Bq/kg на ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th и ^{137}Cs , съответно [4].

Изчислените мощности на външната гама доза след това са преобразувани в годишна външна ефективна доза (H_R), чрез използване на уравнението

$$H_R = D_R \times N_h \times 0.7 \times C \times 10^{-6} \quad (2)$$

където D_R е мощността на външната гама доза (nGy.h⁻¹), N_h (= 8766 h) е броят на часовете в една година, 0,7 Sv/Gy е конверсионен множител, който преобразува мощността на абсорбираната доза (nGy.h⁻¹) в ефективна доза (mSv/year) and C е коефициент, отчитащ времето прекарвано от населението на открито.

Друга оценка за ефекта от радиоактивността на естествените радионуклиди върху здравето на населението се дава от индекса на външния риск (H_{ex}) [5].

Този индекс дава полезна информация за регулиране на стандартите за безопасност на населението в радиационната защита. H_{ex} не трябва да превишава 1 за да може радиационния риск да бъде пренебрегнат.

Индексът на външния риск се изчислява от уравнението

$$H_{ex} = \frac{A_U}{370[Bq/kg]} + \frac{A_{Th}}{259[Bq/kg]} + \frac{A_K}{4810[Bq/kg]} \quad (3)$$

Първо е оценен радиационния риск за местното население. За целта са използвани изчислените стойности за концентрациите на активностите на естествените радионуклиди и ^{137}Cs в четири почвени проби (14, 15, 18 и 19) взети в околностите на и в град Калюфер. Изчислените средни стойности на концентрациите на активността на ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th и ^{137}Cs за тези четири точки са $A_K = 597.3 \text{ Bq/kg}$, $A_U = 47.8 \text{ Bq/kg}$, $A_{Th} = 37.7 \text{ Bq/kg}$ и $A_{Cs} = 19.7 \text{ Bq/kg}$, съответно. С тези стойности за мощността на външната гама доза е получена стойност $71,98 \text{ nGy/h}$. Тази стойност е по-голяма от средната стойност за света 58 nGy/h [4], но е сравнима със средната за България - 70 nGy/h [6]. Най-голям принос към мощността на дозата имат ^{40}K - 34.7%, ^{232}Th - 31.6% и ^{238}U - 30.8%. Приносът на ^{137}Cs е около десет пъти по-малък - 3%.

За годишната ефективна доза е изчислена стойност $H_R = 0.088 \text{ mSv/y}$ като за коефициента C сме използвана стойност 0.2, препоръчвана в [4]. Съгласно [7] ниво 1 mSv/y е прието като горна граница за годишната ефективна доза за населението в България. Следователно получената в тази работа стойност е повече от 10 пъти по-малка.

Изчислената стойност за индекса на външния риск е $H_{ex} = 0.399$. Тази стойност също е много по-малка от приетата за гранична стойност - единица.

След това е оценен радиационният риск за туристите, посещаващи Националния парк Централен Балкан. За целта са използвани изчислените стойности за концентрациите на активностите на естествените радионуклиди и ^{137}Cs в шест почвени проби (9, 10, 12, 13, 16 и 17), взети от места, в които туристите къмпингуват и посещават често. Изчислените средни стойности на концентрациите на активността на ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th и ^{137}Cs за тези шест точки са $A_K = 574.3 \text{ Bq/kg}$, $A_U = 38.9 \text{ Bq/kg}$, $A_{Th} = 35.5 \text{ Bq/kg}$ и $A_{Cs} = 24.1 \text{ Bq/kg}$, съответно. С тези стойности за мощността на външната гама доза е изчислена стойност 66.05 nGy/h . Тази стойност е по-голяма от средната стойност за света 58 nGy/h , но е по-малка от средната за България - 70 nGy/h [4] и [6], както и малко по-малка от стойността за населението в град Калюфер. Отново най-голям принос към мощността на дозата имат ^{40}K - 36.2% и ^{232}Th - 32.5%. Приносът на ^{238}U е 27.3%, докато приносът на ^{137}Cs е малко по-голям от този за град Калюфер - 4%. По-високият принос на ^{137}Cs към мощността на дозата за туристите се дължи на по-голямата надморска височина на местата, от които са взети почвените проби, поради право пропорционалната корелация на активността на ^{137}Cs с надморската височина [8].

За туристите е изчислена допълнителната ефективна доза, тъй като те прекарват само определено време в района. От допитване до къмпингуващи туристи е установено, че те остават в Националния парк за от три до седем дни. Следователно във формулата за ефективната доза за N_h е използвана стойност 168 h (пет дни), а за коефициента C , отчитащ времето прекарвано от населението на открито, е използвана стойност 1, тъй като къмпингуващите туристи са на открито през цялото денонощие. В този случай за допълнителната ефективна доза, получавана от туристите за времето на техния престой в района на Националния парк Централен Балкан, изчислената стойност е 0,006 mSv/y.

Изчислената стойност за индекса на външния риск е 0,36. Тази стойност също е по-малка от стойността, изчислена за населението в град Калофер.

Следователно може да се направи извода, че радиационният риск за населението и туристите в района на Националния парк Централен Балкан е сравним и по-малък от този за други райони на България.

ЛИТЕРАТУРА

[1] IAEA (2004) International Atomic Energy Agency, Technical Reports Series No. 415, Vienna.

[2] Iacob, O. (1996) J. Prev. Med. 4, 73-82.

[3] Almayahi, B.A., A. Tajuddin, M. Jaafar (2012) Appl. Radiat. Isot. 70, 2652-2660.

[4] UNSCEAR (2000) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to the General Assembly: Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations, New York.

[5] Beretka, J., P. J. Matthew (1985) Health Physics, 48, 87-95.

[6] Vasilev, G. (2002) Principles and practice of radiation protection. Theta-Consult, Sofia.

[7] Decree of the Council of Ministers No.200 (4 August 2004) In: Governmental gazette No.74, 2004, Sofia, Bulgaria.

[8] Kostov, L., R. G. Kobilarov, Ch. Protochristov (2016), Concentrations of ^{137}Cs and ^{40}K radionuclides in soil samples from National Park Central Balkan, Bulgaria, in press.

СЕИЗМИЧНИ ПРОУЧВАНИЯ В МОРЕТАТА И ОКЕАНИТЕ

Мая Григорова

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

Резюме. Сеизмичните изследвания в нефто-газодобивната промишленост се извършват основно с цел откриване на нови находища на течни и газообразни въглеводородни полезни изкопаеми. Въз основа на това, че образуването на въглеводородни залежи се осъществява при определени условия, процесът на търсене и проучване на такива залежи се основава на предпоставките за образуването им. Поради тази причина областите, в които се провеждат търсецо-проучвателни дейности, се разполагат както на сушата, така и в моретата и океаните. Методът на изследване се състои в изкуствено генериране на сеизмични вълни в земната кора, наблюдение, регистриране, анализ и интерпретация на техните отражения. Сеизмичните проучвания в моретата и океаните се осъществяват посредством специализирани за целта геофизични кораби, снабдени с пневматични оръдия, създаващи акустични импулси, разпространяващи се в средата, а специални сензори регистрират отразените от земните пластове сеизмични вълни.

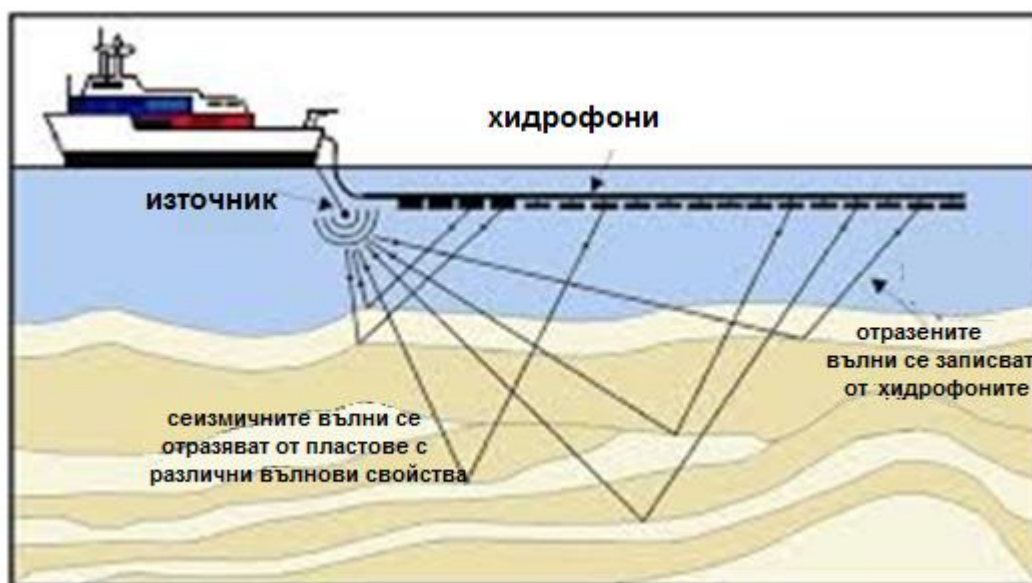
Ключови думи: сеизмични данни, морски изследвания, въглеводороди.

1. Общи сведения за сеизмичните изследвания в моретата и океаните

В сеизмичните изследвания основен обект на изследване се явява вълновата картина, пресъздаваща разпространението на акустичните вълни, създадени по изкуствен път в земните пластове. При извършване на сеизмични изследвания в моретата и океаните източникът на сеизмични вълни е разположен на специално оборудван за целта проучвателен кораб, а сеизмоприемниците са спуснати във водата.

При създаването си във взривният пункт сеизмичните вълни се разпространяват във всички посоки, като част от енергията се отразява на границата на пластове с различни вълнови съпротивления и се връща отново към сеизмичните приемници, където се записва. Така получените данни се обработват със специален софтуер по определена методика и се използват за изясняване на геолого-геофизичната среда в района на изследването. Сеизмичните изследвания както на сушата, така и в моретата се извършват по редица причини. Една част от тях са свързани с решаването на инженерно-геоложки задачи, докато друга част са изцяло насочени към търсенето и проучването на минерални суровини и въглеводородни залежи [1]. На съвременен етап морски сеизмични проучвания се извършват главно за целите

на търсещо-проучвателните работи за нефт и газ, като мащабите на проучванията често са стотици хиляди km^2 .



Фиг. 1. Илюстрация на морско сеизмично проучване

2. Техника на изследванията

Извършването на сеизмични изследвания в моретата и океаните се отличава по някои технически операции от сухоземните сеизмични изследвания, както в процеса на запис на данните, така и в последващата им обработка.

Извършването на морски сеизмични проучвания се осъществява от специално създаден за целта кораб, към който са монтирани източник на акустични вълни и сеизмоприемници (хидрофони). Източникът, използван за създаване на акустичен сигнал, представлява пневматично оръдие или т. нар въздушна пушка ("air gun"). Устройството се състои от камера запълнена с въздух под налягане от порядъка на 14-21 МПа, който се освобождава рязко във водна среда като по този начин се създават акустични вълни в заобикалящото го пространство [2].



Фиг. 2. Източник на акустични вълни в морски сеизмични изследвания: А – мостра; В - в процес на работа

Обикновено пневматичните оръдия са разположени в групи от по няколко единични източника, които действат като един по-голям източник. В едно

изследване обикновено участват между три и шест такива групи от пневматични оръдия, а всяка група се състои средно от около шест до осем оръдия. Така излиза, че в едно сеизмично изследване в морски условия участват средно между 18 и 48 пневматични източника. При такива условия обемът на освободения под налягане въздух е в рамките на 3000 до 8000 in³ (49.2 - 131.6l).

Сеизмичните приемници (хидрофони) представляват чувствителни към налягане устройства, които трансформират акустичния сигнал от отразените вълни в електричен. Впоследствие този сигнал се предава до записваща станция, която го записва в определения формат на запис.

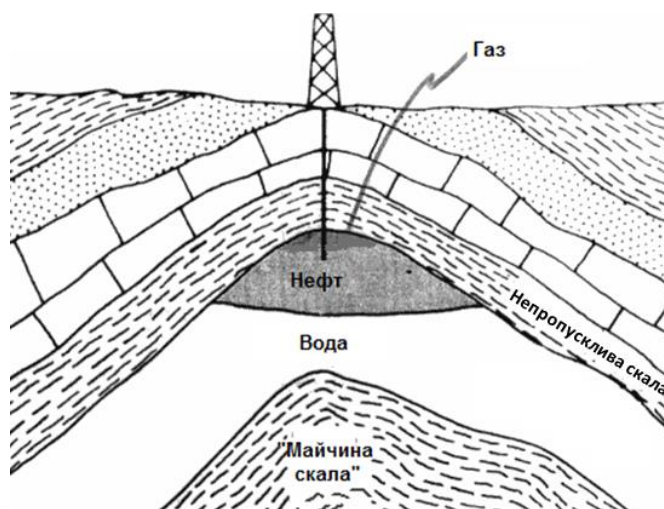


Фиг. 3. *Хидрофони, чувствителни към промени в налягането*

Техниката на изследването се състои в генериране на акустични вълни от прикачените на буксир групи пневматични оръдия и впоследствие запис на отразените от подповърхностните слоеве сеизмични вълни от т. нар хидрофони.

3. Основни предпоставки за търсещо-проучвателни дейности в моретата и океаните

Най-големите залежи на въглеводороди по света обикновено се намират в сложна геоложка обстановка, под дебели седиментни наслаги и често на големи дълбочини. Търсещо-проучвателните дейности за нефт и газ в моретата и океаните се основават на предпоставките за генерирането на въглеводородните залежи. Общото мнение, че петрола е продукт от разлагането на органична материя от ерата на динозаврите и поради това се нарича и “фосилно гориво”, но това е само частично вярно. Теорията, която обяснява възникването му, се свързва с едноклетъчния планктон, натрупан в ранните етапи от историята на Земята и подложен на разлагане в недрата на Земята в продължение на милиони години. В комбинация с известни примеси, тези остатъци с течение на времето са се оказали под големи слоеве седиментни скали, където температурата и налягането са повишени и водят до химически промени в тях. Първоначално се е образувало т. нар вещество "кероген", което присъства в нефтените шисти (т. нар. "майчини скали"), а след това течни и газообразни въглеводороди, т.е. нефт и газ. След формирането на въглеводородите се осъществява процеса на миграцията им през поровото пространство на скалите, в някои случаи на огромни разстояния от месторождението им и дори до земната повърхност. В други случаи миграцията на въглеводородите се осъществява до срещата им с непроницаеви скали където те се натрупват в т. нар „капани“.

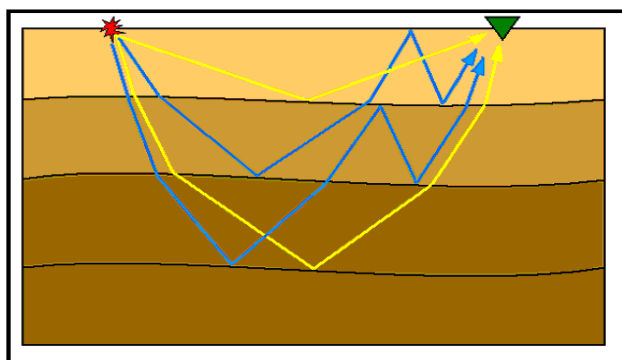


Фиг. 4. Схематична илюстрация на "капан" тип антиклинала за нефт и газ

4. Основни трудности при обработката и интерпретацията на морски сеизмични данни

В практиката съществуват някои съществени различия в обработката на сухоземни и морски сеизмични данни. Едно от тези различия се явява и един от основните проблеми, залегнали в обработката на морски сеизмични данни, а именно появата на т. нар кратни вълни и тяхното последващо потушаване.

В сеизмичните изследвания се счита, че цялата енергия, която се получава като сигнал има само едно отражение от под-повърхностен слой. На практика обаче акустичните вълни могат да се отразят няколко пъти под повърхността, променяйки своята посока на движение, което води до появата на кратните вълни.



Фиг. 5. Реалните отражения имат само едно отражение в посока нагоре (жълтите линии), докато кратните вълни имат поне едно отражение в посока надолу (сините линии)

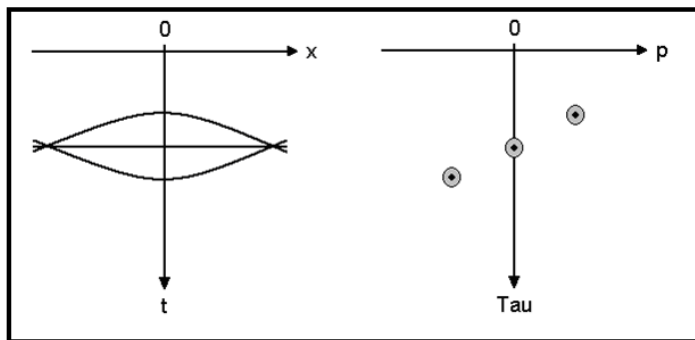
Кратните вълни се считат за шум и по тази причина трябва да бъдат премахнати от сеизмичните данни, за да се избегнат по-нататъшни грешки в обработката и интерпретацията на данните. Това се извършва чрез специални процедури, които са насочени специално към потискането и премахването на

кратни отражения. За успешна филтрация на кратни вълни, особено при редуване на тънки в стратиграфско отношение пластовете, от голямо значение се явява тяхното диференциране от полезния сигнал [3].

Една част от методите за потушаване на кратни вълни се основават на факта, че кратните вълни изминават различен път през под-повърхностната среда и се характеризират с различни скорости на разпространение и различни отразяващи структури.

