



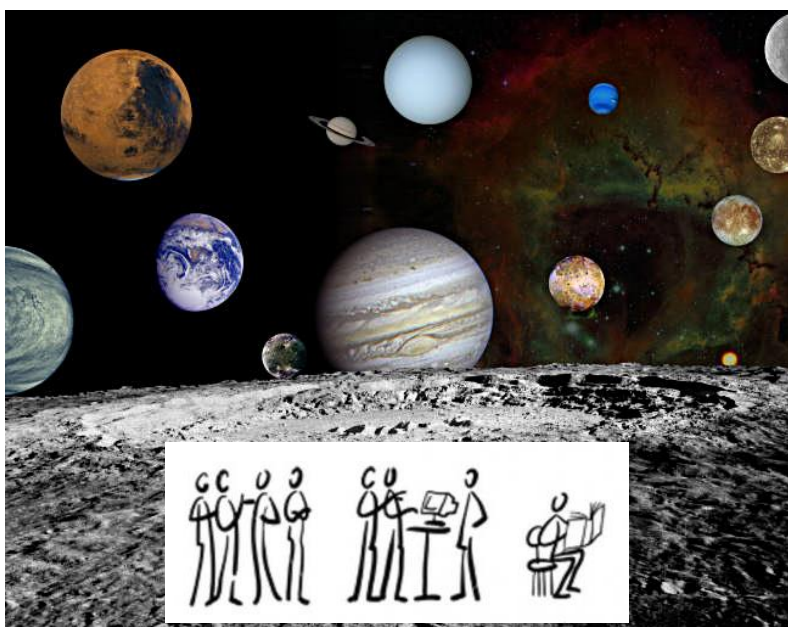
Технически университет София



Катедра Приложна физика

Сборник популярни и научни доклади

Дни на физиката 2018
Том 10



София, 18 - 21 Април 2018 г.

Дни на физиката 2018

Сборник популярни и научни доклади

Редактори: Е. Халова
С. Александрова
Н. Кожухарова

ИЗДАТЕЛСТВО НА ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

ISSN 1313-9576

Предговор

Настоящият десети том на „Сборник популярни и научни доклади“ включва представени на традиционните „Дни на физиката“ доклади. „Дни на физиката са част от „Дни на науката“ в Технически университет – София и се организират вече 14 години от Департамента по приложна физика (сега – Катедра по приложна физика) и се състояха в периода 21-24 април 2018г. Както всяка година те по традиция бяха посветени на годишнини на бележити физици като Джеймс Джаул и Макс Планк, както и на Нобеловата награда по физика за 2017 година. Акцентите в представените от студентите – бакалаври и магистри, теми бяха свързани с основните тематички в обучението им, а дори и като част от дипломните им работи. Участниците, представили доклади през тази година, бяха както студенти от ТУ-София и от МГУ "Св. Иван Рилски", така и преподаватели по физика от КПФ към ТУ-София, от филиала на ТУ-София в Сливен и други университети (МГУ "Св. Иван Рилски") и учени от БАН.

Докладите бяха посветени на интересни и актуални теми от различни области на физиката, свързани с фундаментални проблеми на модерната наука и теми от историята на физиката. Общият брой на представените презентации бе 20 и обхващаха 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, дори и от студенти в магистърски програми, участвали със свои представяния от първата година на тяхното обучение в бакалавърската програма. 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 демонстрации 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. студенти

Пълен списък на презентациите от Дните на физиката, са дадени в края на сборника. Всички включени статии, представени на „Дни на физиката-2018“, 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 - 2018” - лектори и слушатели, за техния интерес към физиката и нейните приложни аспекти. Изказваме благодарност на членовете на Организационния комитет: проф. д-р И. Копринков, гл. ас. Н. Кожухарова и доц. д-р Т. Арабаджиев.

Организирането и провеждането на Дните на физиката, както и издаването на настоящия сборник са съфинансирани по вътрешния конкурс на ТУ-София 2018 със средства от субсидията за научна дейност. От името на Организационния комитет и на студентите изказваме благодарност за финансовата подкрепа на НИС към ТУ-София.

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

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

СЪДЪРЖАНИЕ

ПРЕДГОВОР

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНИ ДОКЛАДИ

Н. Кожухарова, Е. Халова, Законът за запазване на енергията или 200г. от рождението на Джаул.....	2
Е. Халова, Н. Кожухарова, Живот и творчество на великия физик Макс Планк.....	9
С. Александрова, Нобеловата награда по физика за 2017.....	15
И. Начев, Л. Димчева, Отопление на сателитни антени и антенни полета.....	28
Х. Лачева, Х. Ковачев, П. Тенев, К. Младенов, Идеите и постиженията на Елън Мъск, представени чрез инфографики.....	33
В. Николова, Х. Димитров, Опознаването на материята.....	38
Симеон Симеонов, Линейно топлинно разширение. Изследване и приложение.....	46

НАУЧНИ ДОКЛАДИ

Р. Андреева, Числени симулации на електромагнитни трептения.....	52
Д. Стоянов, GW150914. Кинематика на система от две черни дупки.....	59
Р. Ташева, И. Стефанов, Област на допустимите стойности на параметрите на милисекундния пулсар XTEJ 1807-294 според модела на релативистка прецесия.....	67
I. Uzunov, T. Arabadzhiev, Numerical calculation of intrapulse raman scattering using split-step fourier method with two iterations.....	74
B. Rangelov, F. Shadiya, Y. Ivanov, Fractal nature of the Maldives Archipelago.....	81
F. Shadiya, B. Rangelov, The Maldives natural hazards and early warning system.....	87
Р. Кобиларов, Приложение на неутронния активационен анализ в екологията.....	95
Я. Георгиев, Пренос на данни чрез оптични мрежи (оптични комуникации).....	103
Авторски указател	110
Програма на Дните на физиката	111

ЗАКОНЪТ ЗА ЗАПАЗВАНЕ НА ЕНЕРГИЯТА ИЛИ 200 ГОДИНИ ОТ РОЖДЕНИЕТО НА ДЖЕЙМС ДЖАУЛ

Невена Кожухарова и Елена Халова

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

Резюме. През настоящата 2018 година отбелязваме 200 години от рождението на един от най-известните английски физици - Джеймс Джаул и по традиция представяме неговите най-значими постижения и открития в областта на науката и по-специално физиката. Това е и повод отново до се обърнем към развитието на идеите и теориите във физиката от преди два века, голяма част от които оказват влияние не само върху последвалото развитие на науката, а и върху нашето всекидневие днес.

Ключови думи: Джеймс Джаул, биография, закон за запазване на енергията.

1. Биография

Джеймс Прескът Джаул е роден на 24 декември 1818г. в Солфорд, близо до Манчестър. Бащата - Бенджамин Джаул е собственик на сравнително голяма пивоварна. В семейството има още двама сина - по-голям и по-малък, както и две по-малки от Джеймс сестри. Една от сестрите умира на 14 годишна възраст от болест. Джеймс е много близък още от дете и до края на живота си с по-големия си брат Бенджамин, с когото учат заедно и прекарват много време.

Джаул получава първоначалното си образование от частни учители, което е свързано с неговата болнавост. Страда от заболяване на гръбнака и е бил продължително лекуван докато състоянието му се подобрява донякъде. Но през целия си живот остава прегърбен, което се отразява и на характера му - бил е доста срамежлив. През 1834г. започва да учи в Манчестър при Джон Далтон (известен на широката публика с името на болестта далтонизъм, от която е страдал и самия той, но също и със закона за парциалното налягане на газовете). Две години по-късно Далтон получава сърдечен удар и се оттегля, поради което Джеймс Джаул продължава обучението си при сътрудниците на Далтон - Уилям Хенри, Питър Юарт и Итън Ходжкинсън, които също оказват влияние върху младия Джаул. Също като своя учител, Джаул е привърженик на атомната теория за строежа, по време, в което голяма част от учените са силно скептични към нея. През следващите години Джеймс Джаул продължава обучението си в Манчестър при Джон Дейвис и по това време започва да се интересува от



Фиг. 1 Портрет на Дж. Джаул от 1874г.

електричество. Той работи заедно с големия си брат и двамата често експериментират, предизвиквайки често токови удари един на друг или пък на прислугата в дома им.

След приключване на образованието си, Джаул активно се включва в работата и ръководството на семейната пивоварна до продажбата ѝ през 1854г. Това му осигурява значителни собствени доходи, с част от които финансира и научните си изследвания.

През 1847г. се жени за Амелия Гриймес, дъщеря на митнически служител от Ливърпул и двамата имат две деца (син и дъщеря), но Амелия умира при раждането на второто дете.

Джеймс Джаул умира на 70 годишна възраст през 1889г. в дома си в Сейл, предградие на Манчестър. На надгробната плоча е изписано числото „772,55“, което е неговото окончателно измерване на механичния еквивалент на топлината. На плочата има и цитат от Евангелие на Йоан: „Аз трябва да върша делата на Тогова, който ме е пратил, докле е ден; настъпва нощ, когато никой не може да работи.“



Фиг. 2. Надгробната плоча на Джаул

2. Научна дейност

2.1. Изследвания в областта на електричеството

Първоначално заниманията с наука са като хоби за Джаул. Още докато ръководи семейната пивоварна, той проучва възможностите за замяна на действащите в предприятието парни машини с новооткритите електромотори. Мотивацията е да се оценят икономическите ефекти от такава замяна и Джаул се фокусира върху изследване за определяне на това кой от двата вида източници е по-ефективен. Това е и първата му публикация в списание - „Анълс оф Електрисити“, издавано от Уилям Стърджън. При тези изследвания той измерва отделената топлина при протичането на електрически ток. През 1841г. достига до откриването и формулирането на закона на Джаул-Ленц, като неговата формулировка гласи, че отделеното количество топлина, развита при прякото действие на всеки волтаичен ток е пропорционална на квадрата на големината на тока, съпротивлението на проводника и времето на протичане на тока (добре познатата ни зависимост $Q = I^2 R t$). При това Джаул достига до извода, че изразходването на фунт въглища е по-ефективно от изразходването на фунт скъп цинк в електрическа батерия. Изчисленията му са, че при парните машини се извършва пет пъти повече работа, отколкото при електрическите източници. Това заключение отчасти е следствие от факта, че по това време се използват силно неефективни източници, наречени клетка



Фиг. 3. Схема на клетка на Гроув.

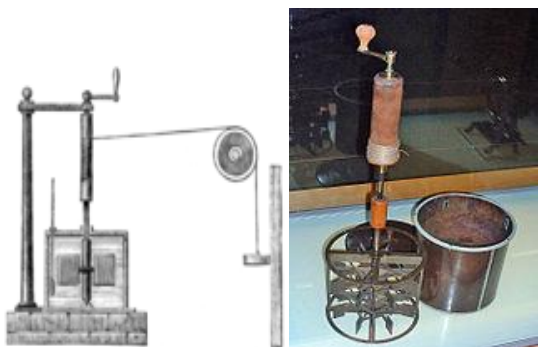
на Гроув (фиг. 3). Своите експериментални резултати Джаул публикува през 1843г. и според него установеният ефект на нагриване на проводниците се дължи на генериране на топлина в самия проводник, а не на пренос на топлина от друга част на опитното устройство. С това той се противопоставя пряко на поддържаната от преобладаващата част учени калорична теория, според която „топлината е особена субстанция, която не се появява и изчезва“ (въведена от А. Лавазие половин век по-рано и успешно интерпретирана в теорията на парния двигател на С. Карно от 1824г.). Така откъснат от академичните и инженерни среди, Джаул се сблъсква със сериозна съпротива от привържениците на калоричната теория. Изследванията в тази област насочват интереса на Джаул към въпроса какво количество работа може да се извлече от различните видове източници и съвсем логично към въпроса за преобразуването на енергията. Това е и времето, когато Джаул за целите на измерването на работата при различни източници, въвежда единица за извършена работа *фут-паунд*, дефинирана като: *способността да се издигне един фунт на височина един метър*, която е една от първите въведени единици за работа. Днес единицата в Международната Система измерителни единици - СИ - носи неговото име. (и не само за работа!)

При своите опити да представи резултатите пред Кралското дружество, Джаул среща неразбиране и е квалифициран като провинциален дилетант. Поради това след преместването на Стърджън в Манчестер, Джаул започва да чете лекции в създадената от Стърджън Кралска викторианска галерия. Двата се превръщат в ядро на интелектуалците в града. И двамата споделят възгледа, че трябва да се обединят науката и теологията, мнение несподеляно от голяма част от учените по това време. Джаул е повлиян и от Франц Епинус и се опитва да обясни наблюдаваните електрични и магнитни явления с концепцията за атоми, заобиколени от „калоричен етер в състояние на вибриране“.

2.2. Изследвания в областта на термодинамиката

С времето интересът на Джаул се измества от чисто практическите проблеми към по-общи разсъждения за преобразуването на енергията. Той е от малкото привърженици на Хепарат и кинетичната теория на газовете.

Той се насочва към намирането на механичен еквивалент на топлината. Установява, че за повишаването на температурата на един фунт вода с един градус по Фаренхайт е необходимо прилагането на 838 ft.lbf (фут-паунда) механична работа, което се равнява на стойност 4,51 J/cal, стойност много близка до съвременните измервания от 4,1860 J/cal. Джаул обявява тези резултати на среща на британските химици през 1843г., но изявлението му е посрещнато с мълчание. Затова той започва да търси чисто механична демонстрация на преобразуването на работа в топлина и за целта конструира специален уред за измерването на триенето на течност във филтър. Прекарвайки вода през перфориран цилиндър, успява да измери лекото вискозно нагриване на течността и получава механичен еквивалент от 4,14 J/cal.



Фиг. 4. Схема и части на уреда за измерване на механичния еквивалент.

извършване на работа за свиване на газ и получава механичен еквивалент 4,29 J/cal. В много отношения този експеримент е най-уязвим за критиците му и Джаул полага специални усилия за преодоляване на евентуални възражения чрез умело дефиниране на опита. Въпреки това предложението за публикуване в издание на Кралското дружество е отхвърлено и Джаул публикува резултатите във „Философикал мегазин“, където пряко се противопоставя на базираните на калоричната теория разсъждения на Сади Карно и Емил Клапейрон - „...механичната сила, изразходвана при въртенето на магнито-електрична машина е преобразувана в топлина, развита при преминаването на индуктивните токове през намотките; и, от друга страна, двигателната сила на електромагнитния мотор е получена за сметка на топлината от химичните реакции в батерията, чрез която той работи.“

През 1845г. Джаул представя пред учени в Кеймбридж своето изследване „За механичния еквивалент на топлината“, където описва най-известния си опит - падаща течност завърта водно колело, при което се извършва механична работа в изолирана бъчва с вода и се измерва нарастването на нейната температура. Изчисленият в този експеримент механичен еквивалент е 4,41 J/cal, а най-прецизното измерване дава стойност от 4,159 J/cal, близко до съвременните оценки.