Потискането на кратните вълни, основано на кинематичната им характеристика, се базира първо на трансформирането на данните в друга област, където кратните и реалните отражения се изобразяват в различни региони. В новата трансформирана област кратната енергия се проектира по своеобразен начин, което на практика позволява да се оценят реалните отражения, които в последния етап на тази процедура се връщат отново във време-пространствената област [4].

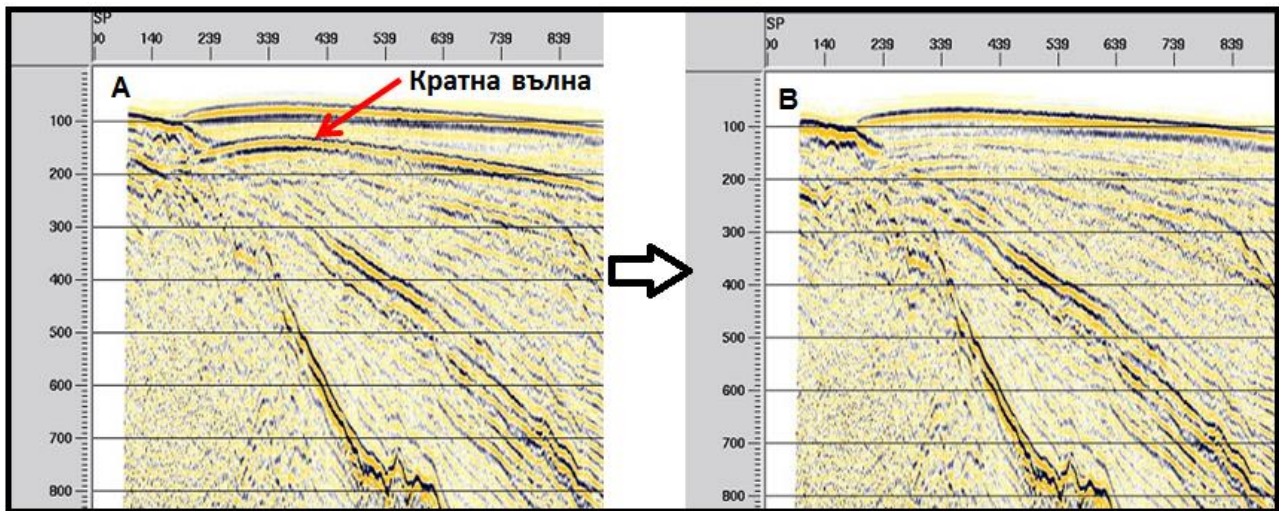
Един от най-често прилаганите в морските сеизмични проучвания методи, основани на разликата в кинематичната характеристика на реалните и кратните отражения, е параболичната Радон трансформация. Допускайки, че след приблизителна кинематична корекция, остатъчната кинематична поправка както на реалните, така и на кратните отражения може да се опише като парабола, Радон трансформацията в τ - p пространството, може да осъществи едно добро разграничение между полезния и кратния сигнал. Параболичната Радон област, на практика е двумерна област, съставена от време на появяване (τ) и остатъчна кинематика (p). В параболичната Радон област, след приложена кинематична поправка, преизправените вълни (хиперболи) се проектират като точки в региона на отрицателните стойности на остатъчната кинематика, недоизправените вълни (параболи) се проектират като точки в региона на положителните стойности на остатъчната кинематика.



Фиг. 6. При проекция в параболичното Радон пространство, преизправените отражения се проектират в отрицателните стойности, недоизправените в положителните стойности, а изправените се проектират върху или в близост до нулата [5].

Ходографите на реалните отразени вълни се проектират като точки върху нулевата стойност на остатъчната кинематика, като по този начин всички останали стойности могат да бъдат нулирани, тъй като се смятат за шум. На

фиг. 7 са показани реални сеизмични данни след сумирането на сеизмограмите, на които много ясно е изразена кратна вълна от дъното. След прилагане на процедурата Радон филтрация кратната вълна е в значителна степен потушена, а реалните отражения явяващи се полезен сигнал са почти изцяло незасегнати от действието на процедурата.



Фиг. 7. Сеизмични данни: *A* - преди прилагане на Радон филтрация за потушаване на кратни вълни; *B* - след прилагане на Радон филтрация за потушаване на кратни вълни

Появата на кратни вълни може да доведе до неясни резултати при интерпретация на получения разрез. В случаите когато кратните отражения не могат да бъдат лесно разпознати по наличие на конфликтни наклони, те могат да бъдат погрешно взети за реални отражения и цялостно да променят интерпретирания разрез. По тази причина качественото подтискане на кратните вълни е от особено значение при обработката на сеизмични данни.

5. Заключение

Сеизмичните проучвания в моретата и океаните се отличават като мащабни, скъпоструващи и трудоемки изследователски дейности. На съвременен етап морските проучвания за нефт и газ в моретата и океаните са авангарден и високотехнологичен подход за придобиване на детайлна геолого-геофизична информация в структурно-тектонско отношение за изследваните площи. Достоверността на получените данни в голяма степен зависи и от качеството на последващата обработка. Много често в данните се съдържат редица пречещи вълни (шум) както и кратни вълни, които в случай че не бъдат разпознати и премахнати от данните могат да доведат до подвеждащи и нереалистични резултати при интерпретацията на разрезите.

Разглеждането на кратните вълни в т-р пространството може да се определи като ефективен инструмент за диференцирането на реални и кратни отражения, а прилагането на процедурата параболична Радон трансформация може да се

разглежда като основен подход за потискане на кратните отражения като по такъв начин води до значително подобряване на разделителната способност на сеизмичните разрези, а оттам и качеството на крайните резултати от обработката на сеизмичните данни.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Gallant, E., Stewart R., Lawton, D., Bertram, M., Rodriguez, C., New technologies in marine seismic surveying: Overview and physical modelling experiments,

[2] Landrø, M , Amundsen, L., Marine Seismic Sources Part I, Vol. 7, No. 1, 2010.

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

[4] Grigorova, M., 2013, Characteristics of multiples in reflection seismic and main approaches for their suppression, Proceedings of XV Balkan Mineral Processing Congress, Vol. 2, Sozopol, Bulgaria, p.1251-1254.

[5] Landmark, 1995, ProMAX Reference Manual, Advanced Geophysical Corporation.

THE STRANGE EARTHQUAKES – POSSIBLE SCIENTIFIC EXPLANATIONS

Boyko Rangelov

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

Resume: DEFINITION about “strange earthquakes”

Earthquakes for which:

- *Their observed effects can not be clearly modeled by recent seismological knowledge and practice or*
- *Show curious peculiarities, which are not common for the dominant number of earthquakes are located in not easy explainable locations or*
- *Generate most extreme and some unusual effects, demonstrated and/or observed for the first time.*

DEFINITION about “strange seismic sources”

Sources which:

- *Generate “strange” earthquakes*
- *Have curious peculiarities which are not common for the world seismic sources*

The paper presented some cases of strange earthquakes and strange seismic sources and their possible scientific explanations – since ancient times up to the present days.

Key words: strange earthquakes, definitions, scientific explanations

Introduction

There are many earthquakes which can be called “strange” according the definitions given above. Why, where and when these earthquakes occurred? What are the main peculiarities of them? Are there any scientific explanations to their peculiarities, or they are really strange? To all these questions is the presented following paper covering seismic events since ancient times up to the present days..

Ancient seismic events

Lisbon, 1755.

Very strong earthquake - the magnitude assessment according to the recent magnitude scale is over 8.0 - occurred 1st November 1755. This earthquake still has unknown location - somewhere in the Atlantic Ocean. No one of the recent models can detect the epicenter area and describe the effects observed after the quake - very heavy destructions of Lisbon and Portugal coastal area, huge tsunami (the water fulfilled the bay of the Tajo river, increasing the level of the ocean in some places more then 9-10 meters). More then 30 000 deaths, according to the very accurate observation, organization and registrations of Marquise de Pombal have been

reported. The unknown source of this seismic event threatens both Atlantic coasts by megatsunami in any time. The measures taken by the coastal countries of the Ocean to avoid heavy damages and victims include the Atlantic tsunami early warning system and the cooperation in the filed of earthquakes studies. [8]



Fig. 1. *Lisbon earthquake 1755 – historical pictures.*

Mississippi (New Madrid) great earthquakes, 1811-1812.

A sequence of extremely strong earthquakes changing the land elevation more than 20 meters in some places. Tsunami generated in the Mississippi river. New Madrid and St.Louis were strongly affected. [1]

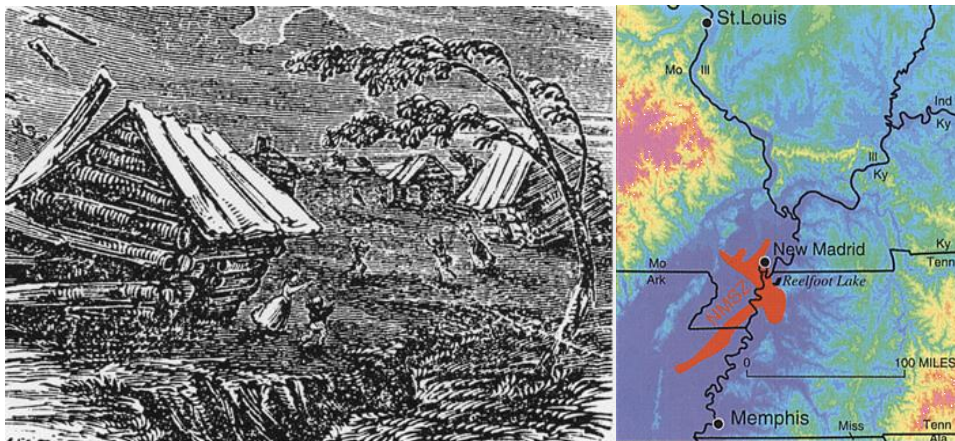


Fig. 2. *Drawings of the Mississippi earthquakes and land elevation (red spot).*

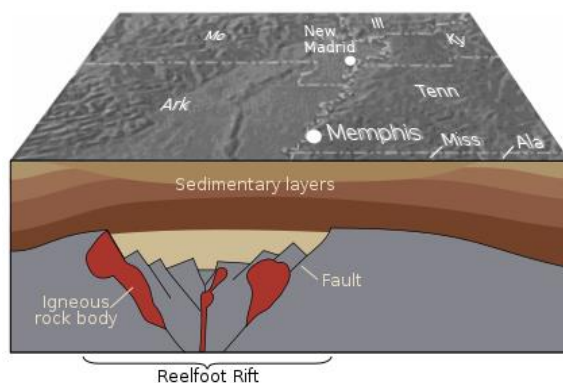
• **December 16, 1811**, 0815 UTC (2:15 a.m.); (M 7.5 -7.9) epicenter in northeast Arkansas. It caused only slight damage to manmade structures, mainly because of the sparse population in the epicentral area. The future location of Memphis, Tennessee, experienced level IX shaking on the Mercalli intensity scale. A seismic seiche propagated upriver, and Little Prairie (a village that was on the site of the former Fort San Fernando, near the site of present-day Caruthersville, Missouri) was heavily damaged by soil liquefaction.

• **December 16, 1811 (aftershock)**, 1415 UTC (8:15 a.m.); (M 7.4) epicenter in northeast Arkansas. This shock followed the first earthquake by five hours and was similar in intensity.

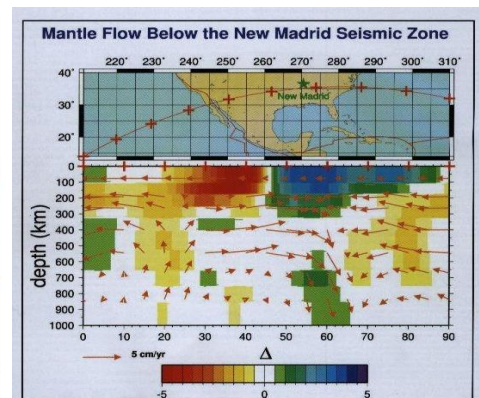
• **January 23, 1812**, 1500 UTC (9:00 a.m.); (M 7.3 -7.6) epicenter in the Missouri Bootheel. The meizoseismal area was characterized by general ground warping, ejections, fissuring, severe landslides, and caving of stream banks. Johnson and Schweig attributed this earthquake to a rupture on the New Madrid North Fault. This may have placed strain on the Reelfoot Fault.

• **February 7, 1812**, 0945 UTC (3:45 a.m.); (M 7.5 -8.0) epicenter near New Madrid, Missouri. New Madrid was destroyed. In St. Louis, Missouri, many houses were severely damaged, and their chimneys were toppled. This shock was definitively attributed to the Reelfoot Fault by Johnston and Schweig. Uplift along a segment of this reverse fault created temporary waterfalls on the Mississippi at Kentucky Bend, created waves that propagated upstream, and caused the formation of Reelfoot Lake by obstructing streams in what is now Lake County, Tennessee.

Absolutely unusual location – in the stable part of North American plate. No clear explanation what could be the reason to have such events at that place. One hypothesis tried to explain the generating mechanism as an ancient (neoproterozoic - older than 750 million years ago) rift faults. During the last years a seismic tomography model discovers the deep flow movement in the asthenosphere with contradicting directions, just under the location of the epicenters of these huge seismic events. It could be a probable reason for the observed very strong intra plate earthquakes.



a)



b)

Fig. 3. *New Madrid seismic zone and possible models: a) ancient faults; b) mantle flows [3]*

Messina, 1908

On December 28, 1908, at approximately 5:20am, Europe's most powerful earthquake shook southern Italy. Centered in the Messina Strait, which separates Sicily from Calabria, the quake's magnitude estimated a 7.5 by today's Richter scale. Moments after the quake's first jolt, a devastating tsunami formed, causing forty-foot waves to crash down on dozens of coastal cities.

The city of Messina, which only had a population of 150,000, had been entirely destroyed, along with the nearby city of Reggio di Calabria, and other outlying areas. It is estimated that the combined earthquake and tsunami killed almost 100,000 people, that fateful December morning. Over 40% of the population of Messina and

more than 25% of Reggio di Calabria killed by the earthquake and tsunami, as well as by fires in some parts of Messina. [8]



Fig. 4. Messina earthquake 1908 - macroseismic map and destructions

Up to now, no any model can explain the generation of so huge tsunami from the earthquake with such a magnitude.

Recent strange and strong earthquakes all over the world

Sumatra, 2004.

Extremely strong earthquake with magnitude 9.1 occurred 26th December 2004 near Sumatra in the Indian Ocean. This was unexpected event with such power occurred in this area. The earthquake produced huge tsunami (the strongest one reported ever) with more then 300 000 deaths, 2 million affected people, 3 continents, 8 countries and losses estimated to 100 billions US\$. Both events – the earthquake and the tsunami – considered as the deadliest catastrophe in the human history. What was most surprising – the ruptured zone to the bottom of Indian Ocean reached 1200 km. This part of the Earth's crust was ruptured for about 6 minutes and the vertical amplitude of the bottom displacements reach in some places about 20 meters. [10]

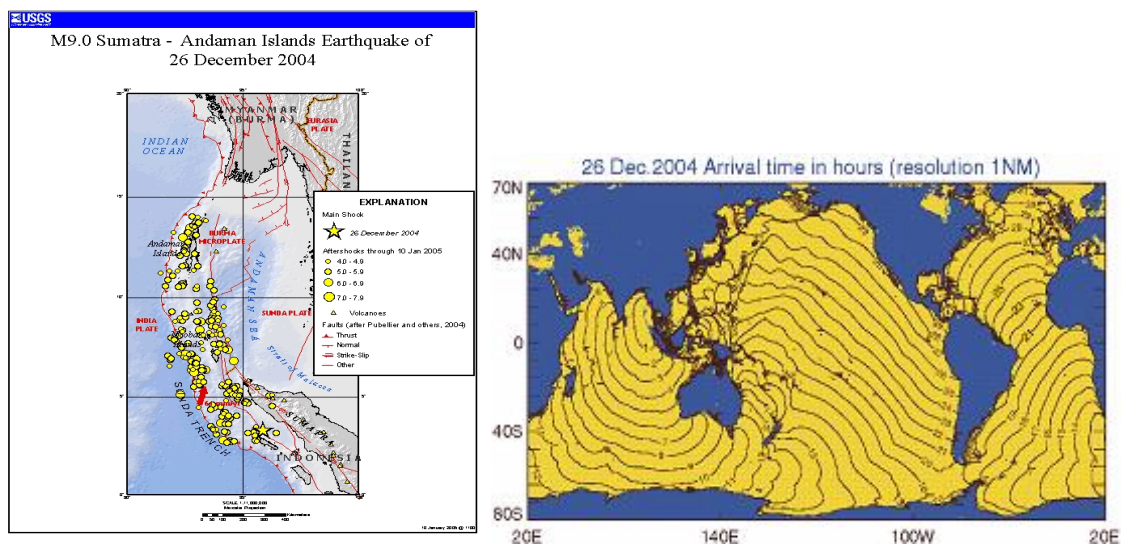


Fig. 5. Sumatra earthquake 2004 source zone and the tsunami travel times all over the world

Indian Ocean strike-slip strong earthquakes, 2012

Two very strong earthquakes occurred on 11th April, 2012 very near to the famous Sumatra earthquakes from 2004 (M9.1). Both strike-slips and have the following parameters - M8.6 (8.38UTC) and M8.1 (10.43UTC) in time interval of about 2 hours (which is not very usual case) with depths of about 30 km.

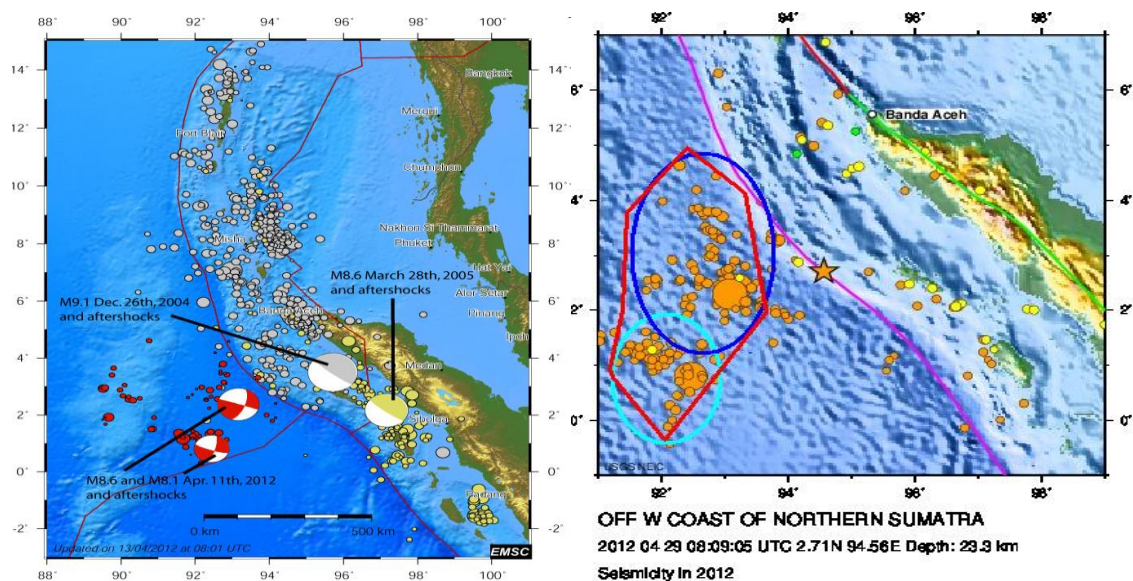


Fig. 6. The strike-slip earthquakes of 11th April, 2012 (red and white circles) and their aftershocks positions (blue and cyan ellipses). The unusual position (red polygon) suggests the new tectonic boundary formation.

Despite its power these earthquakes did not produce tsunamis; even their epicenters are located under the deep water column. [13]

About one year later three remarkable paper appeared in "Nature":

- ▲ "Nature" 1st paper - Matthias Delescluse, Ecole Normale Supérieure in Paris
- ▲ "Nature" 2nd paper - Thorne Lay – Univ. California
- ▲ "Nature" 3rd paper - Fred Pollitz, USGS

All of these papers suggest for the first time of the modern geodynamics, that these Indian Ocean events might be indicators of a new tectonic boundary formation. This means that probably new tectonic epoch is starting its development.

Chile, 2010

Off shore Chile was stricken by a strong earthquake (M8.8) on 27th February 2010. This seismic event was located at the South America subduction zone, where the most powerful earthquake occurred during the instrumental era of seismology in 1960 (M9.6)

The destructed volume of the earth crust of the M8.8 event was estimated to be a parallelepiped with approximate dimensions of 600x100x50 km.[10]

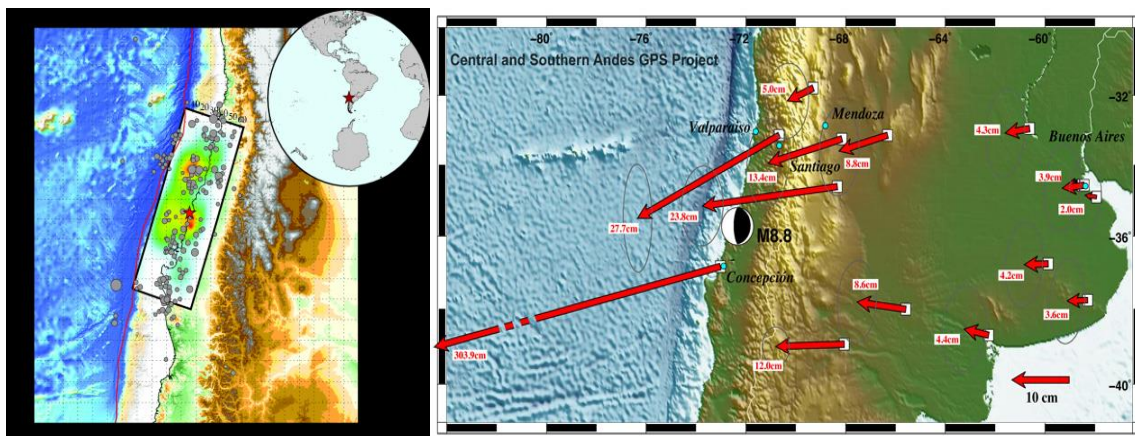


Fig. 7. The strong earthquake zourse zone (600x100x50 км.) and the displacements of the part of South America continent due to the Chile earthquake (27th Feb., 2010) and the GPS measured displacements (red arrows).

For the first time the GPS measurements revealed huge displacements (more than 3 meters in the city of Concepción area) and the behavior of the entire continental crust as elastic/nonelastic body. Even to the Atlantic coast the measured displacements reached several centimeters (For example, Buenos Aires shifted to the west about 4 cm). It is estimated that Chile's territory could have expanded 1.2 km² (0.46 mi²) as a result of this earthquake [12].

Japan, 2011

11th March, 2011, 14.46PM LT. Earthquake with a magnitude of 9.0 struck Japan. 30-40 min later a huge tsunami attached the nearest Shore of Hokkaido Island. 30 000 deaths and about 30 000 disappeared. This is one of the most tragic events of the recent human history. This earthquake is remarkable with some facts: [9, 12]

1. For first time the seismic (SEWS) and tsunami (TEWS) early warning systems acted simultaneously, saving the lives of many, many people.
2. For first time the world media disseminated information about tsunami inundation in real time
3. For first time the movements (displacements) of big islands was documented in details by GPS measurements.
4. For first time the NPP catastrophe was triggered by earthquake and tsunami.
5. For first time the seismic zoning of Japan was shown to be wrong. In some places the observed seismic acceleration reached about 10 times higher value that is predicted by the seismic zoning map of Japan.
6. For first time the tsunami heights reached about 22 meters in some places including the higher level overlapping the protective tsunami wall in front of Fukushima NPP.

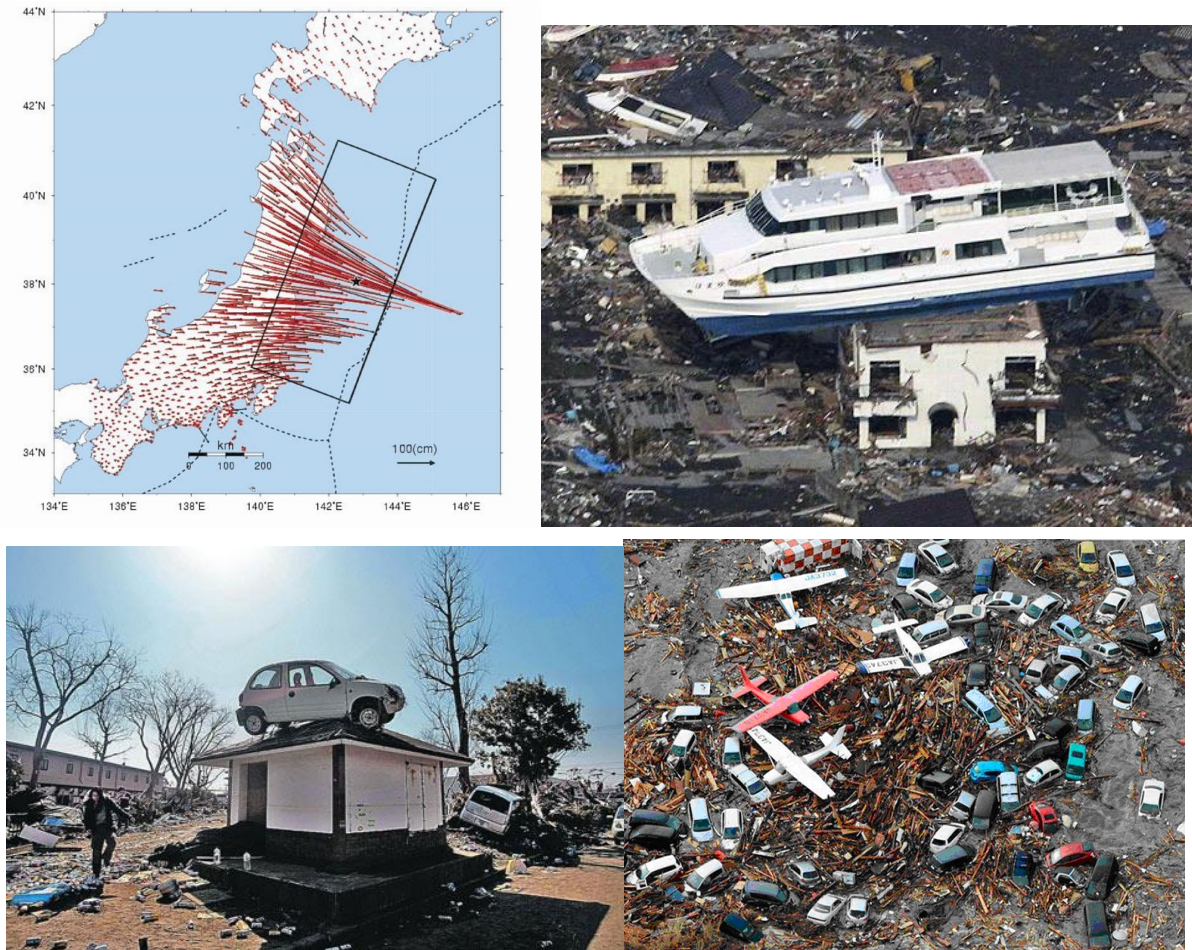


Fig. 8. *Illustrations of the consequences from the Japan 2011 earthquake*

Nepal, 2015

25th April, 2015 – an earthquake with a magnitude 7.8 shocked Nepal at 11.56 LT. The coordinates of the epicenter - 28.28 N; 84.79 E located the shock 83 km NW of Kathmandu, Nepal (population 1,442,271) and 75 km NE of Bharatpur (pop: 107,157). The depth of the shock was estimated of about 10 km. Both cities were affected strongly and a lot of deaths, injured and structural collapses have been reported. This event produced an isometric macroseismic field covering very broad area. A lot of secondary effects have been observed adding new victims and destructions. Several landslides and stonefalls have been triggered by the strong seismic event. A lot of avalanches fall down from the mountain regions and also killed people. Large destructions covered huge area of Nepal, India and China. The total direct estimated losses overpass 2 billions US dollars. More than 10 aftershocks with magnitude greater than 5.5 occurred during the first ten days after the main shock. These aftershocks created additional damages and collapses. But the most surprising event was the shock of the M7.3 earthquake on 12th May 2015. It was located at the opposite end (NE from Kathmandu) of the seismogenic area activated during the 25th April event. Both shocks triggered a lot of aftershocks, but the second one even located at the same neotectonic environment produced strongly elongated (in almost NE-SW direction) macroseismic filed. Such configuration of macroseismic

filed is typical for strike-slip seismic event, but no such evidences have been observed to this second large shock in Nepal. [14]

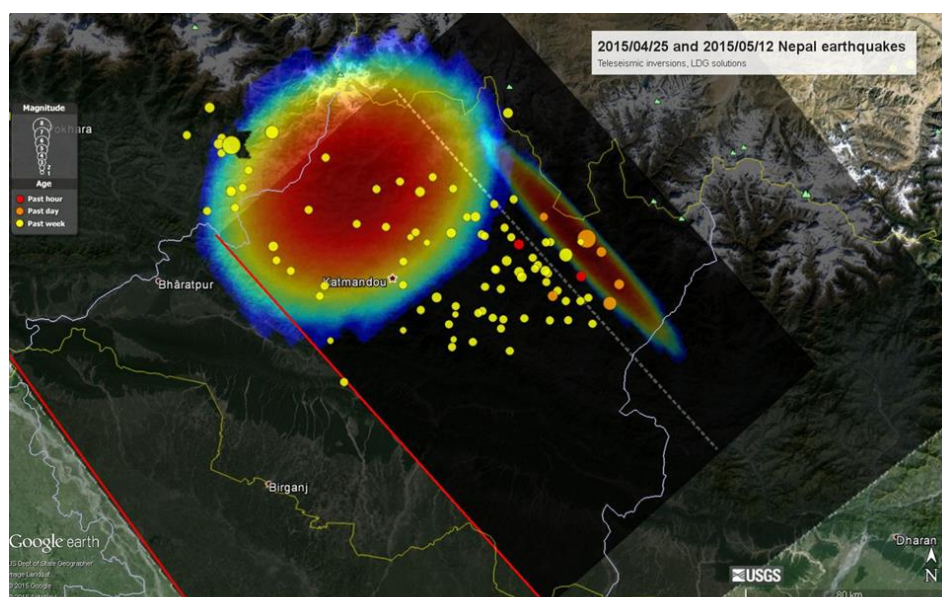


Fig. 9. *Macroseismic fields of the strongest Nepal seismic events - 25th April (M7.8) and 12th May (M7.3), 2015. The comparison shows completely different seismic energy emission. The isometric one is for the first shock and elongated one – for the second event. This can explain easily the lower damages generated by the second shock. The all aftershocks location outline pretty well the seismic source area of the seismic activated region – in general elongated in NW-SE direction*

<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/>.

Vrancea seismic zone

Except the single or multiple strong seismic events with mystery characteristics, there are also some specific earthquake sources with unusual behavior. The most famous in this respect is the Vrancea seismic source. It is located in the eastern Carpathians at the corner of the mountain. The seismogenic layer has a thickness from 90 to 150 km in depth and according the standard classification is generating intermediate earthquakes, under the Earth's crust in the upper mantle and overlapping the asthenosphere layer. What is unusual is that the projection on the earth's surface of the seismogenic layer is a very small almost circular area with the diameter of about 30 km. This so concentrated earthquake source (the volume is no more then $45 \cdot 10^3 \text{ km}^3$ and looks like a pillar in the Earth's interior) can produce very strong earthquakes reaching magnitude up to 7.5. The accumulation of the stress in so small volume and very high activity of the source (average repeatability of strong earthquakes with magnitude more then 7.0) ranged this source to the very active ones and No 1 in Europe. Due to the intermediate depth, these earthquakes' macroseismic field is usually very large with isoseismals reaching more than 1000 km. Another specific is that sometimes the seismic energy is emitted in elongated semi ellipses with NE and SW directions making sharp curves just over the source.

The most mysterious element in this story is that there is not unified model which can explain all mentioned peculiarities. Up to now there are two contradicting concepts trying to model this source. The first one assumed that this is a slab component remaining of an ancient subduction zone [5]. The second hypothesis supposed that this is a part of the Earth's crust entering the interior of the globe not very far in the past geological times in a way of the corkscrew theory. Both hypotheses have their positives and some no explainable elements of the observed facts. [4],[7].

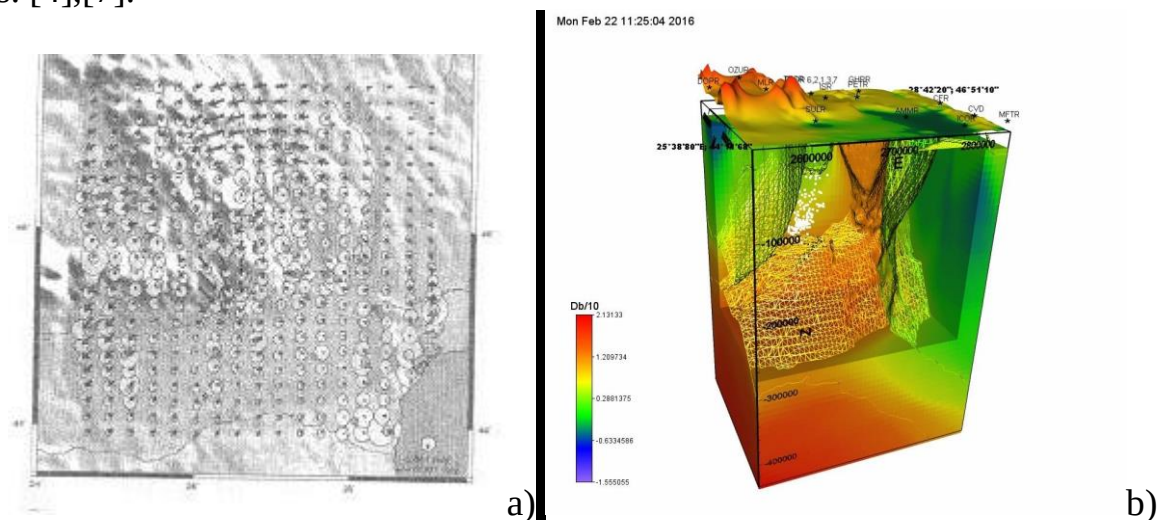


Fig. 10. Surface 2D projection of the GPS modeled the spiral structure of the Vrancea source – a) and 3D model of the velocity structure around the Vrancea earthquakes (white dots) – b).