Работите на Джаул не се приемат първоначално от научната област, тъй като резултатите му силно зависят от точността на измерванията, а той твърди, че измерва температурата с точност 1/200 от Фаренхайта, което се равнява на 3 mK. Такава точност е необичайна за експерименталната физика от този период, но Джаул има достъп до практическите техники, използвани в пивоварството. Голяма помощ му оказва и Джон Денсър, който е признат майстор на научни инструменти. Работата на Джаул подкрепя и допълва теоретичната работа на Рудолф Клаузиус. В предлаганата от Джаул кинетична теория на топлината той смята, че тя представлява форма на ротационна, а не на транслационна кинетична енергия. Тази теория е свързана и с важен концептуален въпрос - защо топлината като форма на молекулно движение не замира постепенно? В своята теория Джаул предполага, че ударите между атомите или молекулите са абсолютно еластични.

На представяне на теорията на Джаул пред Британската асоциация в Оксфорд присъстват Стоукс, Фарадей и Томсън (бъдещият лорд Келвин, който по това време е професор по естествена философия в Глазгоу). Стоукс е склонен да приеме идеите на Джаул, Фарадей е поразен от тях, но има съмнения, а Томсън е заинтригуван, но скептичен.

При случайна среща през 1847г. на Джаул с Томсън, те се опитват да проведат експеримент за измерване на разликата в температурата на водата в горния и долния край на водопад, но това се оказва доста сложна задача. Томсън признава, че резултатите на Джаул се нуждаят от теоретично обяснение, макар че известно време още продължава да защитава другата школа. В публикацията си за абсолютната температура Карно пише „Преобразуването на топлина в механично действие е вероятно невъзможно и определено не е открито още“, но под черта отбелязва „много забележителните открития на Джаул“ и по този начин маркира своите първи съмнения в теорията на Карно. В кореспонденция между Джаул и Томсън има планирани съгласувани между двамата експерименти, част от които не се провеждат, но Томсън все повече се убеждава в теорията на Джаул. От 1851г. нататък започва плодотворно сътрудничество между двамата като Джаул провежда експерименти, а Томсън анализирайки резултатите прави предложения за следващи опити. Това довежда и до откриването на ефекта на Джаул-Томсън, а публикуваните резултати съществено допринасят за приемането на изследванията на Джаул и утвърждаване на кинетичната теория.

През 1850г. Джаул все пак е приет в Кралското дружество, в последствие е председател на Манчестърското литературно и философско дружество и член на Британската асоциация за напредък в науката. Джаул продължава да се интересува от различни научни въпроси до края на живота си, като дори докладва за наблюдаването на **зелен лъч** към края на живота си.

3. Развитие на понятието „енергия“ и дефинирането на Закона за запазване на енергията

3.1. Развитие на понятието „енергия“

В края на 17-ти век вместо понятието енергия е въведено от Лайбниц понятието „жива сила“. То характеризира движението на тяло с дадена маса и определена скорост и се определя като произведението $m \cdot v^2$, а Кориолис предлага да се раздели на две като величината $E_k = mv^2/2$ нарича кинетична енергия и я дефинира като механична, а не като топлинна характеристика. Друга механична характеристика е потенциалната енергия, която притежават телата, поставени на определена височина над земната повърхност. При падане тази енергия се превръща в кинетична и тялото придобива скорост и сумата от двете енергии се запазва постоянна. Това е установено от немския физик и физиолог - Хелмхолц, през 1847г.

Идеята за възможен обмен на енергия при механичните и топлинните явления възниква в края на 18-ти век в Бавария и е на английският учен

Румфорт (по професия е военен), който при пробиване на оръдейните дула забелязъл, че металът се загарява. Той поставя ред опити за връзката между триенето и топлинните явления и установява, че специфичният топлинен капацитет на металните стърготини не се отличава от капацитета на металното дуло, което прави неприложима теорията за топлината като проява на топлорода (В началото на 19-ти век топлината се схваща като флуид, който се предава от по-топлите към по-студените тела, за да се възстанови неговото равновесие). Ако специфичният топлинен капацитет на металните стърготини е по-малък от този на металната цев, то топлородът действително би повишил температурата на стърготините при пробиването. Но тъй като капацитетът е неизменен, то температурата трябва да остане същата. Нейното повишаване е свързано неизменно с извършената механична работа при пробиването.). Румфорт достига до извода, че топлината е особен вид движение на частиците на тялото. В началото на 19-ти век Юнг, по-известен със своите опити по интерференция на светлината, достига до гениалното прозрение, че „Топлината не се отличава по своята природа от светлината, но представлява по-бавни трептения.“ С. Карно разглежда топлината като „движеща сила, движение на частиците на тялото“.

3.2. Законът за запазване на енергията

За откривател на закона за запазване на енергията при механичните и топлинните явления се счита немският корабен лекар Робърт Майер. Той забелязъл при своите пътувания, че при бурно вълнение морето повишава температурата си. Неговите наблюдения за взаимното превръщане на механичната енергия в топлина и обратно включват и физиологични процеси, много далеч от механиката. Той прави изводи от факта, че венозната кръв на моряците в тропиците е по-светла, отколкото е северните страни, и, следователно в по-топлите страни за поддържане на телесната температура са необходими по-слаби окислителни процеси и по-малко храна и енергия. Научната статия с тези резултати не е приета в сп. „Annalen der Physik” и в малко съкратен вид се публикува в списание по химия. През 1842г. той публикува няколко работи, в които фактически изказва закона за запазване на енергията в неживата природа, а малко по-късно той го отнася и към органичните системи. Научният приоритет на Майер за формулирането на закона за запазване на енергията е оспорван за известен период от време и това силно разклатило здравето му, но днес той се смята за откривател на закона.

Смисълът на закона, формулиран през 1843г. от Джаул и по-късно от Хелмхолц е, *че при всички механични и топлинни процеси общата енергия се запазва, като преминава в еквивалентни количества от механична енергия на движение на телата към вътрешна енергия на техните частици и обратно.*

Законът за запазване на енергията като всички закони за запазване във физиката, има двоен смисъл:

1) Забранителен - той показва, че не са възможни процеси, при които общата енергия на всички взаимодействащи си тела да се изменя;

2) Положителен - законът разрешава процеси с обмен на механична или вътрешна енергия, а също процеси с превръщане на механичната във вътрешна енергия и обратно в еквивалентни количества.

Законът за запазване на енергията не е нито единственият, нито дори първият по време закон за запазване на определена физична величина при различни физични процеси в изолирана система. Още през 1669г. Холандският учен Хр. Хюйгенс разглежда еластичен удар между две тела и установява закона за запазване на импулса, т.е. векторната сума от импулсите на двете тела преди и след удара е една и съща. През 1746г. бележитият математик и физик Л. Ойлер и Д. Бернули откриват закона за запазване на момента на импулса на въртящите се тела. Установено е, че тези закони, както и законът за запазване на енергията, се изпълняват при всички явления, изучавани в класическата и съвременната физика и имат споменатия по-горе двоен смисъл - забранителен и положителен, като не позволяват „чудодейни“ явления в нарушение на физическата реалност.

През 1843г. Джаул измерва т.н. механичен еквивалент на топлината, т.е. каква механична работа трябва да извършат външните тела върху даденото тяло, за да се загрее то (да се повиши вътрешната му енергия) до същата степен, както при получаване на количество топлина, равна на единица. Всъщност понятието „вътрешна енергия“ е въведено от немския физик - теоретик Р. Клаузиус. По-обща валидност на закона за запазване на енергията открива през 1847г. Х. Хелмхолц, като подчертава, че законът има всеобщ характер и включва освен механичната енергия, вътрешната енергия, енергията на електричните, звуковите, физиологичните и други процеси. При всички тези процеси и явления енергията може да преминава от един вид в друг в еквивалентни количества, но общата енергия в една изолирана система, която не взаимодейства с други тела, остава постоянна.

4. Заключение

Физиката е имала и все още има значителна роля и влияние на всекидневния ни живот. В своето развитие е претърпявала множество обрати и „революции“ по отношение на разбирането за света около нас. Тази наука е много интересна и богата на идеи и продължава да променя нашия бит и живот. Проследяването на етапи от нейното развитие или приносът на най - известните учени от миналото е интересно, но може да бъде и ползотворно за младите хора и бъдещи учени и откриватели и бихме се радвали, ако с настоящото представяне малко сме допринесли за това

ЛИТЕРАТУРА

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

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

ЖИВОТ И ТВОРЧЕСТВО НА ВЕЛИКИЯ ФИЗИК МАКС ПЛАНК

Елена Халова и Невена Кожухарова

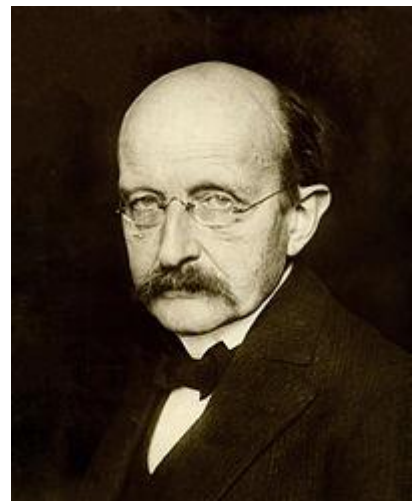
Катедра Приложна Физика, ФПМИ, ТУ-София, бул. "Кл. Охридски" №8, София 1000
e-mails: ehalova@tu-sofia.bg, nkojuharova@tu-sofia.bg

Резюме. Настоящия доклад е посветен на 160г. от рождението на великия германски физик-теоретик и 100г. от присъждането му на Нобелова награда по физика за откриването на закона за квантуване на енергията. Традиционна рубрика в „Дни на физиката“ е представяне на живата и творчеството на учени, допринесли за развитието на науката физика, както е Макс Планк, поставил основите на Квантовата физика.

Ключови думи: Макс Планк, биография, творчество.

“Квантовата теория на Планк... е, без всякакво съмнение, най-голямата и най-дълбоката революция, която натуралната философия е претърпяла от времето на Нютон”.

А. Пуанкаре



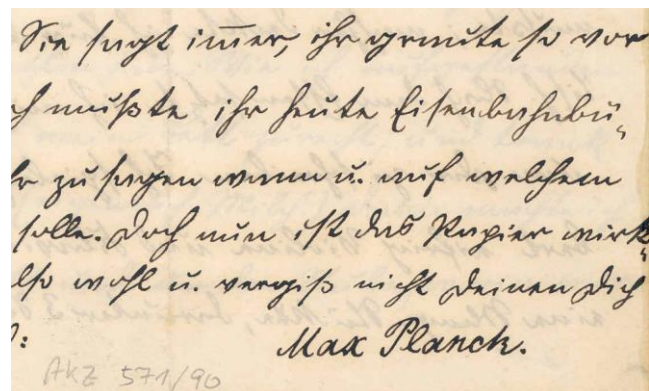
Фиг. 1. Макс Планк

1. Детски и юношески години

Авторът на гениалната идея за квантуване на енергията, поставила началото на съвременната физика, Макс Планк живя дълъг и плодотворен живот. Макс Карл Ернст Лудвиг Планк (фиг. 1) е роден на 23 април 1858 г. в град Кил в Северна Германия (фиг. 2).



Фиг. 2. Град Кил, Германия



Фиг. 3. Подписът Планк на 10 години

Произхожда от семейство на потомствени интелектуалци с традиции. Дядото и прадядото по бащина линия са професори по теология в Университета в Гьотинген. Баща му е професор по право в Университета в Кил и Мюнхен, а неговият чичо е съдия. Родителите на Планк са: баща - Йохан Юлиус Вилхелм Планк и майка - Ема Патциг. Той е шестото дете в семейството.

Математическите способности на М. Планк, а така също и любовта му към музиката, се проявили рано. В юношеството си той искал да стане професионален пианист, но накрая решил да се занимава с теоретична физика. Планк свири на няколко инструмента - пиано, орган и чело, и композира опери. Любовта му към музиката го съпътства цял живот и често свири дует с Алберт Айнщайн: той на пиано, Алберт - на цигулка.

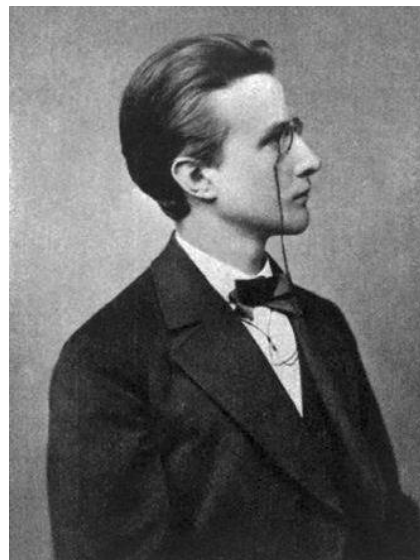
През 1867 г. семейството се мести в Мюнхен, където Планк завършва гимназия рано, на 17 години (фиг. 3).

2. Студентски години

М. Планк продължава образованието си в Университета в Мюнхен, където три години слуша лекции по физика и математика. Професорът му по физика в Мюнхен го съветва да не се посвещава на физиката, защото по неговите думи *„почти всичко в тази наука вече е открито“*, на което Планк отговаря, че той не иска да открива нови неща, а да разбере съществуващите из основи.

През 1877 г. заминава за Хумболтовия Университет в Берлин, където в продължение на година учи под ръководството на физиците Херман фон Хелмхолц и Густав Кирхоф и математикът Карл Вайерщрас. Най-голямо влияние върху формирането му като физик-теоретик оказват работите на един от основателите на термодинамиката Рудолф Клаузиус.

През 1878 г. защитава дисертация на тема *„За втората теорема от теорията на топлината“* („Über den zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie“), (фиг. 4). В дисертацията, която не получила подкрепата на мюнхенските професори, младият теоретик Планк разглеждал въпроса за необратимостта на процесите на топлопроводимостта и направил най-общата формулировка на закона за ентропията: *„По никакъв начин процесът на топлопроводимост не може да бъде напълно обратим“*. През октомври същата година се



Фиг. 4. М. Планк, 1878г.