RERERENCES

- [1]. Johnston, A.C. & Schweig, E.S., The Enigma of the New Madrid Earthquakes of 1811-1812. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, Volume 24, pp. 339-384. Available on SAO/NASA Astrophysics Data System (ADS)
- [2]. Geophysical Research Letters, 2007, No3 - cover page
- [3]. Gurov R., B. Ranguelov., 2007. The corkscrew theory - a new mechanism of the solid Earth geodynamics, in "Rotational processes in geology and physics" (Ed. Milanovsky), URSS, pp. 411-431. Moscow.
- [4]. Martin M., F. Wenzel and the CALIXTO working group., 2006. High-resolution teleseismic body wave tomography beneath SE-Romania – II. Imaging of a slab detachment scenario., *Geophys. J. Int.* (2006) 164, pp. 579–595
- [5]. Рангелов Б., 2012, Разгневената Земя - природните бедствия., изд.БАН, С., 294 с.
- [6]. Рангелов Б., 2008. Турбулентната теория - един нов поглед към неспокойната Земя., в кн. Земята – неспокойната планета (Ред. А.Кунов), изд. БГ-Принт., с. 608-615. ISBN 978-954-9325-54-6
- [7]. Рангелов Б., 2010. Гигантските сеизмични катастрофи - земетресения, митове, загадки и действителност., Минно дело и геология, бр. 5-6, с. 27-31.

[8]. Ranguelov B., 2010. Continental movements due to the strong earthquakes., Ecological Engineering and Environment Protection., vol.3-4, pp. 86-91.

[9]. Ranguelov B., 2010. The great subduction earthquakes - Chile (Mw8.8, 2010) and Sumatra (Mw9.1, 2004) sources of the continental plate movements. Proc. 6-th NATIONAL GEOPHYSICAL CONFERENCE, Sofia, 17th Dec. 2010, 4pp. (on CD).

[10]. Ranguelov B., 2011. Tsunamigenic potential and GPS movements of the great subduction earthquakes., Сб. Популярни и научни докл.-Дни на физиката, 2011, ТУ-София, 13-16 Април, с. 149-153

[11]. Б. Рангелов, Е. Спасов., 2012. Силни отседни земетресения (M8.6 и M8.1) ОТ 11.04.2012г. в района на субдукционната зона край Суматра не генерират цунами?, Intl. Symp. "Geodesy 2012", 8-9 11., 2012. Sofia. (on CD)

[12]. RANGUELOV B., et al. 2016. The Nepal Earthquakes, 2015 – geography specifics (secondary effects, damages, resilience) of the destructive seismic events. Proc "GEOMED 2016 - The 4th International Geography Symposium", Kemer, 22-26 June, 2016, Turkey.

МИКРОСЕИЗМИЧНО СОНДИРАНЕ - Оценка на чувствителността на метода с реални експерименти на реален дълбочинен обект - сеизмогенна зона Вранча

Емил Ойнаков, Бойко Рангелов

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

Резюме: Представено е прилагането на метод за построяване на дълбочинни разрези по относителната вариация на амплитудите и относителния контраст на сеизмичните скорости, с помощта на записите на микросеизмичен шум от стационарни широколентови сеизмични станции. Характерно за дълбочинното микросеизмично сондиране е, че използва естествения микросеизмичен шум, не се използват активни източници и има добра разделителна способност. Препоръчва се на метода са: от една страна съответства на съвременните екологични изисквания за невзривно изучаване на дълбочинния разрез, 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 19 широколентови сеизмични станции на територията на Румъния покриващи зоната Вранча. Изследвано е влиянието върху чувствителността на метода и разделителната способност в дълбочина, като са използвани различни временни редове. Тази методика се основава на оценка на статистическите параметри на разпределенията (дисперсия, средно квадратично отклонение, относителен контраст на скоростите на различните моди на шума) по отношение на получаваните дълбочинни разрези на възстановения геоложки модел.

Ключови думи: метод на микросеизмичното сондиране, сеизмична зона Вранча, разделителна способност

Въведение

Микросеизмичното сондиране е пасивен метод, използващ съществуващото вълново поле на микросеизмичен шум, 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 геолошко-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 слоеве 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 микросеизмичния шум на Земята в качеството на основен сондиращ сигнал за изучаване на дълбоките геоложки структури.

Резултатите от изследването на микросеизмичното поле показват, че микросеизмичните 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 микросеизмичния шум е концентрирана в диапазона честоти 0.05-0.25 Hz (периоди 12-20 s). Енергетичният спектър на микросеизмите, 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 микросеизмите се явяват повърхностни еластични вълни.

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

Изученост на сеизмичната зона Вранча.

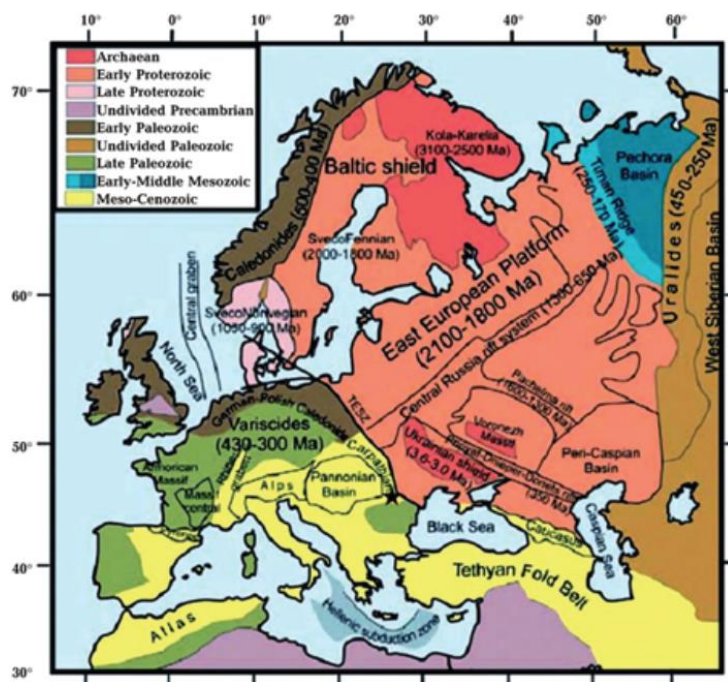
Сеизмически активната зона Вранча се намира в пресечената точка на Източните и Южните Карпати. Епицентровете на земетресенията в зоната, в план се намират в ограничена област 40x80 km с дълбочина 70-180 km (максимум 220 km [Oncescu, Bonjer, 1997] [2], сеизмичнофокалната зона има силно северо-западно падение. Детайлно структурата на сеизмично активната зона Вранча е описана от Сагалов, 1975г. Зоната е разположена в контакта (фиг.1) на три структури с различна възраст: ранен палеозой, късен палеозой и мезо-неозой [Artemieva et al., 2006] [3]. Подобно деление на три части в дадената област се наблюдава и по температурата на мантията на дълбочина 100 km [Goes et al., 2000] [4], изчислена по данните от регионалния S-скоростен модел на мантията [Marquering, Snieder, 1996] [5].

Зоната се намира в област на контрастни движения, възникващи на границата на издигащата се система на Карпатите и потъващата Предкарпатска депресия. По данни за съвременните вертикални движения наблюдаваната скорост на издигане е 4-5 mm/год., потъването 0,5-0,6 mm/год. [A.G.A. van der Hoeven et al., 2005] [6].

Изучаването на хипоцентровете на земетресенията [Ризниченко, 1985; Пустовитенко и др., 2004] [7] показва 2 основни положения на плоскостите на разрива: СИ-ЮЗ с падение на СЗ и СЗ-ЮИ с падение на ЮЗ.

През XX век в зоната стават земетресения с магнитуд по-голям от 6.5 през 1940, 1977, 1986 и 1990г., които се усещат на огромна територия. Големият интерес към земетресенията от тази зона се определя преди всичко от високата сеизмична опасност. Издадени са редица научни сборници и отделни статии, посветени на проблематиката на зоната. Детайлно описание на геоложкия строеж на зоната Вранча е дадено в изследванията на [Щукин, Добрев, 1980] [8]; [Чекунов, 1986, 1987] [9]. Дълбочинният строеж на зоната е бил изследван по геотраверса V [Сологуб и др., 1985; Чекунов, 1987; Харитонов и др., 1993] [10, 9, 11], при това зоната е била отнесена към дълбочинен разлом и област на понижени скорости и плътност на дълбочина 90-180 km. А.В. Чекунов предполага, че причина за появяването на зоната на ниски скорости е бил Панонския астенолит, довел до издигане в зоната Вранча на разтопен материал и преместването му на изток до Крим по отслабена зона (зона на понижени скорости) на дълбочина 60-100 km [Чекунов, 1987] [10]. В изследванията на [Виник, 1980] [12] фокалната зона Вранча се разполага във високоскоростен блок в близост до контакта с нискоскоростен блок.

През 1999г. в Румъния е проведен експеримент CALIXTO (Carpathian Arc Litosphere X-Tomography), по данните от който са направени томографски изследвания [Weidle et al., 2005; Martin et al., 2005, 2006] [13, 14]. По данни на [Martin, 2006] [15] в зоната Вранча по пътя на решаване на обратната задача е получена нискотемпературна област с отклонение до $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ [Ismail-Zadeh et al., 2008] [16]. В зоната Вранча е работено по сеизмични профили по метода на



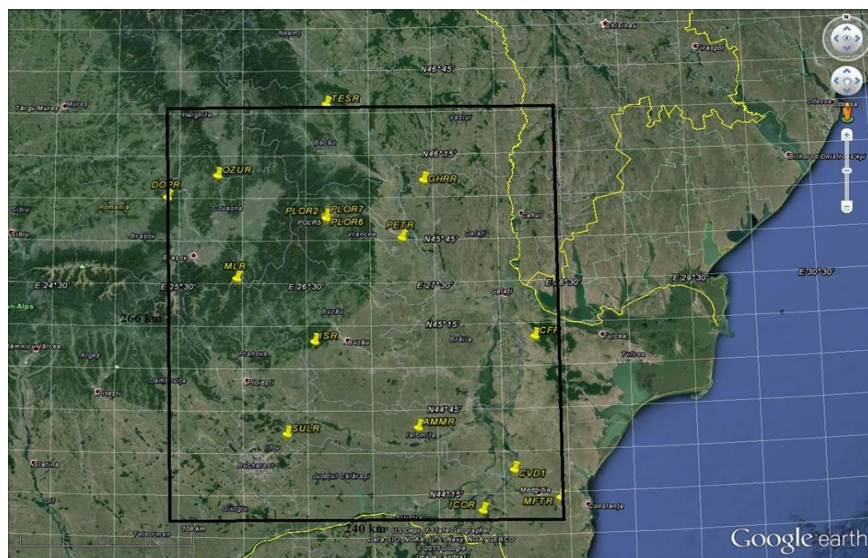
Фиг. 1. Възраст на структурите в Европа [Artemieva et al, 2006]. Зоната Вранча е отбелязана със звезда.

пречупените вълни VRANCEA 99 [Hauser et al., 2001] [17] и VRANCEA 2001 [Landes et al., 2004; Hauser et al., 2004] [18]. По резултатите от профилирането и експеримента CALIXTO на дълбочина 45-180 km е отделена област с ЮИ-СЗ направление с понижени стойности на V_p/V_s , интерпретирана като океански slab [Tondi et al., 2009].

Микросеизмично сондиране на зоната Вранча

Дълбочинното геофизично изследване на зоната Вранча е направено въз основа на записите от 19 широколентови сеизмични станции (фиг. 2), разположени на територията на Румъния. Съгласно ММС една от станциите е избрана за базова (PLOR). Описание на кодовете на станциите, тяхното местоположение и апаратурно оборудване е дадено в Таблица 1.

Методът е основан на това, че нееднородностите в земната кора и мантия изкривяват спектъра на нискочестотното микросеизмично поле, а именно, на повърхността на Земята над високоскоростните нееднородности спектралните амплитуди на определена честота f намаляват, а над нискоскоростните нееднородности се увеличават.



Фиг. 2. Разположение на използваните станции (Google earth).

Честотата f е свързана с дълбочината на залягане на нееднородността H и скоростта на фундаменталните моди на вълните на Релей $V_r(f)$ със съотношението $H = 0.5 V_r(f)/f$ [19]. Методът реализира инверсия на амплитудно-честотното пространствено разпределение на микросеизмичното поле в предположение на това, че вертикалната компонента на полето в нискочестотния диапазон се определя преимуществено от фундаменталните моди на вълните на Релей.

Таблица 1. Кодове, координати и апаратурно оборудване на станциите, използвани в изследването.

код на станция	населено място	дължина	ширина	над морско ниво, m	сензори
PLOR	Plostina	26.649	45.851	680	CMG-40T
PLOR 6	Plostina	26.641	45.842	720	CMG-40T
PLOR 2	Plostina	26.643	45.842	701	CMG-40T
PLOR 1	Plostina	26.646	45.852	706	CMG-40T
PLOR 3	Plostina	26.645	45.854	722	CMG-40T
PLOR 7	Plostina	26.64	45.86	831	CMG-40T
PETR	Petestri	27.2311	45.723	85	K2 Digitizer
DOPR	Dopca	25.388	45.967	544	Q330 Digitizer
GHRR	Gohor	27.408	46.06	209	Q330 Digitizer
MLR	Muntele Rosu	25.945	45.49	1392	Q330 Digitizer
OZUR	Ozunca	25.786	46.095	676	Q330 Digitizer
TESR	Tescani	26.648	46.511	375	Q330 Digitizer
AMMR	Amera	27.335	44.61	86	Q330 Digitizer
ICOR	Ion Corvin	27.8009	44.1168	121	Q330 Digitizer
CVD 1	Cernavoda	28.0624	44.3207	500	CMG-40T
CFR	Carcalin	28.1362	45.178	57	CMG-40T
ISR	Istrita	26.5431	45.1188	750	Q330 Digitizer
SULR	Surlari	26.2526	44.6777	129	Q330 Digitizer
MFTR	Murfatlar	28.422	44.177	980	Q330 Digitizer

Тази технология позволи на базата на използване на Фоновото микросейсмично поле да се определи дълбочинната структура на зоната Вранча.

За изследването са взети едночасови сейсмични записи от всички сейсмични станции, записани на 01.02.2015г. за интервала 00:00:00-01:00:00 часа, от които са изчислени мощностните спектри за всяка станция. Разпределението на вариациите на интензивността е определено по отношение на базовата опорна станция (PLOR).

При преизчисляването на спектралните честоти в дължини на вълни, са отчетени дисперсионните свойства на Релеевите вълни, а именно, увеличението на скоростта с увеличаването на дължините на вълните. За тази цел е използван скоростен модел създаден от F.Hauser (2001, VRANCEA99) [17].

На полученото 2-мерно изображение по параметъра контраст на сейсмичните скорости (фиг. 3, фиг. 8) ясно се проследява относително ниско-скоростна сейсмична граница (11,44 Db) с простиране в план от СИ-ЮЗ. Започваща от дълбочина 10 km на СИ, ниско-скоростната област се проследява до дълбочина 140-160 km под зоната на хипоцентровете на земетресенията и достига дълбочина 300 km на ЮЗ.

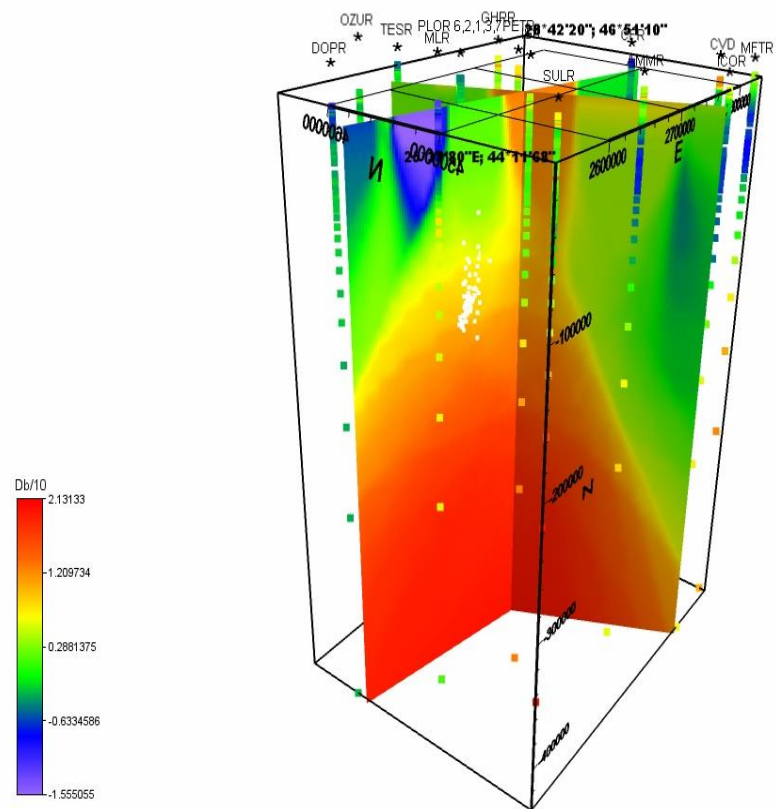
В получения модел са забелязват 2 относително високоскоростни области (зелен цвят, 6,9 Db), разположени западно и източно от хипо-централната зона. Западната високоскоростна зона достига до дълбочина 150 km и може да се интерпретира като част от Интеркарпатската субплоча (част от ИЕП), а източната до дълбочина 280 km може да се интерпретират като части от Мизийската платформа. Вижда се, че хипо-централната зона е разположена в област на среден скоростен контраст от 7 Db до 11 Db, която може да се интерпретира като високоскоростна - спрямо нискоскоростната зона, която е разположена под фокалната зона, и като нискоскоростна област спрямо високоскоростните зони разположени на изток и запад от фокалната зона.

Трябва да се има предвид, че при изучаването на скоростния дълбочинен строеж под зоната Вранча и неговите връзки с хипоцентровете на земетресенията не се разглежда въпроса за това какви ендогени фактори могат да послужат за причина и стартов механизъм за ставащите земетресения. В общия случай този въпрос е много сложен. Основната задача на това изследване е да се открият структури, имащи отношение към мантията под зоната Вранча.