хабилитира на тема *„Равновесни състояния на изотропни тела при различни температури“* („Gleichgewichtszustände isotroper Körper in verschiedenen Temperaturen“). След защитата става лектор в продължение на пет години, без заплащане в Мюнхен, докато чака да се открие академична позиция. През 1885

г. става асистент по теоретична физика в Университета в Кил. Четири години по-късно той заема мястото на Кирхоф в Университета в Берлин и през 1892 г. става професор. По време на основното му откритие М. Планк вече е признат физик-теоретик в Германия и заема ръководни постове в Берлинската академия на науките и в Университетите, в които преподава.

През 1885 г. Макс Планк сключва брак с първата си жена Мари Мерк. Тя му ражда двама сина - Карл и Ервин и две дъщери-близначки, Ема и Грета, но умира през 1909 г. Две години по-късно той се жени за своя племенница, Марга фон Хьослин и през 1911 г. му се ражда още един син, Херман, който умира през 1954 г. Двете дъщери Грета и Ема умират при раждане, съответно през 1917 и 1919 г.

3. Научни открития

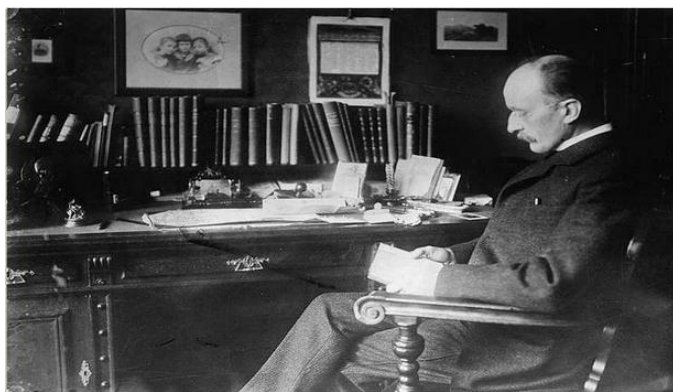
Епохалното откритие на Планк е било резултат от дълго търсене на решение на проблема на топлинното излъчване на абсолютно черно тяло, по думите на Уилям Томсън (лорд Келвин), *„този малък облак, който заедно с опитите на Албърт Майкелсън беше засенчил ясното небе на класическата физика от края на 19 век“*.

Макс Планк започнал да изследва проблема с топлинното излъчване през 1896 г. (фиг. 5), в същата година когато Вилхелм Вин извел своя закон за излъчването.

След дълги разсъждения върху проблема с топлинното излъчване, Планк няколко дни преди заседанието на Физическото общество преразгледал своите пресмятания и получил формулата, съгласуваща се с експериментите и преминаваща във формулата на Вин при къси вълни и ниски температури. На това заседание на **19 октомври 1900 г.** Планк изнася научен доклад и предлага намерената формула за топлинното излъчване. Това изказване на Планк е било публикувано в „Съобщения на немското физическо общество“ под заглавие *„За едно подобряване на закона за излъчване на Вин“*.

Формулата била успешно „предположена“, и в последствие той продължил да търсил теоретичната ѝ обосновка.

През 1899 г. М. Планк, работейки върху термодинамиката на излъчването, въвел нова универсална константа h , която по-късно нарекъл „елементарен квант действие“, а в последствие носи неговото име „константа на Планк“.



Фиг. 5. Кабинетът на М. Планк

Широко известната легенда за размишленията на Планк е разказана от Вернер Хайзенберг така: “Синът му Ервин Планк си спомнял за това време, как той се разхождал с баща си в Грюневалд, как Планк по време на цялата разходка възбудено и вълнувайки се разказвал за резултатите от своите изследвания. Макс Планк му говорил примерно така: *„Или това, което правя сега, е перфектна глупост или може би е най-голямото откритие във физиката от времето на Нютон“*.

Датата **14 декември 1900 г.**, когато Макс Планк на заседание на Немското физическо общество представил своя исторически научен доклад **„Теория за разпределение на енергията на излъчване в нормален спектър“**, станала рождения ден на новата **Квантова физика**. Тази голяма крачка била, по думите на самия учен, *„акт на отчаяние“* и в последствие той се опитвал, макар и безуспешно, *„по някакъв начин да интегрира квант действие в системата на класическата физика“*.

Съмнението за реалното съществуване на квант енергия изчезнало значително по-късно през 1913 г., когато Джеймс Франк и Густав Херц провели своите блестящи опити по сблъсъка на електрони с атоми на живачни пари. В последващото развитие на Квантовата физика Макс Планк не участва. Но безсмъртният принос на Планк в развитието на физиката бил възнаграден с пръсърдането му през 1918 г. на Нобелова награда (фиг. 6), връчена му през 1919 г.



Фиг. 6. Нобелова награда

4. Късни години

Макс Планк не е създавал своя школа от физици-теоретици, въпреки това е бил талантлив преподавател, автор на редица учебници и монографии. Неговият курс в пет тома *„Въведение в теоретичната физика“* получил световна известност. По този курс са се учили няколко поколения физици.

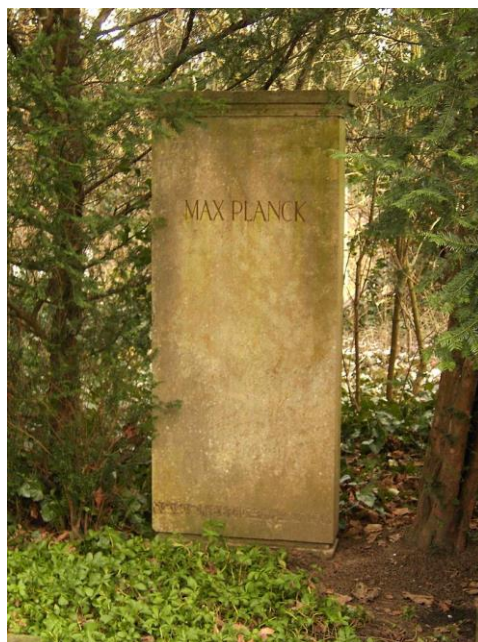
Ученият Планк дълбоко се вълнувал от начина на преподаване на математическите дисциплини в средното училище. Интересни са мислите на Планк за задачите и съдържанието на елементарния курс по физика, които са актуални и днес. В речта си пред Берлинското общество на немските инженери на 17 февруари 1933 г. той отбелязал *„не е толкова важно, на какво учат в училище, а е важно, как учат.....“*.

По силата на своето възпитание и обкръжение Планк бил буржоазно-националистически настроен немец. По време на Първата световна война той

вярвал в справедливия ѝ характер спрямо Германия. В тази война Планк загубва най-големия си син Карл, а по-малкият Ервин е пленен от французите и лежал в затвор. С идването на власт на Хитлер през 1933 г. Макс Планк е на 74 години и постепенно става пасивен антифашист. Под ръководството на Планк институтът „Кайзер Вилхелм“ успява да избегне конфликт с нацисткия режим. Мандатът на Планк като президент на института изтича през 1936 г. и нацистите го предупреждават да не се кандидатира за следващ мандат. През 1938 г. Планк е принуден да напусне и поста президент на Берлинската академия на науките, годината в която празнува своята 80-годишнина.

Втората световна война подложила на редица изпитания вече възрастния М. Планк. Заради бомбардировките той напуска Берлин с жена си и отива да живее на село. При бомбардировки през 1944 г. домът на учения бил напълно разрушен, били унищожени богатата библиотека и безценните научни ръкописи и кореспонденция. На 23 януари 1945 г. разстреляли по-младия му син - дипломата Ервин за участие в покушението над Хитлер. Но скръбта не сломила Планк. До последните си дни той активно участвал във възстановяването на науката в следвоенна Германия.

Макс Планк умира на **4 октомври 1947 г.** в Гьотинген, 6 месеца преди да навърши 90 години. На гроба му е изписано само името - Макс Планк и стойността на константата на Планк $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$ (фиг. 7).

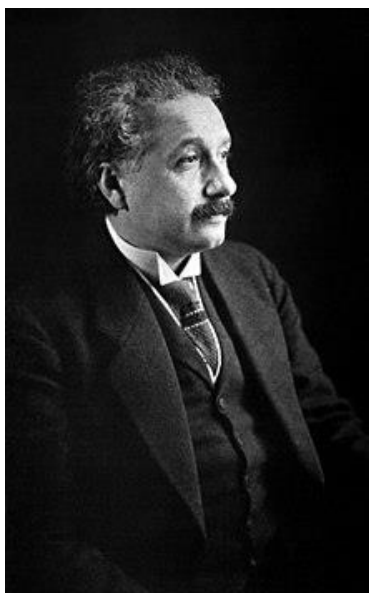


Фиг. 7. Гробът на Планк

5. Признание на великия учен

Макс Планк бил **личност** в пълния смисъл на думата. Той се отличавал с редица качества като честност, доброжелателност към хората и др. За него Алберт Айнщайн казва: *„Да живееш редом с М. Планк - това е радост“* (фиг. 8). Лиза Мейтнер (фиг. 9), която добре е познавала Планк от много години си спомня: *„Той притежава вътрешна чистота на убеденост и непосредственост, която съответства на външната скромност“*.

През целият си живот Планк запазил увлечението си към музиката и алпинизма. Той е покорил много трудно достъпни върхове на Алпите. Фридрих Гернек, написал биографията на Планк, притежавал снимка как 84 годишният Планк покорява трихилядник в източен Тирол.



Фиг. 8. *Алберт Айнщайн*



Фиг. 9. *Лиза Мейтнер*

В памет на видния учен Макс Планк са издигнати редица паметници в Германия (фиг. 10а,б). Пусната е и монета с неговия образ (фиг. 11).



Фиг. 10а. *Паметник на родното място на М. Планк в Кил*



Фиг. 10б. *Паметник на М. Планк в двора на Университета в Берлин*



Фиг. 11. *Монета с лика на М. Планк*

6. Заключение

Развитието на физиката и техниката през целия XX век и до днес се основава и е немислимо без възникването и утвърждаването на Квантовата механика. Това развитие, обаче, определя в големи граници нашия живот и бит. Утвърждаването на квантовата теория става през 20-те години на XX век и почти веднага започва нейното приложение за обяснение на редица проблеми и задачи, очаквали своето решение. За тази цел е било необходимо да се направи голяма и смела крачка. Като такава смела крачка характеризират и издигнатата от Макс Планк хипотеза за излъчване на светлината на кванти в самото начало на века, както и последвалото обяснение на фотоефекта от Айнщайн, основано на тази хипотеза и е решителна крачка за възприемането на квантовата физика. Историята на науката и на физиката в частност ни показва понякога, че направената смела крачка, даже и възприемана като „акт на отчаяние“ може да получи своето възнаграждение и да има съществен принос в развитието на науката.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Планк, Единство физической картины мира, М. 1966
2. Ф. Гернек, Пионеры атомного века, М. 1947
3. Г. М. Голин, Классики физической науки
4. <https://bg.wikipedia.org>

НОБЕЛОВАТА НАГРАДА ПО ФИЗИКА ЗА 2017 Г. ЗА ОТКРИВАНЕ НА ГРАВИТАЦИОННИТЕ ВЪЛНИ

Сашка Александрова

Катедра Приложна физика, ФПМИ, ТУ-София, бул. "Климент Охридски" 8, София 1000
e-mail: salex@tu-sofia.bg

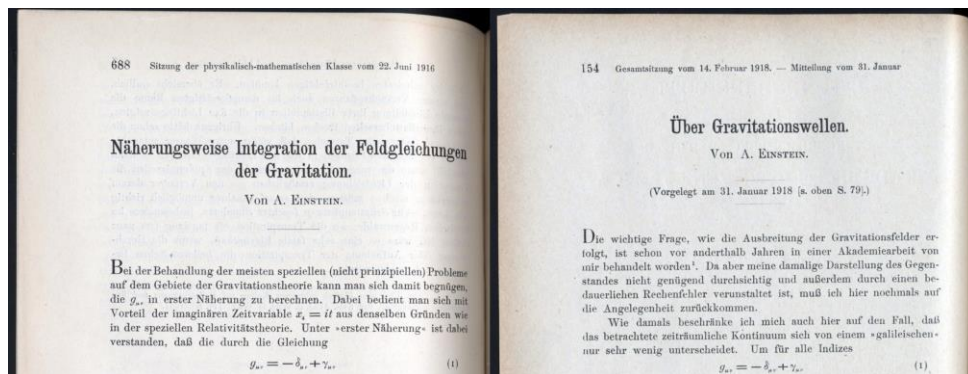
Резюме. Нобеловата награда по физика за 2017г. е дадена за първото регистриране на гравитационни вълни, 100 години след теоретичното им предсказание от А. Айнщайн като следствие от Общата теория на относителността. Гравитационните вълни са пряко свидетелство за нарушения в самото време-пространство. Започва нова ера - ерата на гравитационната астрономия. Очакват се нови открития, които могат да доведат до промяна в разбиранията ни за Вселената. Нобеловата награда е триумф на съвместните усилия и продължаващи повече от 40 години изследвания на колективи от много страни.

Ключови думи: Нобелова награда, гравитационни вълни, LIGO.

1. Увод

Нобеловата награда по физика е връчена 111 пъти на 207 лауреата от учредяването ѝ през 1901 до 2017 г. Джон Бардийн е единственият, получил два пъти наградата през 1956 и 1972 г. Съгласно завещанието на Алфред Нобел се учредява фонд „процент от който ще се дава като премия на тези, които през изминалата година са допринесли най-голяма полза на човечеството. Посоченият фонд да се раздели на пет равни части, предназначени за: **първата част** – за този който е направил най-важно откритие или изобретение в областта на физиката... ”.

Нобеловите награди по физика предизвикват интерес не само сред научната общност, а и сред широката общественост. Един такъв пример е откриването на Хигс-бозона (Нобелова награда за 2013г.), която популярните медиите възвеличаха като „частицата на Бога”, но нищо не може да се сравни с дългогодишните спорове около съществуването на гравитационните вълни и усилията за тяхното откриване. Всичко започва от статията на Албърт Айнщайн от 1915 г. относно Общата теория на относителността (ОТО), която всъщност е теория на гравитацията или опит за такава теория. Само една година след формулирането на своята ОТО, Айнщайн осъзнава, че в режим на слаби полета, линеаризирани полета уравнения допускат решения във вид на напречни вълни. Нарича ги *гравитационни вълни*. Въпросът за тяхното съществуване като решения на пълните нелинейни полета уравнения го измъчва до края на



Фиг. 1. Заглавните страници на първите две статии на Айнщайн върху гравитационните вълни, публикувани през 1916 (ляво) и 1918 (дясно).

живота му. Следват десетилетия на съмнения у учените за съществуването на гравитационните вълни и за възможността за тяхното измерване. Моите спомени още от студентските ми години са за всеобщия интерес на всички, които имат нещо общо с физиката, към въпроса: „Какво става с откриването на гравитационните вълни? А техните носители гравитоните?“

Самият Айнщайн смята, че гравитационната радиация никога няма да бъде открита, тъй като взаимодействието между преминаващата гравитационна вълна и материята ще бъде твърде слабо, за да се измери пряко. Сега, 100 години по-късно, откриването на гравитационните вълни е факт.

Нобеловата награда по физика за 2017г. бе присъдена за открития в областта на астрофизиката, както гласи мотивировката на Нобеловия комитет „за решаващ принос за **LIGO детектора и наблюдаването на гравитационни вълни**“. (LIGO – Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory - Лазерна интерферометрична обсерватория за гравитационни вълни). Така дългогодишните търсения на голям колектив от учени доведоха до открития, достойни за най-висшата научна награда - Нобеловата премия.

2. Лауреатите

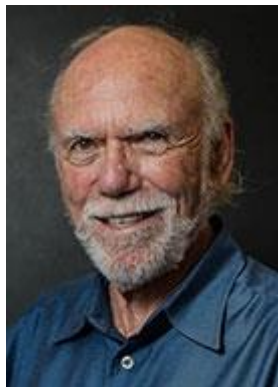
Наградата се разделя между трима учени, както следва: $\frac{1}{2}$ на Райнър Вайс, професор по физика в Масачузетския технологичен институт (MIT), Кембридж, Масачузетс, САЩ, и втората $\frac{1}{2}$ съвместно на Бари Бериш, професор по физика в Калифорнийския технологичен институт (Caltech), Пасадина, САЩ и Кип Торн, професор по теоретична физика в Калифорнийския технологичен институт (Caltech), Пасадина, САЩ (фиг. 2).

Най-често Нобеловата награда се дава на учени, направили своите открития преди много години и резултатите им са довели до значителни приложения. Наградата не се дава посмъртно. Ако не беше така, щеше да има и още един претедент - *Роналд Древър*, съосновател на проекта LIGO (фиг. 3).

Древър напусна този свят на 7 март 2017 г. на 85-годишна възраст, седем



Райнър Вайс 1932г.



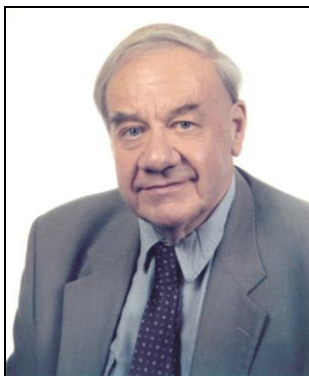
Бари Бериш 1936г.



Кип Торн 1940г.

Фиг. 2. Носителите на Нобеловата награда за 2017г.

месеца преди колегите му Райнер Вайс, Кип Торн и Бари Бариш да спечелят Нобеловата награда. Обикновено се смята, че той би спечелил Нобеловата награда на мястото на Бари Бариш, ако беше жив преди Нобеловият комитет да вземе своето решение. Приносът на Драйвър за проектирането и реализацията на интерферометрите LIGO са от критично значение за постигане на чувствителност, необходима за откриване на гравитационните вълни, макар че на един етап той се оттегля от проекта. Някогашният му студент, сега проф. Джеймс Хоф от Университета в Глазгоу пише „без Рон би било трудно първоначалното предложение за LIGO да получи финансиране”.

**Фиг. 3.** Роналд Древър (26 окт. 1931г. - 7 март 2017г.)

Още преди обявяването на наградите за 2016 г. сред учените от цял свят тогава имаше сериозни очаквания наградата да бъде дадена за откриването на гравитационните вълни, последният все още недоказан извод от Общата теория на относителността на Айнщайн. Причините могат да бъдат няколко. Гравитационните вълни бяха детектирани чрез експериментите на LIGO. За LIGO работят голям брой учени - над 1200 в много страни по света. Нобеловата награда може да се даде на не повече от трима учени и тогава възниква въпросът „на кои трима?”. Награда не се дава за инструмент, докато с него не се направят сериозни открития, които да променят разбиранията ни за физиката или Вселената. Сега обаче, всичко това е факт. След направените открития, които последваха първата регистрация доведоха до убеждението че, първопроходците заслужават Нобеловата награда.

Какъв е приносът на всеки един от тях? Пионерите са Райнър Вайс от МИТ (фиг. 4) и Кип Торн от Калтек (фиг. 5), които са твърдо убедени, че гравитационните вълни могат да бъдат открити и да доведат до революция в

познанията ни за Вселената. LIGO е разработен от Вайс (и, разбира се, от колегите му).



Нобеловата диплома



Връчване на наградата



В лабораторията

Фиг. 4. Научният лидер на проекта Райнър Вайс

Кип Торн - водещият световен експерт по теорията на относителността - извършва теоретичните изчисления.



Нобеловата диплома



Връчване на наградата



В научна дискусия

Фиг. 5. Експертът по теорията на относителността Кип Торн

По-късно като координатор на проекта се включва Бари Бериш (фиг. 6), който го превръща в огромна международна колаборация с интерферометрични лаборатории в много страни - отначало Германия GEO 600, LIGO в САЩ (в

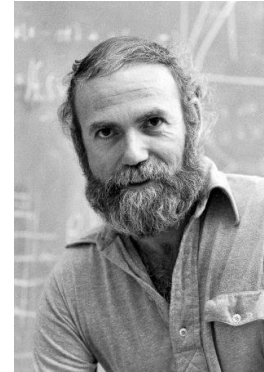
Ливингстън и Ханфорд) и Virgo в Италия, а после и на други страни, и обединява понастоящем над 1200 учени.



Нобеловата диплома



Връчване на наградата



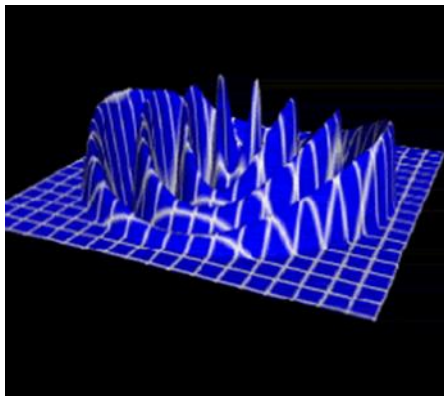
На лекция

Фиг. 6. *Ръководителят на LIGO проекта и организатор на екипа Бари Бериш*

3. История на откритието

Независимо от това остава въпросът защо „за гравитационните вълни?“.

Гравитационните вълни са разпространяващи се смущения на пространство-времето. Съществуването им е предмет на дългогодишни дискусии и съмнения. Според ОТО на Айнщайн една ускоряваща се маса предизвиква тъканта на пространство-времето да се раздвижва (фиг. 7), подобно на езеро, в което е хвърлен камък (фиг. 8).



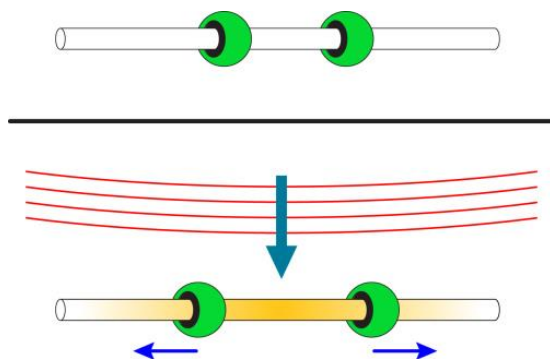
Фиг. 7. *Гравитационни вълни, причинени от двойка въртящи се неутронни звезди*



Фиг. 8. *Вълни в езеро, в което е хвърлен камък*

Самият Айнщайн през 1936 г., 20 години след собственото си предсказание, отново разглежда математическите си решения и стига до изненадващо заключение. „Заедно с един млад сътрудник (*Нейтън Розен, бел. на авт.*) стигнах до интересния резултат, че гравитационните вълни не съществуват, макар че те бяха резултат при първото приближение”, пише той в писмо до приятеля си Макс Борн. Айнщайн изпраща статията с новите резултати за публикуване във най-престижното физично списание *Physical Review Letters* със заглавие „Съществуват ли гравитационните вълни?”. Рецензентът (сега знаем, че това е бил известият космолог Хауърд Робъртсън) намира пропуски в математическите изводи. Макар и ядосан, Айнщайн се убеждава в правотата му, променя мнението си, но публикува статията в по-малко известно списание.

През 1957 г. Феликс Пирани и Херман Бонди започват да публикуват серия статии чак до 1989 г. за съществуването на гравитационните вълни. Дискусия се разгръща на първата Американска конференция по Обща теория на относителността през януари 1957 г. в Чапъл Хил, Северна Каролина. На конференцията Ричард Файнман, вдъхновен от представянето на Пирани, описва мисловен експеримент (фиг. 9), днес известен като „експериментът с лепкавите мъниста“, за възможността гравитационните вълни да бъдат открити. Преминаването на гравитационна вълна предизвиква движение на две мъниста, закрепени леко върху пръчка, затопляйки я с триене. Измерването на топлината в пръчката представлява откриване на гравитационните вълни, тъй като те са източникът на енергия.



Фиг. 9. *Експериментът с лепкавите мъниста*

Това убеждава много от изследователите в откриваемостта на вълните.

Смущенията на време-пространството, описвани като вълни, се отдалечават от източника със скоростта на светлината и, когато достигнат до Земята, предизвикват ефекти, измерими по принцип при наличието на достатъчно чувствителни детектори.

Първите експерименти по откриването на вълните прави един от участниците в конференцията, Йозеф Вебер от Университета в Мериленд, който построява първия детектор за гравитационни вълни по резонансен метод. Детекторът е построен от големи цилиндри (фиг. 10) от свръхчист алуминий с дължина около 2 m и диаметър 1 m.

Вебер провежда експериментите си в продължение на повече от 10 години и е убеден, че е успял да ги регистрира. За съжаление, резултатите на други изследователи са отрицателни и до средата на 1970 г. повечето учени стигат до извода, че резултатите на Вебер не могат да бъдат потвърдени. Националният фон за наука на САЩ спира финансирането на този проект и средства се

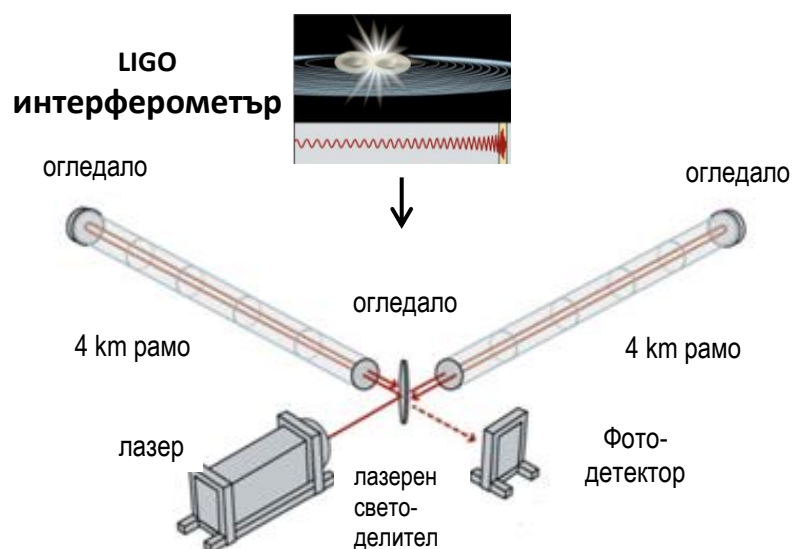


Фиг. 10. Йозеф Вебер и неговият детектор

насочват към разработване на нови технологии за откриване на гравитационни вълни - гравитационните интерферометри.

4. Експериментите с LIGO

Интерферометрите се използват в много области на науката и инженерството и се наричат така, защото обединяват два или повече светлинни лъча, за да създадат това, което е известно като интерференчна картина. Основната концепция на интерферометричен детектор на Майкелсън за гравитационни вълни е предложена в статия на съветските физици М.Е. Герценштейн и В.И. Пустовойт в началото 60-те години. Принципът е показан на фиг. 11. Интерферометърът се състои от две рамена, разположени в L-образна форма.



Фиг. 11. Схема на гравитационния интерферометър

В ъгъла и в краищата на L, са окачени масивни огледала. Преминаващата гравитационна вълна влияе по различен начин върху раменете на интерферометъра – когато едното се свива, другото се разтяга. Между огледалата се движи лазерен лъч, който, следи промяната в дължината на раменете.

Проектът LIGO включва два детектора, в Ливингстън и Хартфорд, разположени на разстояние 3000 km (фиг. 12). Огледалата са свободно окачени,



Фиг. 12. *Разположение на LIGO обсерваториите в САЩ*

което позволява регистриране на движението им когато взаимодействат с гравитационна вълна. Ефектът е много малък: при преминаване на вълна двете рамена, всяко с дължина 4km, се свиват, съответно разтягат, с една хилядна от размера на протона. Става дума за относителни изменения на пространство-времето 10^{-21} . Максималната разлика в дължините на двете рамена на интерферометъра е $4 \cdot 10^{-18}$ m, а нивото на шума е 24 пъти по-малко.

За измерване на такива слаби разлики детекторите трябва да работят на възможната технологична граница. Суперкомпютри и усъвършенствани методи за анализ са приложени за отделяне на чистия сигнал на гравитационната вълна от шумове и паразитни сигнали.

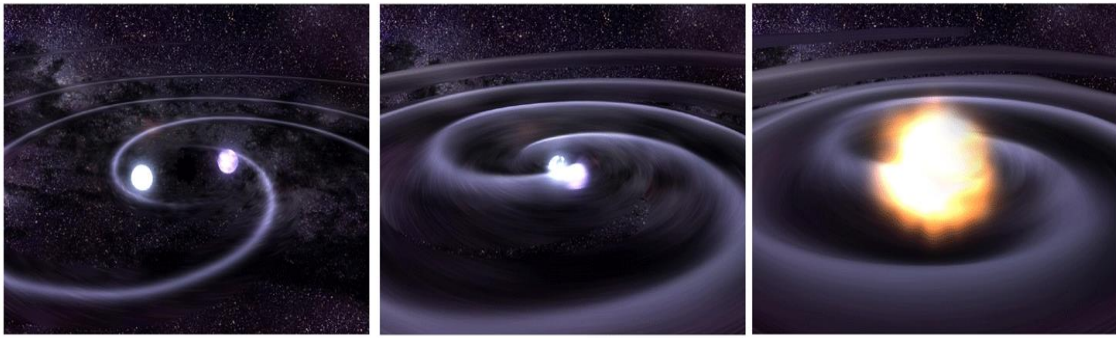
Във Вселената има множество астрофизически процеси, които генерират гравитационни вълни в честотни диапазони, които могат да се окажат достъпни за наземни или космически обсерватории.