Сравнение на получените резултати с резултатите на други изследователи.

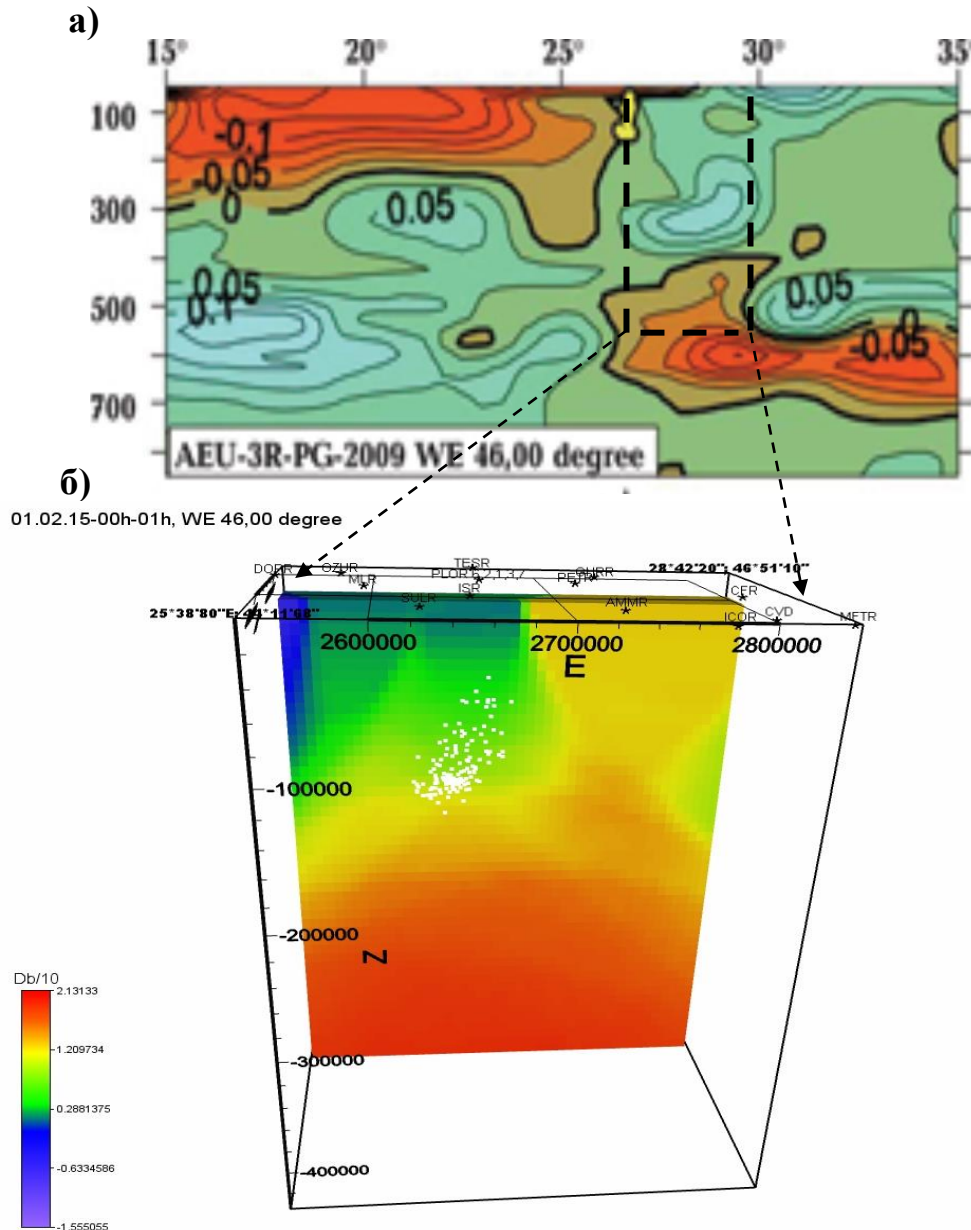
На фиг. 4 са показни резултатите от MMC (фиг. 4б) и Р-скоростен разрез [Старосенко В.И.] (фиг. 4а) по профил, минаващи по паралели $46^{\circ} 00'$, от меридиан 15° до 35° за Р-скоростния разрез и по същия паралел от $25^{\circ} 38'$ до $28^{\circ} 42'$ меридиан за профилът, получен с MMC. [20].

Model Vrancea area in contrast parameter of seismic velocities



Фиг. 3. Двумерни разрези по параметър-контраст на сеизмическите скорости на зона Вранча

Синята и зелена област на фиг. 4б) (вдясно от хипоцентралната зона), отговаряща на зона с относително по-висока скорост в профилите на ММС до дълбочина 100-120 km може да се проследи и на фиг. 4а) като зона на повишени Р-скорости (тъмно кафяв цвят) до дълбочина 200 km. Зоната на относително ниски скорости и за двата профила може да се проследи вляво от хипоцентралната зона (за ММС - оттенъци на червения цвят, за Р-скоростния разрез - оттенъци на зеления цвят).



Фиг. 4. а) Широчинно сечение на примерния Р-скоростен модел на горната мантия [Старосенко В.И.] б) Профил по същия паралел по ММС

И на двата, получени с двата различни метода, профила вдясно от хипоцентралната зона е област с относително високи скорости, а вляво зона с ниски скорости. Не доброто съвпадение във вертикален и хоризонтален план се дължи на различията в определяне на скоростните граници и мащаба на

изследванията, т.е. изолините в Р-скоростния модел съответстват несвързката на скоростите

$$\delta = V(\varphi, \lambda, z) - V_{ref}(z).$$

Вижда се сходството в резултатите, независимо от различния мащаб на провежданите изследвания.

Оценка на чувствителността на метода към времевите вариации

За оценка на чувствителността на метода към промяната на времевата зона са направени четири експеримента. Интервалът на натрупване на сигнала и за четирите експеримента е 1 час. Експериментите са направени както следва: 1) на 01.02.2015г. в интервала 00-01 ч.; 2) на 01.02.2015г. в интервала 03-04 ч.; 3) на 10.02.2015г. в интервала 10-11 ч.; 4) на 10.02.2015г. в интервала 12-13 ч.

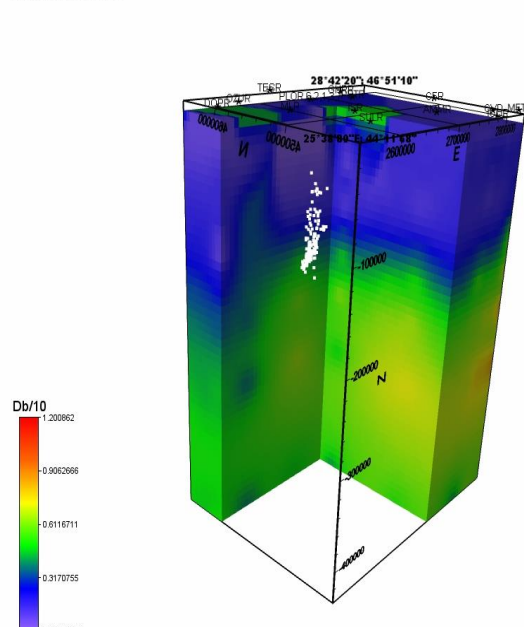
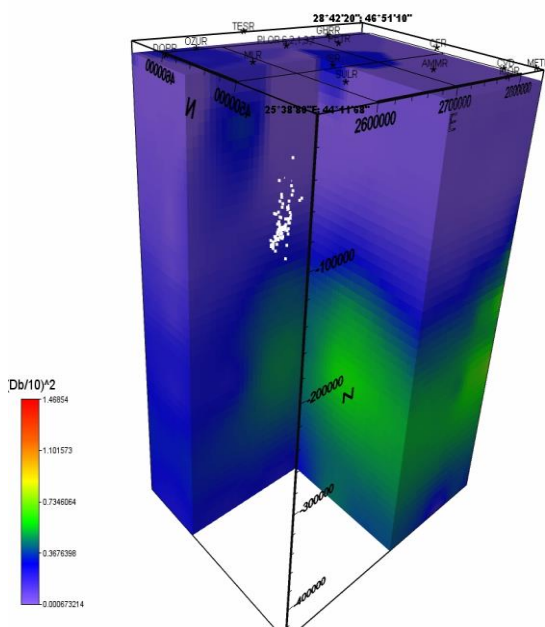
За оценяване на чувствителността е използвана като критерий дисперсията и средното квадратично отклонение на резултатите от четирите експеримента (фиг. 5, фиг. 6, фиг. 7).

На фиг. 5 се вижда, че пространственото разпределение на дисперсията (построено по дисперсията за всяка станция (фиг. 7)) до 200-250 km е в рамките на $0,0007-0,36 \left(\frac{Db}{10}\right)^2$. На дълбочина 250-400 km тя се променя от $0,36 \left(\frac{Db}{10}\right)^2$ на запад, до $0,5 \left(\frac{Db}{10}\right)^2$ на изток.

Средно квадратичното отклонение (фиг. 6) е в рамките на $0,02-0,3 \text{ dB}/10$ за дълбочина до 150 km и $0,3-0,8 \text{ Db}/10$ за дълбочина от 150-400 km.

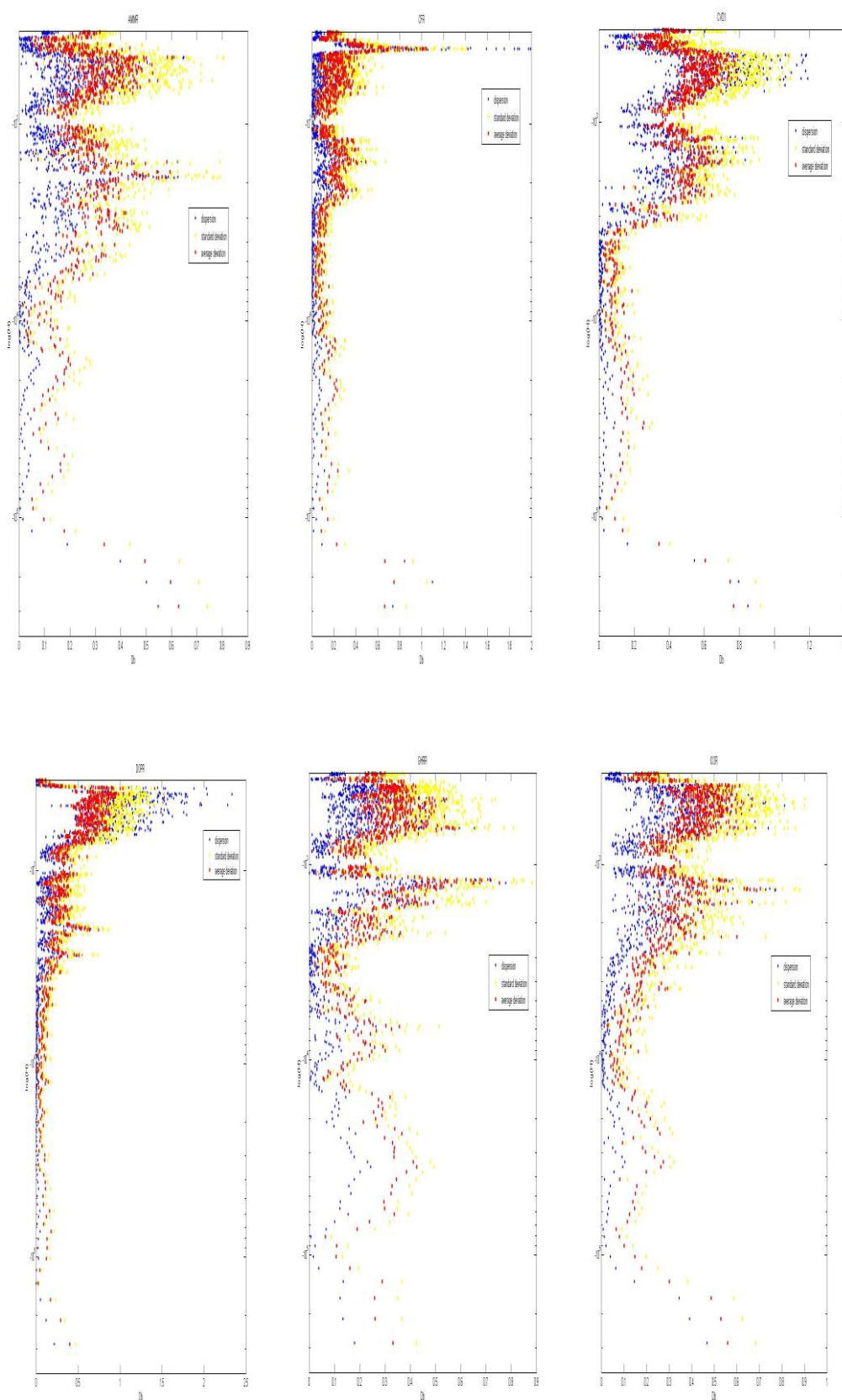
dispersion

standard deviation



Фиг. 5. Пространствено разпределение на дисперсията на експериментите

Фиг. 6. Пространствено разпределение на средното квадратично отклонение на експериментите



Фиг. 7. Разпределение на дисперсията и средноквадратичното отклонение в дълбочина за шест от изброените сеизмични станции

Таблица 2. Взаимни корелационни коефициенти между отделните експерименти: 1) 01.02.2015г.(00-01 ч.); 2) 10.02.2015г.(10-11 ч.); 3) 01.02.2015г.(03-04 ч.); 4) 10.02.2015г. (12-13 ч.).

код на станцията	к.корел. коеф. м/у 1 и 2 експеримент	к.корел. коеф. м/у 1 и 3 експеримент	к.корел. коеф. м/у 1 и 4 експеримент	к.корел. коеф. м/у 2 и 3 експеримент	к.корел. коеф. м/у 2 и 4 експеримент	к.корел. коеф. м/у 3 и 4 експеримент	средена стойност на к.корел.коеф.
AMMR	0.809555981	0.959533312	0.919169667	0.809406442	0.859274097	0.891832043	0.874795257
SULR	0.882216731	0.774857546	0.903986004	0.762700537	0.884497293	0.860953788	0.844868651
MFTR	0.637559155	0.821447034	0.833664517	0.743381616	0.792763985	0.910706355	0.789920444
ISR	0.438098428	0.858554468	0.744127324	0.644406387	0.797237941	0.841258651	0.720613866
ICOR	0.696816104	0.926975376	0.843456078	0.728398839	0.622224548	0.873043841	0.781819131
CVD	0.778908703	0.987199402	0.972566861	0.784129071	0.782532737	0.965822604	0.878526563
CFR	0.856073891	0.536646603	0.927724504	0.547904851	0.843590039	0.404484992	0.686070813
TESR	0.384664891	0.393677988	-0.131268199	0.249484786	0.159401448	0.674293105	0.288375671
PETR	0.518074223	0.914929932	0.878449298	0.579727808	0.551705687	0.867559338	0.718407714
OUZR	0.195649349	0.458069841	0.332671823	0.513886413	0.802851805	0.775902724	0.513171993
MLR	0.773867159	0.975756612	0.820644341	0.766080728	0.918408174	0.807054894	0.843635318
GHRR	0.790853376	0.879746746	0.788771583	0.777661757	0.741646005	0.706448148	0.780854603
DOPR	0.140917379	0.857144661	0.707339178	0.287698492	-0.100804122	0.562946685	0.409207046
PLOR7	0.795007419	0.955534451	0.623750945	0.778394835	0.776917728	0.622773521	0.758729816
PLOR3	0.470117716	0.834066217	0.888334698	0.381391245	0.472636791	0.777329444	0.637312685
PLOR1	0.108753199	0.670642241	0.580301149	-0.045062349	0.054885501	0.387385276	0.292817503
PLOR2	0.676912483	0.875280297	0.783143131	0.827052008	0.767012078	0.856391018	0.797631836
PLOR6	0.091863021	0.882100242	0.687177651	0.237912303	0.422883975	0.686301071	0.501373043

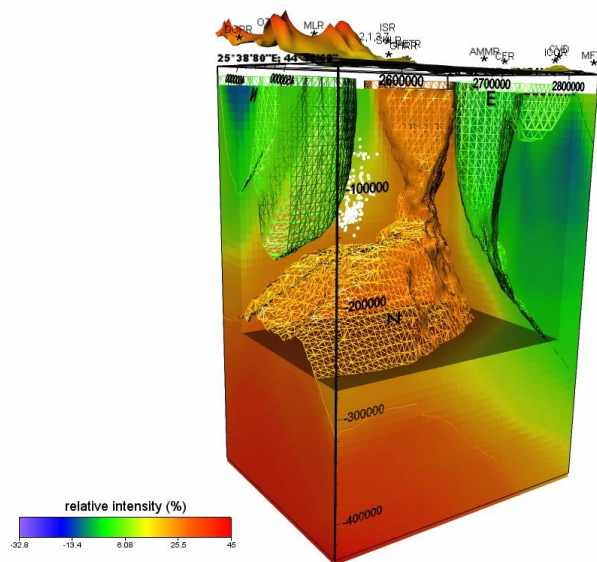
В Таблица 2 са представени коефициентите на корелация между различните експерименти, както и средните коефициенти на корелация. Общият среден коефициент на корелация е 0.67, което показва едно сравнително добро съвпадение на резултатите

Може да заключим, че като цяло и четирите експеримента показват относително една и съща картина в контраста на скоростите на повърхностните релееви вълни които се изменят в рамките на 30-40%, при преобладаваща точност 15-18%. (фиг. 8)

4. Заключение

Изследването показва, че прилагайки сравнително проста последователност от процедури,

Model Vrancea area in contrast parameter of seismic velocities



Фиг. 8. *Модел на изследваната територия до дълбочина 400 km. Изоповърхнините показват контраста на сеизмическите скорости в проценти от максималния контраст.*

състоящи се от измерване на спектъра на микросейзмичното поле в сейзмичните станции на избраната за изследване територия, построяване на карти на разпределението на интензивността на микросейзмичния сигнал за всяка честота в спектъра и привързване на получените карти към дълбочината с помощта на съотношението $H = 0.5\lambda$ може да се получи тримерно изображение на геоложките нееднородности. При това средният скоростен разрез на региона се използва в изчисленията чрез дължините на вълните на Релей λ и съответните им честоти в спектъра. Може да се оцени, че на основа на анализа на регистрираните микросейзми с мрежата от сейзмични станции - зависимостта на спектрите от геоложките условия се проявява по-силно отколкото зависимостта от времевите вариации.

Това означава, че съществува възможност за картиране на територията по параметъра интензивност на микросейзмичния сигнал и корелиране на резултатите с дълбочината геоложка структура на фокалната зона Вранча.

ЛИТЕРАТУРА

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

[2] Oncescu M.C., Bonjer K.P., A note on the depth recurrence and strain release of large Vrancea earthquakes// Tectonophysics.-1997.-272-P.291-302

[3] Artemieva I.M., Thybo H., Kaban M.K. Deep Europe today: Geophysical synthesis of the upper mantle structure and lithospheric processes over 3,5 Ga// Geo.Soc.Spec. Publ.-2006.-32.-P.11-41

[4] Goes, S., Govers, R. and Vacher, P. (2000). Shallow mantle temperatures under Europe from P and S wave tomography. Journal of Geophysical Research 105

[5] Marquering and R. Snieder, "SHEAR-WAVE VELOCITY STRUCTURE ... MODE-COUPPLING", Geophysical journal international, 127(2), 1996, pp.

[6] A.G.A. van der Hoeven, G. Schmitt, G. Dinter, V. Mocanu, W.Spakman, GPS probes the kinematics of the Vrancea Seismogenic Zone, Eos Trans. AGU 85 (19) (2005) 185–196.

[7] Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. Избранные труды – Москва: Наука. 1985-408с.

[?] Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Пустовитенко А.А. Новые данные о сейсмической опасности г. Одесса и Одесской области//“Будівельні конструкції“ – 2004.-2 вип. 61-С.388-397

[8] Щукин Ю.К., Добрев Т.Д. Глубинное геологическое строение, геодинамика и геофизические поля очаговой зоны Вранча// Карпатское землетрясение 4 марта 1977г. и его последствия.- Москва: Наука. 1980.-С.-7-40

[9] Чекунов А.В. Сейсмоактивный район Вранча – тектонічний аспект // Доп. АН УРСР. Сер. Б.-1986.-№5-С. 21-26

[9'] Чекунов А.В. Тектоническая модель сейсмоактивного района Вранча в Карпатах // Геол. журн.-1987. - №4. – С. 3-11.

[10] Сологуб и др. Строение литосферы вдоль геотраверса V на основании комплексных геолого-геофизических данных // Геофиз. Журн.- 1985.-7. №4 – С.3-18.

[11] Харитонов О.М., Красовский С.С., Куприенко П.Я. и др. Литосферный трансект Вранча – Южно-Украинская АЭС // Геофиз. Журн.- 1993.-15. №5 – С.23-31.

[12] Винник А.П. Неоднородности верхней мантии в районе Вранчанской зоны промежуточных землетрясений 4 марта 1977 г. и его последствия.- Москва: Наука. 1980.- С. 41-45

[13] Weidle C., Widliantoro S., CALIXTO Working Group Improving depth resolution of teleseismic tomography by simultaneous inversion of teleseismic and global P-wave travel-time data – application to the Vrancea region in South-Eastern Europe // Geophys. J. Int.- 2005. – 162. – P. 811-823.

[14] Martin M., Ritter J.R.R., the CALIXTO Working Group. High resolution teleseismic body wave tomography beneath SE Romania. I. Implication for three-dimensional crustal correction strategies with a new crustal velocity model // Geophys. J. Int.-2005. – 162. – P. 448-460.

[15] Martin M., Wenzel F., the CALIXTO Working Group. High resolution teleseismic body wave tomography beneath SE Romania. II. Imaging of a slab detachment scenario // Geophys. J. Int.-2006. – 164. – P. 579-595.

[16] Ismail-Zadeh, A., Schubert, G., Tsepelev, I., and Korotkii, A., 2008. Thermal evolution and geometry of the descending lithosphere beneath the SE-Carpathians: an insight from the past., Earth and Planetary Science Letters, 273, 68-79.

[17] F.Hauser, V.Raileanu, W.Fielitz, A.Bala, C.Prodehl, G.Polonic, A.Schulze VRANCEA99-the crustal structure beneath the southeastern Carpathians and the Moesian Platform from a seismic refraction profile in Romania. Tectonophysics 340(2001) 233-256

[18] Landes, M., W.Fielitz, F.Hauser, M.Popa and the CALIXTO Group, 2004a. 3-D upper-crustal tomographic structure across the Vrancea seismic zone, Romania. Tectonophysics, 382: 85-102

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

[20] Старостенко В.И., Кендзера А.В., Цветкова Т.А., Бугаенко И.В. Промежуточные землетрясения зоны Вранча и скоростное строение мантии Восточной Европы. Геофизический журнал №3, Т.35, 2013

НЕУТРОНЪТ – ИСТОРИЯ И НАУЧНОИЗСЛЕДОВАТЕЛСКИ ПРИЛОЖЕНИЯ

Петър А Георгиев

Департамент по химия, Университет на Милано, Милано, 20133, Италия

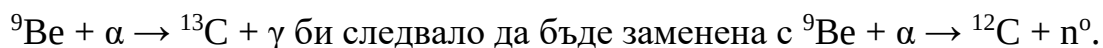
Резюме. Откритието на една от основните съставни части на атомното ядро е предшествано от важни исторически предпоставки като откритието на електрона, протона, представянето на атомния модел на Ръдърфорд и няколко експериментални опита, които на практика наблюдават ефекти на появата му без да го идентифицират. В настоящия доклад се прави ретроспективен преглед на събитията и фактите свързани с откритието на тази фундаментална частица и се проследява развитието на някои, днес приети за основни, научноизследователски техники, базирани на използването на неутрона като микроскопична проба на материята. Високоенергетични приложения, в които основната роля на неутрона е предизвикването на реакции на ядрено делене и производство на радиоизотопи остават изцяло извън фокуса на настоящата работа.

Ключови думи. Атомно ядро, неутрон, разсейване, дифракция, спектроскопия

Исторически предпоставки и откритие

Понятието “атом”, означаващо тогава най-малката неделима част на материята, е познато още от трудовете на Демокритос, датиращи от около 400г. пр.н.е. Трябвало е да изминат повече от 2 хилядолетия до откритието на най-малката тогава отрицателно заредена частица на атома, електронът, от британския физик Дж. Томсън през 1897г., който провежда експеримент много подобен на упражнение, популярно в днешните учебни лаборатории по физика като определяне на специфичния заряд на електрона с електродно-лъчева тръба. За идентификацията на “катодните лъчи” именно като електрони и определянето на специфичния им заряд, 2000 пъти по-голям от този на най-лекият познат дотогава йон - водородния, той получава Нобеловата награда за физика през 1906г. Томсън предлага и модел на атома, в който отрицателно заредените електрони се движат в положително заредена среда, с която заедно формират неутрален атом. Няколко години по-късно, през 1911г., в известния си експеримент с разсейване на α частици от златни атоми, Ръдърфорд доказва, че атомът се състои от дискретна, положително заредена част - ядро, около което са разположени електроните [1]. Името *протон* на най-малката положително заредена съставна част на атомното ядро, дава също той през юни 1920г. в своята известна Бейкърова лекция пред Британското кралско дружество [2], в която предполага и съществуването на подобна неутрална

частица, която нарича *неутрон*. Така или иначе оригиналният модел на Ръдърфорд за атома, състоящ се от положително заредено ядро и отрицателно заредени електрони около него, остава в сила до 1932г. когато съществуването на неутронът е доказано експериментално от асистента на Ръдърфорд, Джеймс Чадуик. Събитието е предшествано от опитите на Боте и Бекер през 1930г. [3], които бомбардират берилиево фолио с α -частици от радиоактивен източник, полоний (Po). Регистрираното от тях силно проникващо лъчение, емитирано от бомбардирания Берилий е погрешно идентифицирано като гама - γ . Малка стъпка напред, отново с погрешен извод, правят И. Кюри и Фр. Жюлио през 1931-1932г., [4] Подобно на опита на Боте и Бекер, те също бомбардират берилий с α частици, като на пътя на резултантното ново лъчение, зад берилия, поставят блок от парафин. Оказва се, че " γ -лъчите" емитирани от берилия са толкова високоенергетични, че избиват протони с изненадващо дълъг пробег, до 26 cm във въздух, което съответства на енергии на γ -квантите до 50 MeV. Малко повече светлина по въпроса хвърля Уебстър [5], който с помощта на Гайгер-Мюлеров брояч и йонизационна камера измерва интензитетите на лъчението от бомбардирани с α -частици Берилий и Бор, а също и неговата прониквателна способност. Познавайки в детайли работата на Ръдърфорд и запознат с неговата хипотеза за съществуването на неутрална частица с предполагаема маса равна на водородния йон, Чадуик съобразява, че това ново лъчение най-вероятно се състои именно от неутрони. Той провежда отново опитите с бомбардиране на берилий с α частици в усъвършенствана опитна установка, в която има възможност да измерва пробегът на избитите от парафина протони чрез брояч, поставен в газова камера, на различни разстояния от парафина, което му дава възможност да изчислява сравнително точно техните енергии. Облъчването на газове като H_2 , N_2 , He, Ar сочи, че неизвестното лъчение влиза в колизия с атомните ядра и предизвиква атомен откат, като отново енергията на бомбардиращите γ -кванти би трябвало да бъде изключително голяма - до 90 MeV в случай на азот например. Всички резултати, изброени по-горе, дават основание на Чадуик да предположи, че наблюдаваното ново лъчение се състои от частици с нулев електричен заряд и маса подобна на масата на водородния йон, т.е. на протона, а именно *неутрони*. Предположената от Кюри и Жюлио реакция на α -захват в берилиевото ядро е



Работата си и изводите от нея, Чадуик публикува в две статии [6, 7], които се приемат за доказателство за съществуването и експерименталното наблюдаване на нутрона, за което той получава Нобеловата награда за физика през 1935г.

Физически характеристики

Съществуването на елементарна частица с нулев електричен заряд и маса равна на масата на протона, извън атомното ядро, достатъчно дълго време, се оказва от изключителна практическа и фундаментална важност за съвременните научни изследвания, фокусирани върху характеризация на свойствата на материята, наблюдаване и доказване на природни закони и теории в областта на физиката и химията. Всичко това се дължи на специфичните физични свойства на неутрона, които са изредени по-долу и сравнени с аналогичните свойства на рентгеновите лъчи, които, за разлика от неутроните, могат да бъдат произвеждани във всяка университетска или друга научна лаборатория, което ги прави и по-популярни и добре познати сред научната общност.

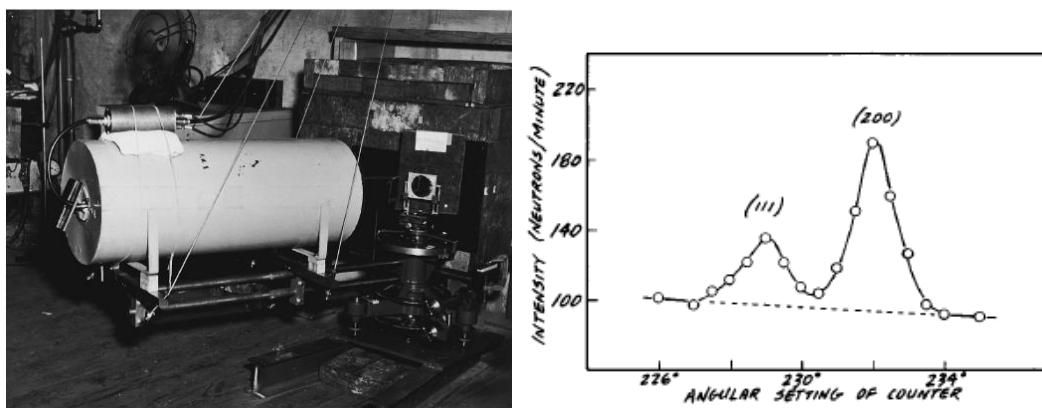
Неутрон	Фотон
n^0 , ел. заряд 0 C	γ , ел. заряд 0 C
$m_n = 1.67495E-27$ kg	$m_{ph} = 0$ kg
спин $I=1/2$, $\mu_n = -1.913 \mu_N$	спин=1, $\mu_{ph} = 0$
разсейван от атомните ядра и от електронният магнитен момент!	от електронните обвивки почти пренебрежимо разсейване от магн. мом.
$E_n[\text{meV}] = 81.89/\lambda_n^2 [\text{\AA}]$, $\sim 0.1 \div 1000 \text{ meV}$, $30 \div 0.3 \text{\AA}$	$E_{ph}[\text{keV}] = 12.398/\lambda_{ph}^2 [\text{\AA}]$, $1.5 \text{\AA} - 8.3 \text{ keV}$
b – разсеваща амплитуда	$f(Q)$ – ъглово зависим формфактор, вкл. f' , f''
$F_{hkl} = \sum_i b_i e^{2\pi i(hx_i + ky_i + lz_i)}$	$F_{hkl} = \sum_i f_i(Q) e^{2\pi i(hx_i + ky_i + lz_i)}$

Както се вижда по-горе от сравнителното представяне на свойствата на неутрона и рентгеновите лъчи, благодарение на масата на неутрона, съответните енергии на инцидентните неутрони с дължини на вълната сравнима с междуатомните разстояния и други характеристични разстояния или атомни и молекулни трептения са много по-ниски от съответните енергии на рентгеновите лъчи. Наред с изключително голямата си прониквателна способност, това е и едно от главните свойства на неутроните, което ги прави толкова подходящи за изучаване на материални обекти на микроскопично ниво. Друга отличаваща особеност е наличието на магнитен момент с големина около 1.9 ядрени магнетона. Макар и сравнително малък (ядреният магнетон е 1836 пъти по-малък от електронния магнетон на Бор), наличието на този магнитен момент е другото най-голямо предимство на неутрона като проба пред рентгеновите лъчи. За разлика от познатият атомно специфичен рентгенов разсейващ форм-фактор, при неутроните имаме пространствено изотропна ядрена разсеваща амплитуда, която е специфична характеристика на всяко атомно ядро. За разлика от фотоните, извън атомното ядро, неутроните имат

крайно време на живот. Средната му стойност е около 15 минути. Продуктите на разпад на неутрона са протон, електрон и неутрино. За тези няколко минути живот извън “черупката” си - атомното ядро, тази неутрална частица донася почти всичката ни налична днес информация за съществуващия магнитен порядък в заобикалящата ни материя, точните кристалографски позиции на водородните атоми в подредените структури наоколо, фононните дисперсионни зависимости познати само на теория в пре-неутронната ера и още едно необхватно количество информация за заобикалящия ни органичен и неорганичен свят, което не би могло да бъде описано в един доклад. Не случайно, равитието на научноизследователските неутронни методи носи още една Нобелова награда за физика, тази на Клифърд Шул и Бъртрам Брукхаус, през 1994г.

Развитие на неутронни методи и инструментариум

С откритието на верижната ядрена реакция от Ото Хан, нейното теоретично обяснение от Лиза Майтнер и, благодарение на Ферми, нейното възможно контролирано потвърждане, по време на и след Втората Световна Война започва развитието на първите ядрени реактори. Тогава стават възможни и първите експериментални опити със снопове от неутрони. Така през 1946г., на първия ядрен реактор в Оук Ридж, Тенеси, САЩ, Уолан и Сойер построяват първия неутронен дифрактометър и е измерена първата неутронна дифрактограма от прахов образец NaCl, фиг.1.

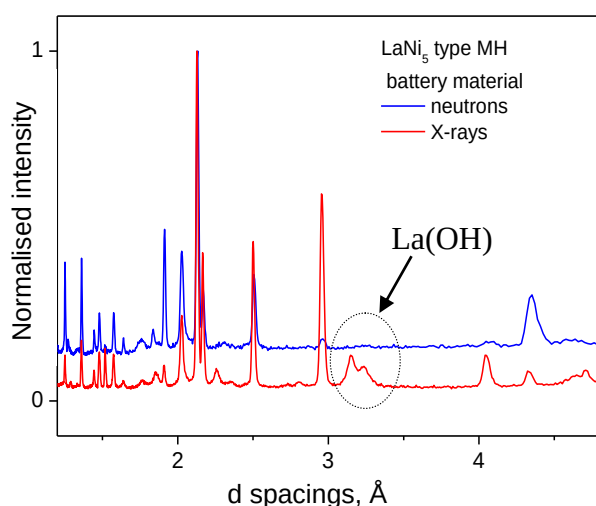


Фиг. 1. Неутронният дифрактометър на Уолан инсталиран на реактора в Оук Ридж, Тенеси, САЩ, 1945- 46г. Първата неутронна дифрактограма, отдясно, измерена от Уолан и Сойер на същия инструмент от прахов образец от NaCl [8].