5. Регистрация на гравитационните вълни

На 14 септември 2015г. гравитационните вълни на Вселената бяха наблюдавани за пръв път. Вълните идват от сблъсък между две черни дупки.

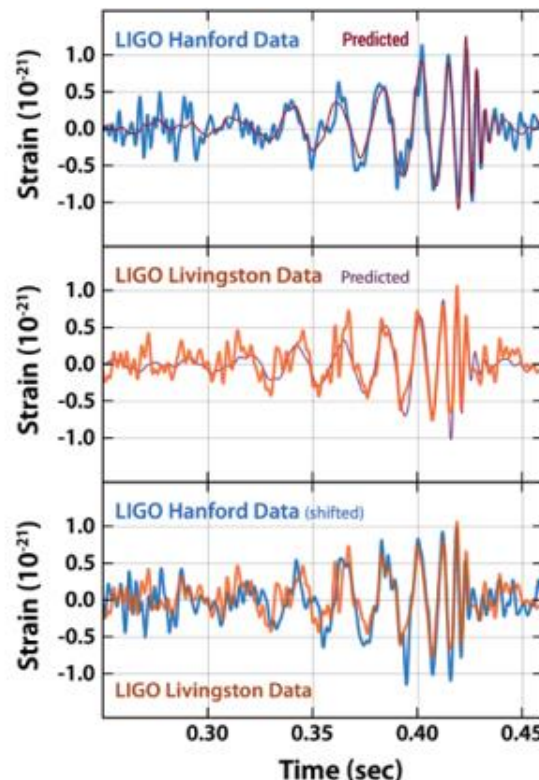
Разглеждайки сблъсъка на две черни дупки по-внимателно, се вижда, че има три етапа, които трябва да разберат: „танцът”, когато двете черни дупки се приближават, „сливането”, когато те образуват една черна дупка и „иззвъняването”, когато се образува новата черна дупка (фиг. 13). Разстоянието преди сливането е само на няколко стотин километра, което потвърждава, че

източник на вълните е сливането именно на черни дупки. Докато вълните достигнат детекторите LIGO в САЩ са изминали 1.3 милиарда години.



Фиг.13. „Танцът“ на черните дупки и сливането им

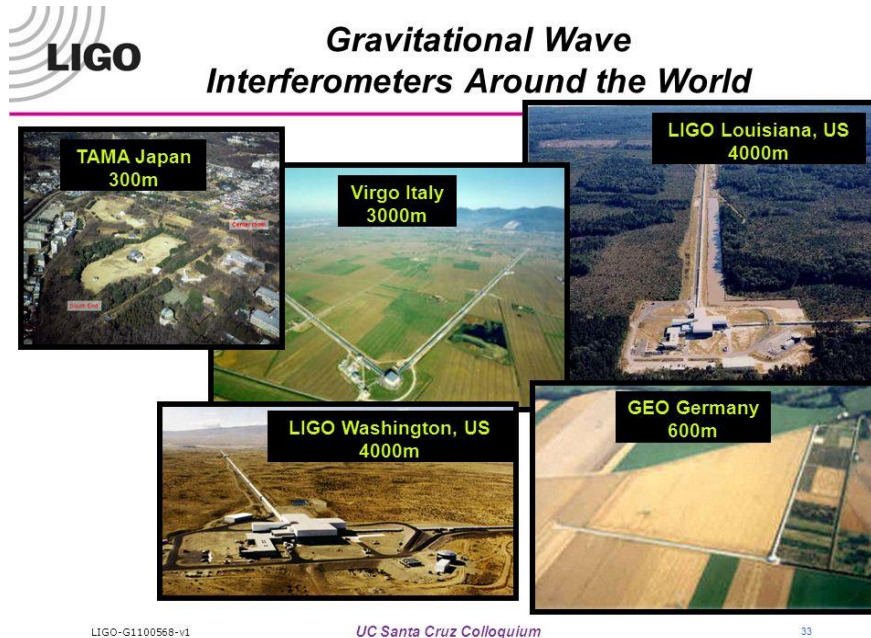
Учените проверяват внимателно получените сигнали и официалното съобщение идва едва на 11 февруари 2016 г., когато беше обявено регистрирането за първи път на гравитационни вълни. Интерферометрите в Ливингстън и в Ханфорд регистрират едновременно сигнали на гравитационна вълна (фиг. 14). Сигналът се разпростира в честотен интервал 35 до 250 Hz с добро съотношение сигнал/шум. Той е резултат от сливането на две черни дупки с маси 36 и 29 $M_{\odot}$ ($M_{\odot}$ е масата на Слънцето) на разстояние от Земята 410 Мрс и раждането на черна дупка с маса 62 $M_{\odot}$, при което се излъчва енергия, еквивалентна на 3 $M_{\odot}$ под формата на гравитационни вълни.



Фиг.14. Сигнали на гравитационните вълни, детектирани в двете LIGO обсерватории и сравнение на двата сигнала. По оста X е нанесено времето, а по оста Y - относителното изменение (деформацията)

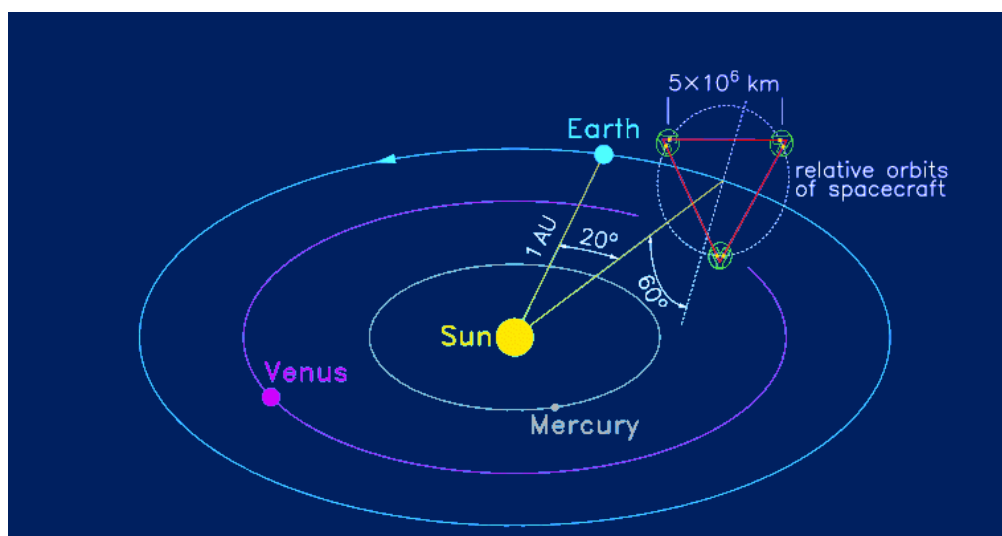
Въпреки огромната излъчена енергия (50 пъти повече от цялата излъчена към този момент енергия на видимата Вселена), резултатите са в съгласие с предсказанията на Общата теория на относителността.

Освен обсерваториите в Ливингстън и Ханфорд, LIGO обсерватории функционират и в Германия - Гео, Италия - Вирго и Япония - Кагра (фиг. 15).



Фиг. 15. Гравитационни LIGO обсерватории по света

В ход е проектът *Лазерната интерферометърска космическа антена* (LISA) на Европейската космическа агенция ESA. LISA ще бъде първият специализиран космически базиран детектор на гравитационни вълни. Планира се извеждане в орбита през 2034 г. LISA ще представлява система от три космически кораба, разположени в равноностранен триъгълник със страни 2,5



Фиг.16. Лазерната интерферометрична космическа антена LISA

милиона километра, летящи по хелиоцентрична орбита подобно на Земята (фиг. 16). Разстоянието между сателитите ще се следи точно, за да се открие преминаваща гравитационна вълна.

От първото съобщение за регистрация на гравитационни вълни изминаха само две години, но данни вече са получени от групи астрономически събития. На фиг. 17 е представена заглавната страница на това съобщение. Списъкът на авторите е даден по азбучен ред на почти 3 страници, като заедно с адресите надхвърля 6 страници.



Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger

B. P. Abbott *et al.**

(LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration)

(Received 21 January 2016; published 11 February 2016)

On September 14, 2015 at 09:50:45 UTC the two detectors of the Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory simultaneously observed a transient gravitational-wave signal. The signal sweeps upwards in frequency from 35 to 250 Hz with a peak gravitational-wave strain of 1.0×10^{-21} . It matches the waveform predicted by general relativity for the inspiral and merger of a pair of black holes and the ringdown of the resulting single black hole. The signal was observed with a matched-filter signal-to-noise ratio of 24 and a false alarm rate estimated to be less than 1 event per 203 000 years, equivalent to a significance greater than 5.1σ . The source lies at a luminosity distance of 410^{+160}_{-180} Mpc corresponding to a redshift $z = 0.09^{+0.03}_{-0.04}$. In the source frame, the initial black hole masses are $36^{+5}_{-4} M_{\odot}$ and $29^{+4}_{-4} M_{\odot}$, and the final black hole mass is $62^{+4}_{-4} M_{\odot}$, with $3.0^{+0.5}_{-0.5} M_{\odot} c^2$ radiated in gravitational waves. All uncertainties define 90% credible intervals. These observations demonstrate the existence of binary stellar-mass black hole systems. This is the first direct detection of gravitational waves and the first observation of a binary black hole merger.

Фиг. 17. Първото съобщение за откриването на гравитационните вълни

Няколко седмици след обявяването на Нобеловата награда последва съобщението за регистрирани гравитационни вълни от сливане този път на *неутронни звезди*, движещи се по спирала, които се сливат, образувайки *черна дупка*. Тези събития бележат началото на новата ера в астрономията – „Ерата на гравитационната астрономия“.

Заслугата на учените, които получиха Нобелова награда по физика за 2017г., се състои в решаващия принос, визия и отдаденост на тримата лауреати.

6. Заключение

Досега почти всичките ни познания за Вселената идват от електромагнитно излъчване (класическата астрономия и радиоастрономия). Гравитационните вълни не са част от електромагнитния спектър. Това е съвсем нова област, предлагаща напълно различен начин за получаване на информация. LIGO обсерваториите ще се превърнат в ефективен инструмент за нова астрономия на

базата на гравитационните вълни - гравитационната астрономия, която ще помогне да научим много за Вселената: за ранните стадии на нейното развитие, тъмната материя, областите на приложимост на Общата теория на относителността. Пред нашата цивилизация се отваря нова врата към един съвсем нов и различен свят. Пред младите изследователи се простират невероятни възможности и перспективи за най-неочаквани, граничещи с фантастиката, приключения в необятния свят на физиката.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2017/
- [2] Светът на физиката, бр. 3/4, 77 (2016)
- [3] Светът на физиката, бр. 4, 258 (2017)
- [4] Светът на физиката, бр. 1, 24 (2018)
- [5] <http://www.ligo.org/>
- [6] <http://www.ligo-la.caltech.edu>
- [7] <http://www.astronomy.com/news/2016/>

ОТОПЛЕНИЕ НА САТЕЛИТНИ АНТЕНИ И АНТЕННИ ПОЛЕТА

Ивайло Начев, Любослава Димчева

Факултет по телекомуникации, ТУ - София, бул. „Кл. Охридски“ №8, София 1000

Резюме: В настоящия доклад е разгледан един от основните проблеми и идеи за решаването му в сателитните комуникации, засягащ параболичните антени и цели антенни полета. Антенните отоплителни системи стават все по-незаменими в областта на антените. Те осигуряват висока ефективност при лоши метеорологични условия. Индивидуалният дизайн на всяко антенно отопление се извършва въз основа на чертежи или измервания, направени на място.

Ключови думи: сателитни комуникации, параболична антена, антени, антенни полета, отопление

1. Увод

Спътниковите комуникации са възникнали през втората половина XX век. Днес те представляват важна част от глобалната комуникационна мрежа, предоставяйки различни видове услуги. Някои видове услуги, предлагани от спътниковите мрежи, са: фиксирани връзки FSS (Fixed Satellite Service) - осигуряват връзка между една или няколко наземни станции, мобилни спътникови връзки MSS (Mobile Satellite Service) - осигуряващи връзки с подвижни обекти, радио и телевизионно разпръскване, навигационни услуги, които позволяват да се определи точното местоположение на даден обект върху земната повърхност, събиране и предаване на информация от метеорологични спътници. Услугите се извършват главно в честотните обхвати: KU-band (с честотна лента 12.4-18 GHz) и C-band (4-8 GHz).[1]

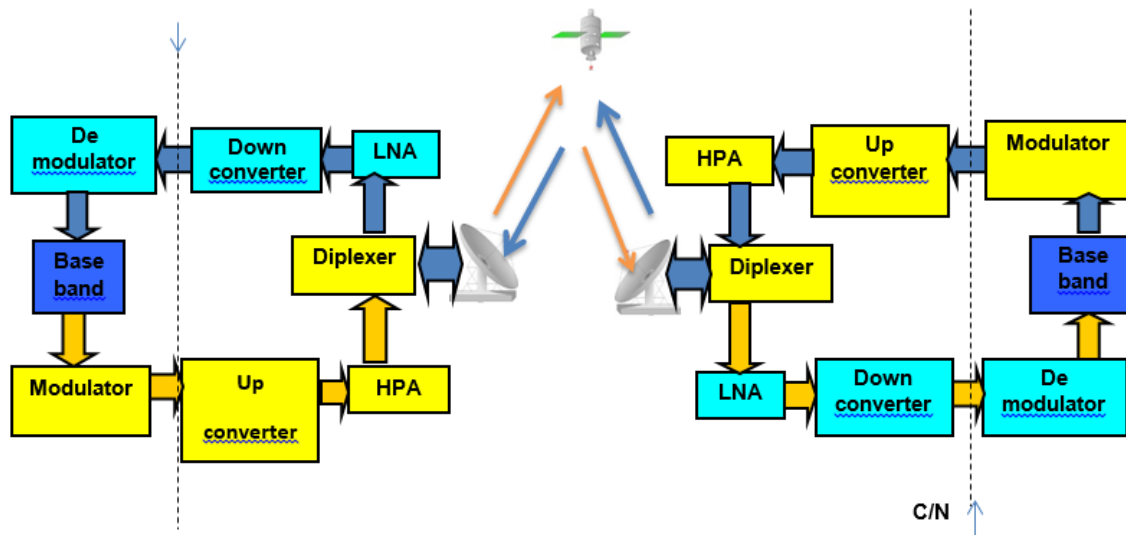
2. Основни понятия в спътниковите системи и компоненти на една спътникова комуникационна система

Спътниковите комуникационни системи са изградени от спътников сегмент и наземен сегмент.

Комуникационните спътници са предназначени специално за поддържане на комуникационни услуги, които могат да бъдат с различно устройство и големина, оборудвани със система от енергийни източници, системи за контрол на височината и орбиталната позиция, система за температурен контрол, апаратура за телеметрия и дистанционно управление и комуникационна апаратура - антени и транспондери. Наземни съоръжения за следене, телеметрия, дистанционен контрол и управление. [1]

Наземни станции от различен тип, снабдени с приемна или приемно-предавателна антена, приемник, предавател, модем и интерфейс с периферни устройства или с наземните комуникационни мрежи.

На фиг. 1 е показана блок-схема на типична двупосочна FSS спътникова връзка.



Фиг. 1. Блок-схема на двупосочна спътникова връзка

Основните компоненти, изграждащи наземната станция, са кодер, декодер, модулатор, демодулатор, повишаващ и понижаващ конвертор, мощен усилвател на изхода на предавателя, малощумящ усилвател на входа на приемника, приемно-предавателна антена. На комуникационния спътник се разполага транспондер, който ретранслира сигнала. Връзката от наземната станция към спътника се нарича „Up Link”, а съответно от спътника към наземната станция „Down Link”. Системният анализ на връзката дава възможност да бъде избрана подходяща апаратура за осъществяване на дадена комуникационна услуга. Обобщеното уравнение на връзката има вида:

$$\frac{C}{N} = EIRP + G_r - kT_s B_N - LOSSES \quad (1)$$

Нормираното отношение сигнал- шум в лента 1Hz, наричано още спектрална плътност на отношението сигнал -шум има вида:

$$\frac{C}{N_0} [dBHz] = EIRP + \frac{G}{T} - k - LOSSES \quad (2)$$

При решаването на такава задача трябва да се разполага с определени параметри на спътника, чрез който ще се извършва комуникационната услуга, също така трябва да се разполага с параметрите на наземната станция и радиоканала. Основните параметри на спътника включват: позиция на спътника, областта му на покритие, ъгълът спрямо хоризонта (елевацията), коефициентът на качество (G/T) на приемната антена, плътността на потока на

мощността, който насища транспондера. Параметрите на наземната станция включват: географска позиция, дъждовната зона (дава се в спецификация на ITU), ефективната изотропна излъчена мощност (EIRP), коефициент на качество в режим на приемане, системната шумова температура и чувствителността на приемника, кросполяризационната характеристика на антената, параметрите на демодулатора, характеристиките на филтрите на приемника и др. За радиоканала от най-голямо значение са параметрите: работна честота, загуби при разпространение, ниво на шумовете от интерференция, затихването на сигнала в атмосферата и хидрометеорите (дъжд, сняг, мъгла) и др. Определянето на параметрите на една комуникационна апаратура, необходима за осъществяване нормалната работа на системата, се нарича бюджет на връзката (Link Budget). Качеството на връзката се определя от параметъра BER (Bit Error Rate), който представлява отношение на броя на стрешените битове към всички предадени битове.

За работа в нормите на всички тези параметри и изпълването на комуникационните канали от изключителна важност са приемните и предавателните антени. Спътниковите комуникации използват предимно параболични антени. На географски ширини, където предимно има снежна покривка, се открива един техен основен проблем - нуждата от отопление. На фигури 2а, 2б, 2в са показани съответно антенно поле - параболична антена за потребителски нужди, а на фигура 2б антенно поле - изгладено от предавателни и приемни антени (Плана - специализирана космическа станция за спътникови комуникации в близост до гр. София, България). Фигура 2в показва антена, нямаща отопление през зимата.



Фиг. 2а. *Параболична антена*



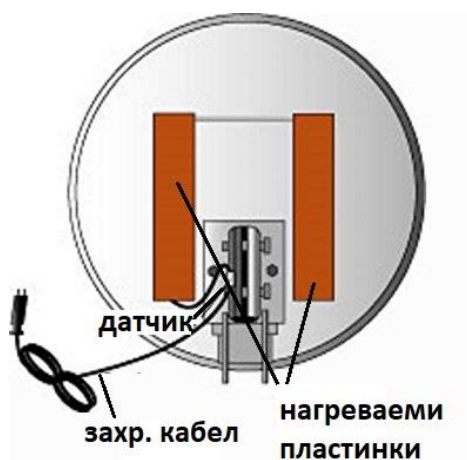
Фиг. 2б. *Антенно поле*



Фиг. 2в. *Антена, нямаща отопление през зимата*

3. Видове антенни отопления

Едно от най-лесните решения за отопление на антена е използването на така наречени - Stop-snow kit for parabolic antennas. Този тип китове се състои от нагреваема алуминиева лента или нагреваема пластинка с мощност до 40W и напрежение 48V. Нагреваемата пластинка се залепва на гърба на параболичната антена, след което се свързва към термодатчик, който може да бъде настроен да включва отоплението при падане на температурата под зададена референтна такава и/или да бъде включван дистанционно. Опростена схема на този тип отопление е показано на фиг. 3. Същата технология за отопление се използва и при антенните полета - алуминиеви ленти се лепят на всяка антена, след което се връзват към един общ термодатчик с цел минимизиране цената на реализация.[3]



Фиг. 3. Опростена схема на отопление на параболична антена



Фиг.4. Антени с отопления по системата DEVI

Друга подобна система за отопление е системата DEVI, която е по-ефикасна, понеже вместо алуминиево фолио/лист използва нагреваема жичка, използвана при протиообледенителните инсталации, където приложението ѝ, целта ѝ в радиокомуникациите е за предпазване от обледеняване на мачти, параболични антени и т.н., където има голям риск ледени висулки да паднат върху минувачите. Ръчното премахване на леда и снега няма да е необходимо повече. На фиг. 4 са показани снимки на антенни отопления, използващи тази система.[4]

От друга страна едно от най-удачните отопления при антенните системи е използването на специализирани вентилатори за горещ въздух, поставящи се на задната част на антената и затворени в специално проектиран капак. Най-важните недостатъци на този метод са високите експлоатационни разходи и ниската ефективност на вентилаторите. Освен това, нагряването на антената с горещ въздух означава, че цялата повърхност на задната антена трябва да бъде покрита, което води до високи разходи. Тази конструкция от „сандвич“ трябва да задържа топлия въздух между капака и повърхността на антената.

Електрическото отопление на антената не се нуждае от такова скъпо покритие, тъй като отделните сегменти на отоплителната материя вече имат подходяща топлоизолация. Текущите разходи могат да бъдат намалени с приблизително 60% чрез използване на отоплителни системи с електрическа антена. Това спестяване на разходи се дължи на директното нагряване на задната антена с помощта на залепени нагряващи рогозки. По този начин местното отопление не се предизвиква от околния въздух (вентилатор с горещ въздух = ниска ефективност), а чрез директен топлинен поток от нагревателната материя върху повърхността на антената. Благодарение на гъвкавия дизайн под формата на индивидуални отоплителни рогове, е възможно да се загрева всеки тип антена - без значение кой дизайн, размер и работно място. Като при този метод, както при по-горе изброените такива, потребителят има избор дали да оборудва всяка антена с термодатчик или да използва от един до няколко за цялото антенно поле. На фиг. 5 е показана снимка на антена, използваща този тип отопление.[5]



Фиг. 5. Параболична антена, отоплявана от вентилатор за горещ въздух

4. Бъдещо развитие на антенните отопление

Както се вижда от представения доклад антенните отопления са необходими при места с лоши метеорологични условия, а ефективността на посочените методи за справяне с подобни казуси - спорна. За в бъдеще е добре параболичните антени да се произвеждат с вградено отопление в техните корпуси, което оптимално ще повиши и тяхната ефективност.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Спътникови комуникации, доц. д-р Марио Ганчев Гачев
- [2] Публикация: Design of Thermal Control Subsystem for TUSAT Telecommunication Satellite By N. Sozbir, M. Bulut, M. F. Oktem, A. Kahriman and A. Chaix, World Academy of Science, Engineering and Technology 43 2008, стр. 395 - 398
- [3] <https://www.riscaldatori-elettrici.it/en/product/kit-scioglineve-parabole/>
- [4] http://www.termo-top.com/?page_id=507
- [5] <http://www.caloplex.com/index.php/en/products/antenna-heating-systems.html>

ИДЕИТЕ И ПОСТИЖЕНИЯТА НА ИЛОН МЪСК, ПРЕДСТАВЕНИ ЧРЕЗ ИНФОГРАМИ

Константин Младенов, Християна Лачева

МГУ “Св. Иван Рилски“, ГПФ,

e-mails: konstantinmladenov@gmail.com, h.lacheva19@gmail.com

научен ръководител ас. Юлия Илчева, катедра Физика, МГУ “Св. Иван Рилски“

Резюме. Илон Мъск е канадско-американски физик, инженер, изобретател, бизнес магнат, инвеститор, милиардер. Роден е на 28 юни 1971г. в Претория, Република Южна Африка. Той е главен изпълнителен директор и главен технически директор на компанията Space Exploration Technologies Corporation (SpaceX), както и главен изпълнителен директор и главен продуктов архитект на Tesla Motors. Неговите живот и кариера, идеи и постижения, смели проекти и визионерски поглед към бъдещето са представени чрез инфограми, които не само организират голяма по обем информация, но и много нагледно визуализират съотношението между предмети и факти във времето и пространството, а така също и представят тенденции. Инфографиките включват данни, информация/организационна идея, снимки, шрифт и цвят. Тяхната крайна цел е информацията да бъде лесно достъпна, разбираема и управляема.

Ключови думи: Илон Мъск, SpaceX, Tesla, изкуствен интелект, възобновяеми енергийни източници, инфограми.

Иска ми се да умра с мисълта, че пред човечеството има светло бъдеще. Ако можем да си осигурим чиста енергия и да станем междупланетарна раса с устойчива цивилизация на друга планета - за да се справим с най-лошия сценарий, в който човешкото състояние е заличено - тогава ... мисля, че ще бъде много хубаво.

Илон Мъск



Илон Мъск е роден на 28 юни, 1971г. в Претория, Южна Африка. Неговата майка е от Канада, а баща му - от Южна Африка. Има сестра и брат, с които прекарват детството си в родната си страна. Когато е на десет, Илон започва да проявява интерес към компютрите. Сам се научава да програмира и на дванадесет години продава своя първи софтуер - игра, наречена *Blastar*.

През 1989г. Мъск взима канадски паспорт, за да може да придобие американско гражданство, което прави през 2002г.

На седемнадесет години Илон се премества в Канада, където започва да учи в *Queen's University*, за да избегне задължителната казарма в Южна Африка. Напуска университета през 1992 г. с цел да учи бизнес и физика в Пенсилванския университет. Завършва бакалавърска степен по икономика и продължава своето обучение за втора специалност по физика.

След като напуска Пенсилвания, Мъск се насочва към Станфордския университет в Калифорния, за да продължи своето образование, надграждайки го с докторантура по физика. Преместването му в Калифорния съвпада по време с много бързото разрастване на интернет-пространството и той напуска университета, в който е пребивавал само два дни, за да направи първата си компания - *Zip2 Corporation*. Компанията разработва и рекламира интернет „пътеводител“ за вестници и се оказва много успешна за новите сайтове на *The New York Times* и *Chicago Tribune*. През 1999 г. първата компания на Мъск е купена от *Compaq Computer Corporation* за \$307 милиона долара и \$34 милиона в акции. Мъск получава 7% или 22 милиона долара от продажбата и по този начин става милионер на 28 годишна възраст.

През същата година Илон създава *X.com* - онлайн разплащателна услуга чрез електронна поща, която през 2000 г. се превръща в *PayPal* (превод на пари), след което през 2002 г. *eBay* я купуват за \$1,5 милиарда в акции. Преди продажбата Мъск притежава 11% от акциите на *PayPal*, а след продажбата - 165 милиона долара.

През 2002 г. Илон създава и третата си компания - *Space Exploration Technologies Corporation (SpaceX)* с цел разработване на космически апарати за комерсиално пътуване в Космоса. До 2008 г. *SpaceX* е вече добре позната и НАСА подписва договор с нея за пренасяне на материали до Международната Космическа Станция с планове в близкото бъдеще да бъдат пренасяни и космонавти. През септември 2009 г. ракетата *Falcon 1* (по дизайн на Мъск) става първата частно финансирана ракета с течно гориво, която извежда сателит в орбита.

На 22 май 2012 г. Мъск и *SpaceX* създават история, когато компанията изстрелва своята *Falcon 9* ракета в Космоса. Апаратът е изпратен в Международната космическа станция с над 500 kg припаси за космонавтите там. Това е първият случай, в който частна компания изпраща космически апарат там. През декември 2013 г. ракета *Falcon 9* успешно пренася сателит до геосинхронната трансферна орбита, дистанция, в която сателитът ще влезне в орбитата на Земята. През 2015 г. *SpaceX* изпраща още една ракета *Falcon 9*, която пренася *Deer Space Climate Observatory (DSCOVR)* сателита с цел да наблюдават слънчевите бури, които създават проблеми в токовите мрежи и комуникационните системи на Земята.

През февруари 2018 г. компанията постига друг успех, когато



изстрелват *Falcon Heavy* ракетата, имаща допълнителни *Falcon 9* боостър ракети, *Falcon Heavy* е предназначена за пренасянето на много тежки товари в Космоса и дори да служи за далечни мисии. При изстрелването *Falcon Heavy* ракетата е натоварена с червения *Tesla Roadster* на Мъск, пълен с камери за записване и улавяне на цялото пътуване и планираната орбита около Слънцето.

През септември 2017 г. Мъск представя новия дизайн за неговата *BFR (Big Falcon Rocket)* ракета с 31 двигателя, с която е възможно да бъдат пренесени поне 100 души. Илон казва, че планът му е първото изстрелване на ракетата да е през 2022 г. като част от по-голям план за „колонизиране“ на червената планета.