Съвременни неутронни методи

Както вече беше отбелязано основите на неутронните методи са поставени с първите дифракционни и спектроскопски експерименти през 50-те години на миналия век, които представляват класически примери съответно за еластично и нееластично разсейване на неутрони. В първия случай се измерват брой

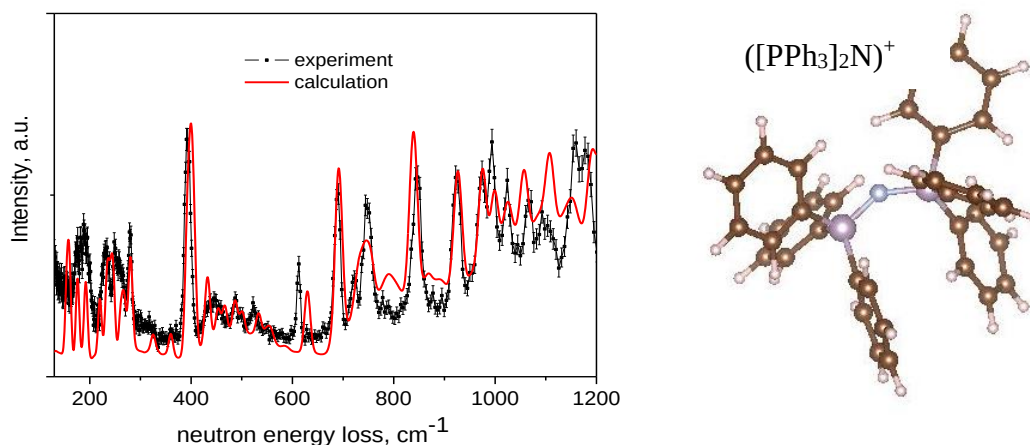
неутрони, разсеяни в дадена посока, а във втория се измерват и енергиите на инцидентните и разсеяните от изследваната проба неутрони, което позволява да се измерва количеството енергия, отдавана или поглъщана от атомите на изследваната проба при колизия с неутрон. Под покрива на един съвременен център за неутронни изследвания се помещават десетки инструменти специализирани за монокристална и прахова дифракция, на които могат да се решават кристални структури на нови съединения, да се характеризират микроструктурни промени в материали при различни физикохимични условия, фазови преходи и др. инструменти специализирани в измераване при разсейване под малки ъгли за характеризация на макроструктурно ниво, например микро- и мезопори и степен на тяхната запълненост от странични субстанции. Характеристичните размери тук са в региона от 1 до 100 nm приблизително. Рефлектометрия, при която се изследват дебелина и гладкост на тънки слоеве и системи от слоеве, неорганични или органични, на повърхността на твърда подложка или течност. За разлика от аналогичните рентгенови методи, неутронните техники, поради споменатата висока прониквателна способност на неутроните, са чувствителни към целия обем на характеризираната проба. Сравнителни неутронна и рентгенова дифрактограми (лабораторен апарат Siemens D5000), снети от настоящия автор, от една и съща проба от един типичен материал, многокомпонентна метална сплав от типа AB_5 (A - La, Nd, Ce, Pr, а B - Ni, Co, Mn, Al) след продължителна употреба в металхидридна акумулаторна батерия, са показани на фиг. 2. Макар и подобни на пръв поглед, с принципни различия, основаващи се на различните



структурни фактори за неутрони и рентгенови лъчи, се наблюдават и някои специфични за изследвания материал разлики. От множеството електрохимични цикли на заряд/разряд в алкална среда, по повърхността на металните частици, в резултат на корозионни процеси, се отделя известно количество лантанов (редкоземен) хидроксид - $La(OH)_3$, най-добре видим в областта 3 - 3.5 Å, (011) и (110) кристалографски направления.

Фиг. 2. Примерни неутронна (син цвят) и рентгенова (червен цвят) дифрактограми на $LaNi_5$ тип сплав използвана продължително време като електроден материал в металхидриден акумулатор. За рентгеновата дифрактограма беше използван комерсиален лабораторен апарат Siemens D5000. Неутронните данни бяха снети на дифрактометър E9, инсталиран в Хелмхолц Център Берлин, Германия.

В резултат, количествен фазов анализ проведен на базата на рентгеновата дифрактограма показва около 5 пъти по-голямо количество корозирал материал в сравнение със съответния неутронен анализ. Докато неутроните “пробват” еднакво целия обем на частиците, рентгеновите лъчи с дължина на вълната 1.54 Å “виждат” само един повърхностен слой с дебелина от порядъка на 1 μm, където е отделено цялото количество хидроксид. Една сравнително по-нова неутронографска техника е томографията, при която типично се изследват обекти с размери над 1 mm, цели технически изделия и детайли, археологически артефакти. Подобно на медицинските рентгенови снимки, тук изследваните обекти се облъчват с бяло (широк непрекъснат спектър) неутронно лъчение като цифров образ се регистрира за обекта. Типичен пример за нееластично разсейване на неутрони е показан на фиг. 3. В левия блок на фигурата се вижда част от неутронен спектър на $[\text{PPh}_3]_2\text{N}^+[\text{HCo}_6(\text{CO})_{15}]^-$ сол, доминиран от трептенията на атомите, в триметилфосфатния фрагмент.



Фиг. 3. Вибрационен спектър (вляво) и молекулна структура на $[\text{PPh}_3]_2\text{N}^+$ йон. Нееластичен спектър измерен от автора на инструмента TOSCA, ISIS, UK. Червената линия съответства теоретично изчислен спектър.

Този частен случай на нееластично неутронно разсейване, може да се разглежда като аналог на Рамановата спектроскопия, без присъщите за тази техника правила на селекция.

Заклучение

Откритието на една от основните съставни частици на атомното ядро, неутронът, и последващото развитие на многобройни научноинструментални методи и техники за характеризация на жива и нежива материя, в които неутронът е незаменима микроскопична проба с прониквателни способности по-големи от всяка друга научна проба и в същото време нискоенергетична и неразрушителна, дава на научната общественост мощен инструментариум за изследване и наблюдение на много широк кръг от природни феномени, действието на природни закони, проверка на съществуващи и създаването на

нови теории. В обобщен вид, всичко това се дължи следните свойства на неутроните и свързаният с тях инструментариум:

- 1) Висока проникваемост в повечето материали и надеждна локализация на атоми и магнитни моменти, включително ориентация и големина;
- 2) Способност да “различават” атоми със сходни атомни номера, доколкото съответните им сечения и/или разсейващи амплитуди се различават достатъчно;
- 3) Изключително подходящи за локализация на H (D) атоми и тяхната динамика;
- 4) Незаменима проба при характеризация на нискоенергетични състояния, слабосвързани състояния, например адсорбирани H, H₂, NH₃, CH₄, -CH₃, и др, въглеродороди, ротационни състояния, дифузионни процеси, активност на каталитични центрове;
- 5) Високата прониквателна способност, допълнително позволява изследваните образци да се поставят при различни физикохимични условия, като температура от порядък на mK÷1000 K, налягания от 0 до 10000 atm, магнитни полета рутинно до 6 T, с възможности до 12 T, и дори 30 T в съвсем близко бъдеще, в същото време характеризирайки междуатомни разстояния от порядък на 0.1 Å до 100 nm, директен достъп до процеси, протичащи във времеви интервал от порядъка на 10⁻¹²÷10⁻⁸ s.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] E. Rutherford, Philosophical Magazine, Series 6, **21** (1911) 669.
- [2] E. Rutherford, Bakerian Lecture: “Nuclear constitution of atoms”, Royal Society, 3 June 1911.
- [3] W. Bothe and H. Becker, Zeitschrift für Physik, **66** (1930) 289.
- [4] I. Curie and F. Joliot, C. R. Acad. Sci. Paris, **194** (1932) 273.
- [5] H. C. Webster, Proc. R. Soc. Lond. A **136** (1932) 428.
- [6] J. Chadwick, Nature **129** (1932) 312.
- [7] J. Chadwick, Proc R. Soc of London A **136** (1932) 692.
- [8] C. Shull, Rev. Mod. Phys. **67** (1995) 753.
- [9] C. G. Shull, W. A. Strauser, and E. O. Wollan, Phys Rev. **83** (1951) 333.
- [10] W. L. Roth, Phys. Rev. **110** (1958) 1333.
- [11] B. N. Brockhouse and A. T. Stewart, Phys. Rev. **100** (1955) 756.
- [12] B. N. Brockhouse and A. T. Stewart, Rev. Mod. Phys. **30** (1958) 236.

RESEARCH AND APPLICATIONS OF LIQUID CRYSTALS (LC)

L. I. Pavlov

Physics Department, South-West University, 66 Ivan Mihailov Str., Blagoevgrad,
e-mail: l_pavlov2004@yahoo.com

Summary. We discuss some important research results in the field of LC. Various results on flexoelectricity in case of continuous nematics or dispersed in a polymer matrix as well as their mixtures with nanotubes are presented. Some up to date applications of LC are discussed.

Key words. Liquid crystals, PDLC, Nanotubes, Lasers.

1. Introduction

The aim of the paper is to describe some important research and applications of liquid crystals (LC). The cholesteric LC as a subclass of the thermotropic LC are discovered by Reinitzer. He observed a type of cholesterol, investigated later by the german physicist Otto Lehman who named it a "liquid crystal".

The lyotropic LC were first discovered by the german physician and scientist Virchow who observed a water solution of myelin.

P. Bahmetiev first pointed out in 1906 the analogy between LC and living matter at low temperatures [1]. He described the reversible condition - anabiosis - of living organisms at low temperatures as an analogy between the transition from liquid crystal to crystal state referring to the works of Lehman.

The thermotropic LC, divided into three main classes: smectics, nematics and cholesterics were the best studied object for the purpose mainly of technical applications. The basic parameter to distinguish between the thermotropic mesophase is the temperature.

One of the important properties of LC, the unusual sensitivity of external factors such as light, mechanical and electrical influence, temperature and contact with other objects find important technical applications.

The series of unique properties of LC explain also their wide-spreading as one of the important building blocks of the living matter with the basic representative-the lyotropic LC.

The lyotropic LC are obtained via the procedure of solution of a substance into other one. The dissolvable substance is an object with polar heads caring electric charge, soluble in water (hydrophilic parts), and non-polar tails without charges (hydrophobic parts), soluble in oils and consisting of alkyl chains. Examples are the water solutions of soaps and detergents and examples of biological origin are proteins, DNA, RNA and model lipid membranes used for experiments as models of native membranes [2].

The following properties of LC have important technical applications. Although the molecule centers of the nematic molecules move in a chaotic manner as in case of liquids, their rod-like molecules point in one and the same direction-the director. The nematic molecule's configuration is such that by movement in the 3-dimensional space the molecule can coincide with its mirror image. The impossibility of such a coincidence-chirality-is a property of cholesteric LC since their director is twisted inside their volume, a property used e.g. in LC lasers or in LC indicators.

The smectics can be viewed as a package of two-dimensional liquid planes (often considerably folded) with the possibility of movement one with respect to the other. The myelin cover of the nerve fibers and plant's chloroplasts have a smectic-like layer structure.

2. Flexoelectricity

Promising with various applications is the flexoelectricity - the appearance of electric charges as a result of LC deformations analogous to piezoelectricity in case of solid crystals. By thermotropic LC the effect is due to asymmetry of molecule electric charges of these LC [3, 4]. A theoretical prediction of flexoelectricity for nematics is given in [5]. The existence of flexoelectric polarization due to biomembrane curvature is predicted in [6].

Among the various flexoelectric effects observed in nematics and discussed in the review [7] typical are the splay and bending distortion effects of an weakly anchored nematic in a transverse electric field. The initial observation of the flexoelectric bending is for a homeotropic MBBA (p-methoxybenzylidene-p-n-butylaniline) in a transverse static electric field. In [8] the theory of this effect is given, later generalized in [9] for the case of strong flexoelectric bending. The flexoelectric coefficient is measured in [10] of splay deformation of the director field of MBBA. The flexoelectric behaviour of a mixture of two nematics (one of them with few wt. %) is given in [11, 12, 13].

Mixtures of LC with single-walled carbon nanotubes (SWCNT) or with multiwalled carbon nanotubes (MWCNT) are studied first in [14].

Various investigations are dedicated to the interaction between carbon nanotubes with LC, mainly with nematics and discussed in the review publication [15]. The cited papers do not discuss the flexoelectric properties of such mixtures with nanotubes and this is investigated first in [16, 17]. Further results with PDLC films are given in [18].

The flexoelectricity in case of lyotropic LC is of interest in connection with the cell membranes which consist of LC [2, 19]. A deformation of a LC membrane leads to an electric polarization of the membrane due to the appearance of dipole and quadrupole moments [2, 20]. Conversely an electric polarization of the membrane leads to mechanic deformation of the membrane, i.e. to the converse flexoelectric effect [2, 21].

Photoflexoelectricity is observed if the membrane is photosensitive, a property obtained by membrane decoration with nanoparticles of CdS. As a result of light irradiation electric charges immerge due to photosensitivity of CdS. These charges additionally increase the electric polarization of the membrane in addition to the electric charges aroused due to its deformation. Some useful properties of nanoparticles are studied in [22].

On the basis of the direct and the converse flexoelectric effects, the new field of biomolecular electronics opens prospective to construct microsensor and correspondingly microgenerator that receive, respectively generate, microacoustic waves having power approximately equal to the power of the working regime of the cell [2].

3. Polymer dispersed liquid crystals

Polymer dispersed LC (PDLC) were intensively studied and discussed in [23]. These systems consist of one optically transparent polymer matrix with LC drops dispersed in it. The drops are approximately of a micrometer size.

These systems can have various applications and are candidates to be more preferred with respect to a series of traditional devices with similar applications as e.g. flexible display devices, intelligent glass facades and others. The polymer dispersed samples can be prepared by mechanical and ultrasonic mixing (SIPS technique) and also by heating until to isotropic phase to receive a homogeneous mixture with a following photo-polymerization (PIPS technique).

Various effects were observed, e.g. [23] with PDLC. However, all of them pay attention to the dielectric effects caused by quadratic interaction between the applied electric field and the director field of the dispersed nematic. The flexoelectric effects of linear interaction between the electric field and the deformations of the nematic director were not studied, namely

$$P = e_{1z} n(\operatorname{div} n) + e_{3x} (\operatorname{rot} n \times n)$$

Here P is the polarization vector, e_{1z} and e_{3x} are correspondingly the flexoelectric coefficients of the deformations splay and bending and n is the unit vector of the director.

Investigations on the linear flexoelectric properties of dispersed nematic in a polymer matrix are given in [24, 25] with the method of flexoelectric spectroscopy [26].

Further investigations are the observation of the gradient flexoeffect [27], the 1-dimensional dielectric-flexoelectric deformations in nematic layers [28], electrically induced texture changes in nematic layers [29], flexo-dielectric walls [30]. An important invention is the method of flexoelectric spectroscopy used as a tool in various investigations. Applications of flexoelectric spectroscopy for the case of

continuous nondispersed nematic are given in [31, 32] and for the case of a system LC-solid body in [33, 34].

The electric field effect on second harmonic generation in some nematic LC is investigated in [35, 36].

A detailed experimental study of laser light diffraction by single layers composed of liquid crystals (LC) micro-droplets dispersed in a transparent solid polymer matrix, is performed in [37]. The controllable size of the LC droplets in the layer can be used for an efficient control of both transmittance and diffraction of incident laser light [37].

The systems of LC and solid body (polymer) are attractive objects for various light-controlled applications [38-43].

The surface properties of the nematic are essential for the results of the flexoelectric spectral analysis. For instance the surface viscosity and the surface flexoelectric coefficient of bending determine to great extend the shape of the spectral curve [26, 31]. During the investigation in [32] it was noted a deviation from the existing theory [46, 31, 26] which is valid for a non-desorbing surfactant. It was supposed that this deviation is due to a gradient of surfactant density near the surface, since the surfactant orients the director of the LC. The experimental check of this more complicated theory is given in [47, 48].

The production of well-ordered and well oriented LC films as well as of dispersed LC in polymer matrices is of considerable interest. The reason of this interest are the various electro-optic applications, such as flexible displays, temperature sensors, devices for optical control and others.

To obtain such well-ordered and well oriented LC layers, recently the technique of LC orientation by teflon nano-layers is used. If placed on a solid substrate these layers cause a definite type of anchoring (usually a planar one) of the director due to the interface with the homogeneous or dispersed LC [49]. The surface contact of the nematic with surfactant PTFE (poly-tetrafluoroetilen) deposited as a layer with a thickness of a size of nanometers, creates a high quality orientation in LC and is discussed in [50].

It was observed in [51, 52] the influence of the teflon deposited layer on the morphology of the dispersed LC in a polymer matrix and its effect on the flexo-electro-optical spectrum of the PDLC system [52]. Flexo-electro-optical behavior of such a specimen is registered as a linear electro-optical modulation of the incoming signal. The flexoelectric origin of the registered induced electro-mechanical oscillations is discussed in [53]. The influence of phospholipid layers and nanotubes on electro-optical properties of nematic E7 is studied in [54]. The spontaneous emergence of water drops of micron dimensions in a mixture of nematic with water in the process of transition through the clearing point is observed in [55].

4. On some applications of LC

Some of the applications of the LC are based on their remarkable optical properties. The periodicity of the twisted structure of some cholesterics enables them to reflect the light in the wave interval of the visible light.

The characteristic length of the twist of the cholesterics varies with the temperature and hence the wavelength of the reflected light (i.e. its color) also depend on the temperature. This dependence is used to construct thermometers in the interval between -20 °C and 250 °C. The thermometer itself is a thin layer of cholesteric between two polymer plates. It is used to find heated sectors in electric microschemas; to localize inflammations and fractures in the human body; for localization of structural defects due to different thermo-conductivity in the presence of a defect etc. The thermo-sensitivity of the cholesterics is applied to visualize the images obtained in the infrared wave length interval due to the thermal influence of infrared light.