През март 2018 г. предприемчивият Мъск, говорейки пред публика на фестивал в Тексас, казва че се надява *BFR* да е готова за къси полети след само една година. По-късно Мъск получава позволение от Американското правителство да изстреля флота сателити в ниска орбита с цел да предостави интернет на целия свят. В идеалния случай системата ще направи интернета достъпен за хората извън градовете, докато създава конкуренция в големите градове, които често са доминирани от само един или два провайдъри. Критиците на Мъск отбелязват, че такава система от сателити създава опасност от падащи отломки.

На практика ракетите на *SpaceX* са първите космически кораби за многократна употреба след спирането на американската програма *Space Shuttle*. Всички останали съществуващи ракети изгарят в атмосферата, след като изведат товара си в Космоса, което ги прави скъпи и неефективни. Разбира се, една от главните космически цели на Мъск все още е Марс, но сроковете за достигането



на планетата и изпращането на човешки екипаж се отлагат във времето. Първоначално Мъск обявява, че първите екипи от хора ще заминат за Червената планета през 2024 г., но напоследък не се ангажира с такива срокове.

Илон е и съосновател, и продуктов архитект на *Tesla Motors*, компания, предназначена за създаване на евтини, масови електрически коли, както и батерии, и слънчеви панели. Мъск отговаря за създаването, произвеждането и дизайна на всички продукти на компанията.

Пет години след създаването ѝ, през 2008 г. компанията представя *Roadster*, спортна кола, която ускорява от 0 до 100 miles за 3,7 s и е способна да пътува почти 250 miles между зарежданията. С партньорство с *Toyota*, *Tesla Motors* успява да събере \$ 226 милиона от предварителни продажби през юни 2010 г.

Компанията има още много постижения, например *Model S*, първият електричен седан, произведен от *Tesla*. С възможност да мине 265 miles между

презареждане *Model S* получава наградата *Кола на годината* от списание *Motor Trend*.

През април 2017 г. *Tesla* обявява, че е надминала *General Motors* и е станала най-големият производител на коли в САЩ. Новините са много добри за *Тесла* и те пускат новият *Model 3* седан в края на годината.



През ноември 2017 г. *Tesla* отново правят изненада с обявяването на новите *Tesla Semi* и *Roadster* в студиото за дизайн на компанията. Камрионът, който ще започне да се произвежда през 2019 г., може да мине 500 miles с пълна батерия, а самата батерия и мотор са с живот 1 милион мили. *Roadster*, следвайки го през 2020 г., ще бъде най-бързата кола, правена някога, стигайки от 0 до 100 miles за 1,9 s.

Тази година *Tesla* обявиха нови правила за своя главен изпълнителен директор, според които на Мъск ще бъде платено, само ако компанията постигне целите, поставени от инвеститорите.

През август 2016 г., с цел да промотира и увеличи пазара на възобновяема енергия, *Tesla* и друга компания, собственост на негови братовчеди - *SolarCity* - занимаваща се със слънчева енергия, се обединяват в сделка, оценена на над 2,6 милиарда долара.

През август 2013 г. Илон излиза с идея за нов вид транспорт, наречен *Hyperloop*, който ще позволи по-бързо придвижване между големи градове като същевременно времето за път ще бъде съществено съкратено. Независещо от атмосферните условия и зареждано от възобновяеми източници, *Hyperloop* ще вози хора в туби, стигащи скорости, по-високи от 700 miles в час.

Мъск също проявява интерес към изкуствения интелект, ставайки съпредседател на *OpenAi*. Компанията е открита през 2015 г. с мисия да създаде изкуствен интелект за доброто на човечеството. През 2017 г. Илон също разкрива, че финансира проект, наречен *Neuralink*, чиято цел е да се създадат устройства, позволяващи на мозъка да се свързва към софтуер.



Скучната компания е създадена от Мъск през януари 2017 г. с цел да се намали трафика. Първият проект е тунел до магистрала 405 в Лос Анджелис.

Предприемачът също пуска за продажба огнехвъргачки, като каза че от \$500 доларовите огнехвъргачки са били продадени 10 000 само първия ден. Отделно фирмата предлага и специални пожарогасители на цена от 30 долара.

Безграничният потенциал в изследванията на космическото пространство и запазване на бъдещето на човешката раса се превръщат в най-важните принципи на Мъск. За тях той основава фондация *Мъск*, посветена на изследването на Космоса и откриването на възобновяеми и чисти енергийни източници.

Илон Мъск - живот и кариера, идеи и постижения, смели проекти и визионерски поглед към бъдещето - са представени чрез инфограми, които не само организират голяма по обем информация, но и много нагледно визуализират съотношението между предмети и факти във времето и пространството, а така също и представят тенденции. Инфографиките включват данни, информация/организационна идея, снимки, шрифт и цвят. Тяхната крайна цел е информацията да бъде лесно достъпна, разбираема и управляема (Илчева, 2017).



ЛИТЕРАТУРА

[1] Ванс, Ашли. Илџн Мъск: PayPal, Tesla, SpaceX и походџт кџм невероятното бъдеще. 2016, ISBN 9789547713611

[2] Илчева, Юл. Възможностите на инфографиката за самопроектиране на учебни материали като метод за развитие на професионалните компетенции. // *Год. МГУ*, 57, 2014, свитџк IV, с. 114-119.

[3] <https://georgipaunov.wordpress.com/2017/06/21/infographics/>

[4] <https://georgipaunov.wordpress.com/2017/06/21/infographics/>

[5] <https://adioma.com/>

[6] <https://blog.adioma.com/how-elon-musk-started-infographic/>

ОПОЗНАВАНЕТО НА МАТЕРИЯТА

Валерия Николова и Християн Димитров

Транспортен Факултет, ТУ-София, бул. „К. Охридски“ №8, София 1000,
e-mails: valnikolova@tu-sofia.bg, hristidimitrov@tu-sofia.bg

Резюме. В нашия доклад ще разгледаме част от основните въпроси на съвременната физика. Какво всъщност крие Вселената в себе си; какво остава невидимо за човечеството от материята и какво ни предоставя „Сътворението на Вселената“ [1] или „Големият адронен колайдер“

Ключови думи: заредени частици, материя, ускорители.

Съвременната физика на елементарните частици (физика на високите енергии) е немислима без ускорителите на частици. След като в първата половина на XX век е открито, че съставните части на атома имат още по-сложна структура от смятаното дотогава, днес тези ускорители, едни от най-големите научни съоръжения на Земята, са единственият начин да се надзърне в най-малките блокове на материята.

1. Какво представляват ускорителите на заредени частици?

Ускорителите са електрофизични устройства, създаващи интензивни снопове от електрически заредени микрочастици: електрони, позитрони, протони, антипротони и тежки йони, които притежават голяма кинетична енергия, т.е. които са ускорени до високи скорости.

Създаването в ускорителите снопове микрочастици се използват като своеобразни „снаряди“, с помощта на които първоначално са се разбивали ядрата на атомите и се е изследвала структурата на ядрото и природата на ядрените сили, а по-късно тези снопове се използват и за създаването на нови елементарни частици и за изследване на техните взаимодействия и взаимни превръщания.

Снопът от частици е насочен поток от частици, който пренася енергия. Оста на снопа не е праволинейна, а е изкривена. В снопа частиците се движат предимно успоредно на оста му и под малки ъгли спрямо нея. Ускорителите са "микроскопите" за изследване на микросвета.

Принципът на работа на ускорителя е основан на взаимодействието на заредени частици с електричното и магнитното полета. Електричното поле е способно извършва директна работа над частицата като увеличава нейната енергия. Магнитното поле, създавайки Лоренцова сила, само отклонява

частицата, без да изменя енергията ѝ, и задава орбитата, по която се движат частиците.

2. Видове ускорители

Ускорителите могат да бъдат разделени на две големи групи:

- **Линейни ускорители** - в тях поток от частици се ускорява праволинейно в медна тръба с помощта на генератори на вълни, наречени *клизтрони*. Когато потокът частици удари специалната мишена, различни детектори засичат какво се случва;

- **Кръгови ускорители** - в тях частиците се ускоряват по криволинейна траектория в затворена тръба. Там те правят толкова обороти, колкото са необходими, за да придобият нужната кинетична енергия преди да се сблъскат с мишената. Електромагнити контролират траекторията на частиците и при нужда я изкривяват.

3. Конструкции на ускорителите

3.1. Високоволтов ускорител (ускорител с пряко действие)

В него частиците се ускоряват в резултат на прякото действие на електрическото поле при еднократно преминаване между електродите. Негово важно предимство пред другите типове ускорители е възможността да се получи еднаква енергия на всички частици, или поне с много малък диапазон на вариране. Този тип ускорител се характеризира с висок КПД (до 95%) и дава възможност за постигане на голяма мощност (500 KeV и повече), което е важно за промишлени цели.

3.2. Електростатичен ускорител

С най-проста конструкция е линейния ускорител. Частиците се ускоряват под въздействието на постоянно електрично поле и се движат праволинейно във вакуумна камера, по чиято дължина са разположени ускоряващите електроди. Съществуват следните разновидности:

3.2.1. Ускорител на Ван де Грааф: Ускоряващото напрежение се създава от *генератор на Ван де Грааф* (фиг. 1), чийто принцип на действие използва механическо пренасяне на заряди с диелектрична лента. Максималните електрически напрежения от ~20 MV определят максимална енергия на частиците от ~20 MeV.

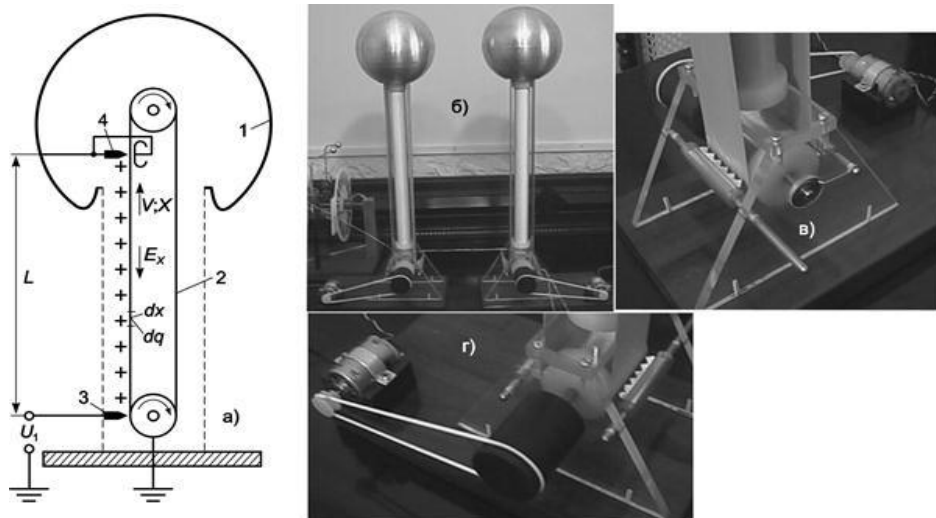


Рис.2.3. Генератор Ван де Граафа: а) принципиальная схема; б), в), г) - лабораторная модель

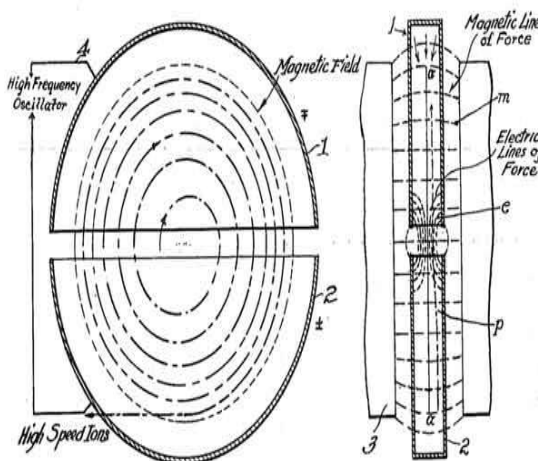
Фиг. 1. Генератор на Ван де Грааф

3.2.2. Каскаден ускорител: Ускоряващото напрежение се създава от каскаден генератор, който създава постоянно ускоряващо високо напрежение от ~ 5 MV като преобразува ниско променливо напрежение по схемата на диоден умножител.

3.3. Циклотрон

Ърнест Лорънс (американски физик, носител на Нобелова награда за физика за 1939 г.) предложил нова идея - вместо частиците да се пускат по права линия, то да се завихрят в кръг.

Идеята на циклотрона е проста (фиг. 2). Между два кухи електрода с полукръгла форма, наречени *дуанти*, се прилага променливо електрическо напрежение. Дуантите са разположени във вакуумна камера между полюсите на силен електромагнит, който създава постоянно магнитно поле. Частиците се намират в камера в центъра (инжектор) и се насочват по окръжност в магнитното поле, като при всеки оборот се ускоряват при преминаването през процепа между дуантите от електрическото поле. За да се получи това, е необходимо честотата на изменение на полярността на напрежението на дуантите да е равна на кръговата честота на частицата. С увеличението на енергията на частиците при всеки оборот, радиусът (циклотронен радиус) на траекторията им ще се увеличава, превръщайки се в плоска спирала. При последното завъртане по спиралата се прилага допълнително отклоняващо поле и снопът частици се извежда от пределите на дуантите. Диаметърът на първия циклотрон е бил по-малък от 30 cm. С него частиците могат да се ускоряват до енергии, достигащи почти 1,25 MeV.



Фиг. 2. Циклотрон

3.4. Бетатрон (индукционен ускорител)

Видерое го нарича „снопов трансформатор“. По-късно този тип ускорител е наречен „бетатрон“, тъй като той е предназначен за ускоряването на електрони, т.е. β -лъчи. Магнитното поле в бетатрона се изменя синусоидално с времето. Изменящото се с времето магнитно поле, пронизващо орбитата на електроните, създава вихрово електрично поле. Именно това вихрово електрическо поле ускорява електроните в бетатрона. Бетатронът е електронен ускорител за енергия около 25 MeV. Той се използва главно като източник на твърдо рентгеново лъчение чрез насочване на ускорените електрони към мишена от материал с голям атомен номер. Най-големият бетатрон в света работи в Илинойския университет и ускорява електрони до 340 MeV.

3.5. Микротрон

Микротронът е ускорител с променлива кратност. Резонансен цикличен ускорител с постоянни като при циклотрона водещо магнитно поле и честота на ускоряващото напрежение. Идеята на микротрона е нарастването на времето за един оборот на частицата, получаващо се за сметка на ускорението, да се направиратно на периода на трептене на ускоряващото напрежение.