The characteristic length of the twist of the cholesterics is influenced also by pressure chemical ingredients and others. There exists a method to visualize images obtained by ultra-violet light. The method uses the change of the cholesteric twist as a result of a photochemical reaction due to ultraviolet light.

The nematic LC are used to construct devices for light polarization (polaroids). But one of the main applications of LC are the display devices in TV or computer industries. The LC displays are cheap, they consume less energy and give a good contrast of the image.

The investigation of model membranes open a new field of bio molecular electronics.

Micro sensor [2]. Since flexoelectricity leads to appearance of electric charges on the model membrane as a result of membrane deformations, then such an oscillating membrane could play the role of a micro sensor. The micro sensor introduced inside the cell could serve as a receptor of micro acoustic emissions from inside of the cell. These emissions will deform the membrane and give rise to flexoelectricity which is to be registered. The amplification of the so received electric signal is now possible at a magnitude of 10^3 in case of such bi-lipid membranes and is tested in laboratory conditions.

Micro generator [2]. On the basis of the converse flexoelectric effect a bio generator of sound waves at micro dimensions could be constructed. An application of alternating electric field on the bio membrane will lead to membrane deformations on micrometer scale. The resulting oscillations would generate sound waves

The cholesteric LC can serve as resonator cavities for LC-based lasers. [56]. In this case the Bragg scattering from the cholesteric twisted structure is used. The role of active laser medium is played by the molecules of an organic dye [57] incorporated in the LC. To achieve population inversion one uses e.g. semiconductor pumping lasers or flash lamps. LC lasers can operate in a continuous wave regime or in pulse regime.

LC lasers can be printed on a flat plate. In this case one of the applications tested in laboratory is the use of LC lasers as stickers on articles of trade which by illumination give the corresponding laser response. LC lasers find application in display devices due to better precision and control of colors.

Due to the portable dimensions and sensitivity of cholesterics to temperature and other influences, LC lasers are an ideal tool for monitoring and application in medicine and cosmetics.

5. Conclusions

Due to the remarkable properties of the whole spectrum of LC and especially of their sensitivity to external influences, LC serve as building blocks of the living matter and are a promising material for now days and future devices used in science and technology. The efforts of scientists in the field of thermotropic LC (flexoelectricity etc.) and in the research of living matter physics with liotropic LC puts them often in a leading position in some specific fields of research.

REFERENCES

- [1] П. Бахметиев, Биологические аналоги с кристаллами, Естествознание и география, **11**, 1-16, Москва (1906).
- [2] A. G. Petrov, The liotropic state of matter, Gordon and Breach (1999).
- [3] W. Helfrich, Z. Naturforsch. **26A**, 833 (1971).
- [4] A. Derzhanski, A. G. Petrov, Phys. Lett., **36a**, 483-484 (1971).
- [5] R. B. Meyer, Phys. Rev. Lett., **22**, 918 (1969).
- [6] A.G. Petrov, Physical and chemical basis of biological information transfer, J. Vassileva Ed., Plenum Press, N.Y.-L, 111-125 (1975).
- [7] A. G. Petrov, in: Measurements and interpretation of flexoelectricity, Dunmur, D. Fukuda, G. Leckhust, Eds. Chap.5, p. 251, INSPEC IEE, London (2001).
- [8] W. Helfrich, Phys. Lett. A, **35**, 393 (1971).
- [9] A. Derzhanski, A. G. Petrov, J. de Physique (Paris) **39**, 273 (1978).
- [10] H. P. Hinov, A. Derzhanski, in Liquid crystals and ordered fluids, A. Griffin, J. Johnson, Eds. Plenum., N.Y.Vol. **4**, 1103 (1984).
- [11] Y. Marinov, N. Shonova, C. Versace, A. G. Petrov, Mol. Cryst. Liq. Cryst., **329**, 1145 (1999).
- [12] Y. Marinov, et al., Bulg. J. Phys. **31**, 28 (2004).
- [13] Y. Marinov, et al., 7th Intern. Conf. Balkan Phys. Union, AIP Conf. Proceed., Vol. **1208**, 329 (2010).
- [14] M. D. Lynch, D. L. Patrick, Nano Letters, **2**, 1197 (2002).
- [15] C. Zacri, Liquid Crystals Today, **16**, 1 (2007).
- [16] A. G. Petrov, Y. G. Marinov, H. P. Hinov, L. Todorova, M. Dencheva-Zarkova, S. Sridevi, P. M. Rafailov, U. Dettlaff-Weglikowska, Mol.Cryst. Liq. Cryst., **545**, 58-66 (2011).

- [17] M. V. Kumar, S. K. Prasad, Y. G. Marinov, L. Todorova, A. G. Petrov, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **610**, 51-62 (2015).
- [18] L. T. Popova, *J. Phys. Confer. Series*, **682**, 012027 (2016).
- [19] S. Naydenova, M. Dencheva-Zarkova, L. Todorova, A. G. Petrov, C. R. Acad. Bulg. Sci, **59**, 405-410 (2006).
- [20] A. G. Petrov, I. Bivas, *Progress in Surface Sci.*, WS. Davidson, Ed. Pergamon, N.Y., **16**, 389-512 (1984).
- [21] A. Derzhanski, A. G. Petrov, M. Mitov, *Wss. Beitrage Marthin-Luther Univ. Halle-Wittenberg*, **52**, No 17, 70-192 (1985).
- [22] L. Slavov, T. Merodiiska, L. Todorova, M. Dencheva-Zarkova, S. Naydenova, V. Lovchinov, I. Nedkov, A. G. Petrov, *Nanoscience & Nanotechnology*, **6**, Heron Press, 46-48 (2006).
- [23] D. A. Higgins, *Adv. Materials*, **12**, 251 (2000).
- [24] L. Todorova, T. Angelov, Y. Marinov, A. G. Petrov, *J. Mat. Sci.: Mat. Electr.*, **14**, 817-818 (2003).
- [25] L. Todorova, S. Naydenova, T. Angelov, Y. Marinov, A. G. Petrov, *Bulg. J. Phys.*, **31**, 39-48 (2004).
- [26] A. G. Petrov et al, *Liq. Cryst.* **19**, 169 (1995).
- [27] A. Derzhanski, A. G. Petrov, Chr. P. Khinov, B. L. Markovski, *Bulg. J. Phys.*, **1**, 165 (1994).
- [28] A. Derzhanski, A. G. Petrov, M. D. Mitov, *J.de Physique*, **39**, 273 (1978).
- [29] H. P. Hinov, I. Bivas, M. D. Mitov, K. Soumarov, *Liq. Cryst.*, **30**, 945-949 (2003).
- [30] H. P. Hinov, I. Bivas, M. D. Mitov, K. Soumarov, *Liq. Cryst.*, **30**, 1293-1317 (2003).
- [31] Y. Marinov, N. Shonova, C. Versace, A. G. Petrov, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **329**, 533 (1999).
- [32] Y. Marinov, N. Shonova, S. Naidenova, A. G. Petrov. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **351**, 41 (2000).
- [33] G. B. Hadjichristov, Y. Marinov, A. G. Petrov, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **525**, 128-139 (2010).
- [34] Y. Marinov, G. B. Hadjichristov, A. G. Petrov, *Opt Las. Eng.*, **48**, 1161-1165 (2010).
- [35] S. I. Torgova, V. D. Shigorin, I. A. Maslyanitsin, L. Todorova, Y. G. Marinov, G. B. Hadjihristov, A. G. Petrov, *Jour. Phys. Confer. Ser.*, **558**, 012025 (2014).
- [36] L. Todorova, Y. G. Marinov, G. B. Hadjihristov, A. G. Petrov, I. A. Maslyanitsin, S. I. Torgova, A. Strigazzi, V. D. Shigorin, 20-nd Nat. Congres Phys. Sci., 25-29, Sept.2013, Sofia, Sect. Living and Soft Matter Phys., CD (2014).
- [37] G. B. Hadjichristov, L. I. Pavlov, Y. Marinov, A. G. Petrov, *Proc. SPIE*, **7027**, 70271M (2008).
- [38] M. Prez-Corts, et al., *Proc. SPIE*, **6422**, 642210-6 (2007).

- [39] G. B. Hadjichristov, Y. Marinov, A. G. Petrov, *Opt. Mater.*, **31**, 1578-1585 (2009).
- [40] Y. Marinov, G. B. Hadjichristov, A. G. Petrov, *Cryst., Res., Technol.*, **44**, 870-878 (2009).
- [41] G. B. Hadjichristov, Y. Marinov, A. G. Petrov, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **525**, 128-139 (2010).
- [42] Y. Marinov, G. B. Hadjichristov, A. G. Petrov, *Opt Las. Eng.*, **48**, 1161-1165 (2010).
- [43] G. B. Hadjichristov, Y. Marinov, A. G. Petrov, *Appl. Opt.*, **50**, 2326-2333 (2011).
- [46] A. Derzhanski, A. G. Petrov, *Phys. Lett.*, **36a**, 483-484 (1971).
- [47] L. Todorova, Y. Marinov, I. Maslyanitsyn, S. Torgova, A. G. Petrov, *J. Optoelec. Adv. Mat.* **7**, 269-272 (2005).
- [48] L. Todorova, Y. Marinov, I. Maslyanitsyn, S. Torgova, A. G. Petrov, *Bulg. J. Phys.*, **31**, 49-54 (2004).
- [49] S. D'Elia, C. Versace, N. Scaramuzza, Y. Marinov, A. G. Petrov, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **465**, 301-308 (2007).
- [50] J. S. Wittman, P. Smith, *Nature*, **352**, 1145 (1991).
- [51] Y. Marinov, S. D'Elia, L. Todorova, A. G. Petrov, C. Versace, N. Scaramuzza, *Liquid Crystals* **33**, 1219-1225 (2006).
- [52] Y. G. Marinov, G. B. Hadjichristov, S. Marino, L. Todorova, S. D'Elia, C. Versace, N. Scaramuzza, A. G. Petrov, *Bulg. J. Phys.*, **39**, 92-99 (2012).
- [53] A. G. Petrov, et al., *J. Optoelectron., Adv., Mater.*, **9**, 420-423 (2007).
- [54] H. P. Hinov, J. I. Pavlič, L. Todorova, Y. G. Marinov, S. Sridevi, M. G. Slaveykova, A. G. Petrov, P. M. Rafailov and U. Dettlaff-Weglikowska, In: *New Developments in Liquid Crystals and Applications*, Chapter 6, P. K. Choudhury, Ed., Nova Sci. Pub., Inc., New York, USA, pp. 151-198 (2013).
- [55] L. Todorova, H. P. Hinov, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **350**, 237-263 (2000).
- [56] C.-R Lee, et al., *Optics Express*, **1**, 25 (2009).
- [57] K. Dolgaeva, et al., *Journal of Optical Society of America*, **25**, 25-28 (2008).

Авторски указател

Сашка Александрова, *професор, ДПФ, Технически Университет – София*

Стефанка Алексиева, *студент, ФТК, Технически Университет – София*

Петър Георгиев, *ФзФ на СУ „Св. Климент Охридски“*

Мая Григорова, *гл. асистент, д-р, Геологопроучвателен Факултет, Минногеоложки Университет, София*

Румен Кобиларов, *асистент, ДПФ, Технически Университет – София*

Иван Копринков, *професор, ДПФ, Технически Университет – София*

Невена Кожухарова, *асистент, ДПФ, Технически Университет – София*

Бисер Кръстев, *студент, ФМИ, СУ „Св. Климент Охридски“*

Ивайло Минков, *доцент, ДПФ, Технически Университет – София*

Георги Найденов, *студент, МФ, СУ „Св. Климент Охридски“*

Емил Ойнаков, *докторант, Геологопроучвателен Факултет, Минногеоложки Университет, София*

Л. Павлов, *професор, Югозападен Университет, Благоевград*

Тодор Петров, *доцент, Институт по Физика на Твърдото Тяло – БАН*

Бойко Рангелов, *професор, Геологопроучвателен Факултет, Минногеоложки Университет, София*

Мария-Косара Свеленова, *студент, ТФ, Технически Университет – София*

Иван Стефанов, *гл. асистент, д-р, ДПФ, Технически Университет – София*

Димитър Стоянов, *доцент, ИПФ - Сливен към Технически Университет – София*

Радостина Ташева, *гл. асистент, д-р, ДПФ, Технически Университет – София*

Христо Търнев, *доцент, ДПФ, Технически Университет – София*

Елена Халова, *доцент, ДПФ, Технически Университет – София*

ПРОГРАМА НА ДНИТЕ НА ФИЗИКАТА 2016 г.**НАУЧНО-ПОПУЛЯРНА СЕСИЯ****19.04. вторник**

Доклад	Автор(-и)	Час
Откриване	доц. д-р И. Минков, ДПФ, ТУ-София	17:30
„Аристотел. Magister dixit!“	проф. д-р С. Александрова, ДПФ, ТУ-София	17:40
„Холографски методи за запис и визуализиране на триизмерни обекти“	проф. Елена Стойкова, ИОМТ	18:00
„Катастрофи на НЛО, крити документи и Екзополитика“	проф. Филипов, ИКИ - БАН	18:20
„Съвременните микро- и нано лазерни технологии“	доц. д-р Тодор Петров, ИФТТ-БАН	18:40

20.04. сряда

Доклад	Автор(-и)	Час
„Свърхпроводимост и свърхпроводими материали“	доц. Елена Назърова, ИФТТ-БАН	17:30
„Облаците, в които се раждат звездите“	доц. д-р Тодор Велчев, ФзФ на СУ "Св. Климент Охридски"	17:50
„Циклони, антициклони и обща атмосферна циркулация“	гл. ас. д-р Радостина Ташева; ДПФ, ТУ-София	18:10
„Биологично действие на йонизиращите лъчения“	Студент Георги Найденов, СУ, медицина, 3 курс	18:25
„Теорията на относителността“	студент Силвия Николаева Гълъбова, ТУ-София, МФ, Машиностроене, 1 курс	18:40
„Лазерите в съвременната индустрия(Част 2)“	доц. д-р Хр. Христов; ДПФ, ТУ-София	18:55

21.04. четвъртък

Доклад	Автор(-и)	Час
„Половин век космическа одисея“	доц. д-р Елена Халова, ас. Невена Кожухарова, проф. д-тн Сашка Александрова. ДПФ, ТУ-София	17:30
„Българските постижения в космонавтиката“	студент Мария-Косара Александрова Свиленова , ТУ- София, ТФ, 1 курс	17:50
„Методите Монте Карло: някои приложения във физичните симулации“	доц. д-р Христо Търнев; ДПФ, ТУ-София	18:05
„Теорията на Айнщайн за гравитационните вълни“	студенти Стефанка Алексиева ФТК , ТУ-София 3 курс и Бисер Кръстев , СУ, 3 курс	18:20
„Оптиката във физиката. Оптични системи“	студент Иван Атанасов Райчев , ТУ-София, МФ, Мехатр.,1 курс	18:35
„Необходима ли е тъмната материя за обяснение на някои наблюдавани феномени“	доц. д-р Ивайло Минков ДПФ, ТУ-София	18:50

22.04. петък

Доклад	Автор(-и)	Час
„Физика на веществата във Вселената и на Земята“	проф. д-р Иван Лалов ; ФзФ на СУ "Св. Климент Охридски"	16:00
„От телефона на Бел до модерните клетъчни телефони“	ас. Невена Кожухарова , доц. д-р Елена Халова , проф. д-тн Сашка Александрова ; ДПФ, ТУ-София	16:30
„Неутронът - история и научноизследователски приложения“	д-р Петър Георгиев	16:45
Демонстрации – клуб Роботика	студенти от клуб “Роботика“	17:00
Демонстрации	ас. инж. Л. Георгиев , ДПФ	17:30

НАУЧНА СЕСИЯ**23.04. събота**

Доклад	Автор(-и)	Час
„Странните земетресения – от древността до днес“	проф. д-р Бойко Рангелов, МГУ „Св. Иван Рилски“	10:00
„Сеизмични проучвания в моретата и океаните“	д-р М. Григорова, МГУ „Св. Иван Рилски“	10:20
„Микросеизмично сондиране - Оценка на чувствителността на метода с реални експерименти на реален дълбочинен обект – сеизмогенна зона Вранча“	докторант Е. Ойнаков, МГУ „Св. Иван Рилски“	10:40
„Assessment of radiological risk due to terrestrial gamma exposure in the National Park Centralen Balkan region“	ас. Румен Кобиларов, ДПФ, ТУ-София; Лъчезар Костов АЯР, Христо Протохристов; ИЯИЯЕ-БАН	11:00
„Нова оптична схема на z-scan метода“	доц. д-р Тодор Петров, ИФТТ-БАН	11:20
Кафе-пауза		11:40
„Модел на квазипериодичните осцилации и маса на микроквазара GRO 1665-40“	гл. ас. д-р Радостина Ташева и гл. ас. д-р Иван Стефанов, ДПФ, ТУ-София	12:10
„Относно волт-амперната характеристика на фотодиод“	доц. д-р Д. Стоянов, ИПФ-Сливен	12:30
„Съвременни твърдотелни технологии за съхранение на водород и основни методи за анализ на потенциални нови материали“	д-р Петър Георгиев	12:50
„Тенденции в изследването и приложението на течните кристали“	проф. Л. Павлов, Югозападен Университет, Благоевград	13:10
„Наблюдаване на корпускулярно-вълнови свойства в един експеримент“	проф. д-р Иван Копринков ДПФ, ТУ-София.	13:30
„Фрактални антени“	студент Венцислав Начев, ТУ-София, ФТК, 3 курс	13:50