3.6. Фазотрон (синхроциклотрон)

Принципната разлика на синхроциклотрона от циклотрона е, че честотата на електричното поле се изменя в процеса на ускорения, т.е. периодичните изменения на електричното поле се синхронизират с нарастването на частиците по маса. Това позволява да се увеличи максималната енергия на ускоряваните йони. Енергията на частиците във фазотрона достига до 600 – 700 MeV.

3.7. Синхрофазотрон

Циклически ускорител с постоянна дължина на орбитата и с изменящи се честота на ускоряващото електрично поле и големина на удържащото магнитно поле. Другото му название е протонен синхротрон.

3.8. Синхротрони

Ускорителите, при които магнитното поле може да се създава с помощта на неголеми по размер електромагнити, обхващащи затворената орбита и разположени по нейната дължина, се наричат синхротрони. При първите ускорители от този тип- електронните и протонните синхротрони със слаба фокусировка – електромагнитът се е състоял от четири квадранта, между които са се разполагали неголеми праволинейни участъци, в които отсъства магнитното поле, т.нар. *хиподрум дизайн*. Ускоряването на частиците се извършва на поредица от малки порции. Това става при многократното им преминаване в подходяща фаза през променливо електрическо поле.

3.9. Лазер със свободни електрони

Това е специализиран източник на кохерентно рентгеново излъчване.

3.10. Линеен ускорител

Нарича се също „линак“. Ускорител, в който частиците прелитат еднократно. Линеините ускорители се използват най-често за първично ускорение на частици, получени от електронна пушка или от йонен източник. Идеята за линеен колайдер за висока енергия не е нова. Основно предимство на линака е възможността да се получават ултра-малки емитанси и отсъствието на загуби на енергия, които растат пропорционално на четвъртата степен (!) на енергията на частиците.

3.11. Колайдер

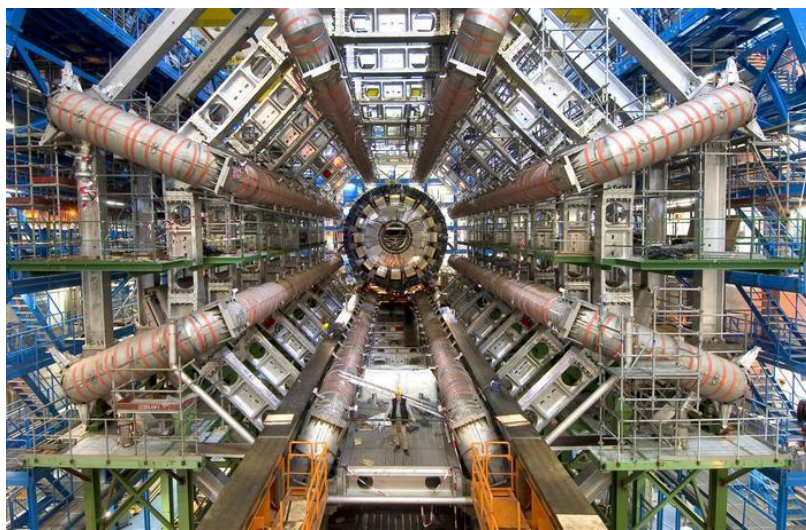
Колайдерът е ускорител на насрещни снопове от елементарни частици, предназначен за изучаване на продуктите от тези сблъсъци. Посредством колайдерите учените успяват да сблъскват елементарни частици на материята с голяма взаимна кинетична енергия, а след това да изучават проявленията от тези сблъсъци. Те биват два вида - *кръгови*, например, Големият адронен колайдер в Европейския център за ядрени изследвания CERN, и *линейни*, като проектирания Международен линеен колайдер.

3.11.1. История на колайдерите

През 1956 г. Доналд Керст предлага използването на сблъскващи се протонни снопове за изучаване на физиката на елементарните частици, а Джерард О'Нил предлага използването на натрупващи пръстени за получаване на интензивни снопове от елементарни частици. Активната работа по създаване на колайдерите започва едновременно в края на 50-те години в лаборатории в Италия, САЩ и СССР.

Първи заработва електронно-позитронният колайдер AdA, построен под ръководството на австрийския физик Бруно Тушека във Фраскати (Италия). Обаче първите резултати са публикувани през 1966 г. - една година по-късно, в сравнение с наблюденията на еластично разсейване на електрони през 1965 г. на НЕС-1 под ръководството на акад. Герш Будкер. По-късно са получени насрещни снопове и в американския ускорител. Тези първи три колайдера са тествали устройства, демонстрирали възможността за изучаване физиката на елементарните частици в колайдери.

Големият адронен ускорител - Големият адронен колайдер (на английски: *LHC, Large Hadron Collider*) - най-големият ускорител на елементарни частици в света, както и на серия по-малки ускорители, които захранват големия колайдер с ускорени протони. Намира се в Европейския център за ядрени изследвания CERN.



Фиг. 3. Големият адронен колайдер

Големият адронен колайдер предлага възможност за експериментиране в далеч по-величествени мащаби от всичко, познато до този момент. Колайдерът би могъл да открие намек за скрити измерения във време-пространството, като не само потвърди странната теория, но и представи обяснение за слабостите на гравитацията. Доста по-вероятно е големият адронен колайдер да открие частици суперпартньори, като по този начин да потвърди предсказанието на суперсиметрията. От експериментите със сблъсъци на тежки йони се очаква да осигурят изобилна информация за кварково-глюонната плазма, изпълваща пространството на Вселената, непосредствено след Големия взрив. При тези сблъсъци може би би могъл да се появи и най-очакваният от всички - Хигс-бозон, наричан още „частицата на Бога“. На 14 март 2013 г. ЦЕРН потвърждава, че открита през 2012 г. частица наистина е Хигс-бозон. Не по-малко вероятно е Големият адронен колайдер да покаже и онези екзотични частици, които засега съществуват само във въображението на учените. Тези частици биха могли да се окажат представители на тъмната материя.

Двата основни многофункционални детектора в колайдера са - АТЛАС и CMS (Компактен мюонен соленоид). Самият ускорител е създаден, за да открие Хигс-бозона. Колайдерът е фабрика за: струи от кварки, лептони, тао-неутрино, тъмна материя, съставена от неизвестни частици, трите вида неутрино. Бартън Цвайбах е изчислил, че след една обиколка по цялото 27-километрово трасе на колайдера, фотонът (частица светлина, пътуваща с максимална възможна скорост) би изпреварил един от протоните само с четвърт от милиметъра. Скоростта на протоните в колайдера е изумително близо до скоростта на светлината. Първо протоните се създават от атомите на водорода чрез отделянето на електроните. След това протоните получават първоначалното си ускорение в линеен ускорител, наречен "Линак 2". Той ускорява протоните до 31,4% от скоростта на светлината. Щом достигнат максималната си за тези условия скорост, протоните преминават в един от по-старите кръгови ускорители, т. нар. Протонен синхротронен бустер. Той увеличава скоростта им до 91,6% от скоростта на светлината. Ускоряването на протона до 99,93% се извършва от Протонния синхротрон (PS). След като достигнат крайната си скорост, протоните се пренасочват към мощния Суперпротонен синхротрон (SPS), който през 1983 г. разкри пред науката съществуването на W и Z бозоните - частици, които подпомагат действието на слабото ядрено взаимодействие. Суперпротонният синхротрон ускорява елементарните частици до 99,998% от скоростта на светлината. Така частиците са готови да влязат в Големия адронен колайдер, който е в състояние да ги ускори до 99,9999991% от скоростта на светлината. Ускоряването на един протон е възможно само с помощта на енергиен източник, равен на електрическото потребление на цял град. Засега Големият адронен колайдер работи с мощност, много по-малка от максималната. Сблъсъците между протоните стават в един от трите главни детектора - CMS, АТЛАС или LHCb.

4. Заключение

Учените в ЦЕРН се надяват, че изучавайки разпада на Б-мезоните, ще отговорят защо материята доминира над антиматерията. При сблъсък на оловни ядра се образува плазма-течност от елементарни частици. Плазмата е невероятно гореща и се състои от кварки и глюони. Това е прочутата кварково-глуонна плазма. Пресъздавайки я, учените от АЛИС се надяват да научат повече за поведението на кварките и глюоните и как те са се „събрали“, за да образуват протоните и неутроните.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Аксел, А. Д.; Сътворението на Вселената или големият адронен колайдер, 2011
- [2] Динев, Д. Хр. и .; Ускорители на частици, 2006
- [3] <https://www.atom-kosmos.com>
- [4] <https://bg.wikipedia.org>

ЛИНЕЙНО ТОПЛИННО РАЗШИРЕНИЕ. ИЗСЛЕДВАНЕ И ПРИЛОЖЕНИЕ

Симеон Хр. Симеонов

Транспортен Факултет, ТУ-София, бул. „К. Охридски“ №8, София 1000,
e-mail: modelist@mail.bg

Резюме. Темата кратко обхваща топлинното разширение. Какво представлява то като явление, различните видове топлинно разширение и приложението му.

Ключови думи: топлинно разширение, биметали, топлина, енергия

1. Увод

Топлинното разширение е явлението, при което твърдо тяло променя формата или обема си въз основа на температурно въздействие. Когато се измерва температурата на определена маса, това което всъщност се измерва е кинетичната енергия на молекулите, изграждащи това тяло. Разглежда се следната ситуация, нагрява се тяло, ще се повиши кинетичната енергия на молекулите му, какво ще се случи с това тяло? Изграждащите го частици ще започнат да вибрират с по-висока амплитуда и честота и това ще ги накара да се отдалечат една от друга. Те ще запазят това разстояние, докато високата температура е налична. Това ще доведе до увеличаване на физическите размери на тялото. Обратното също е валидно – при отнемане на топлина от едно тяло, вибрациите на молекулите ще затихнат леко, смалявайки разстоянието между тях и така тялото ще се свие.

Изследването на това явление е дало основата на много технологични възходи. Всичко около нас е изградено от физически материали, които се намират в условия на променлива температура - от домовете, в които живеем, електрониката, която все повече и повече става незаменима част от ежедневието ни, транспортната инфраструктура, от която зависи световната икономика, чак до космическите апарати, които трябва да издържат минимално от +120 до -100 °C, за да могат безпроблемно да функционират и да осигуряват телевизия, GPS навигация и изследователска дейност.

2. Фактори, влияещи на температурното разширение

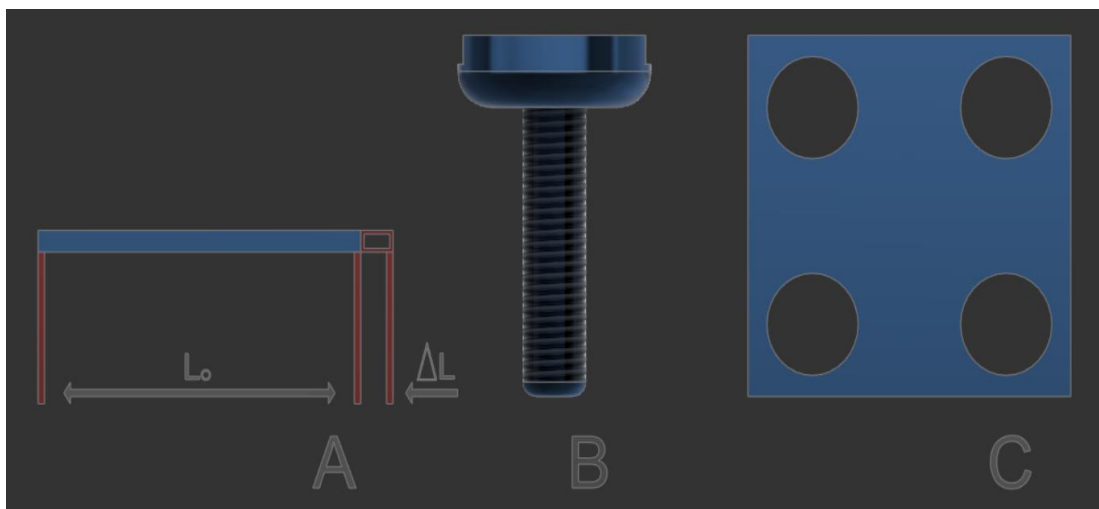
За разлика от флуидите твърдите материали запазват своята форма след претърпяване на температурно разширение. Разширението, породено от повишаване на температурата, намалява изразителността си с повишаване на енергията на химичната връзка между отделните молекули на твърдото тяло.

Химичната връзка също е отговорна и за температурата на топене на твърдите тела. От това следва изводът, че материали с по-висока точка на топене ще имат съответно по-слабо изразено температурно разширение.

3. Изследване на различните видове топлинното разширение

Разглеждат се три основни вида разширение при повишаване на температурата на дадено тяло (фиг. 1).

- Линейно разширение (А)
- Обемно разширение (В)
- Разширение по площ (С)



Фиг. 1. Видове разширения

Линейните разширения се изследват чрез формулата:

$$\left[\frac{\Delta L}{L_0} = \alpha \Delta T \right]$$

където ΔL е изменението на дължината на изследвания материала, L_0 - първоначалната дължина на материала, α - коефициент на топлинно разширение (за всеки материал е различно) и ΔT - изменението на температурата.

За **обемното разширение** формулата е:

$$\left[\frac{\Delta V}{V_0} = 3\alpha \Delta T \right]$$

където ΔV е изменението на обема и V_0 - началния обем.

За изследване на **разширение по площ** се използва:

$$\left[\frac{\Delta A}{A_0} = 2\alpha \Delta T \right]$$

където ΔA е изменението на площта и A_0 - началната площ.

В таблица 1 са представени коефициенти на топлинно разширение за някои по-широко ползвани материали.

Таблица 1.

Материал	Линейно (10^{-6}K^{-1})	Обемно (10^{-6}K^{-1})
Желязо	11.8	35.4
Стомана	~12	~35
PVC	52	156
Вода	69	207
Лед	51	
Волфрам	4.5	13.5
Стъкло	8.5	25.5

Коефициентът на топлинно разширение показва как се изменят размерите на тяло спрямо температурата му. По-точно този коефициент е отношението на изменението на размера за единица изменение на температурата. Съществуват три вида коефициенти, отнасящи се за трите вида температурно разширение – линейно, обемно и по площ. Най-често се използват коефициентите за линейно и по площ, тъй като те са най-приложими при твърдите тела. Обемното разширение е може би най-елементарното. То се отнася за почти всички флуиди, тъй като при нагряване се разширяват във всички посоки (изотропни).

4. Линейно топлинно разширение

Замисляли ли сте се някога на какво се дължи ритмичното тракане, което се чува от влак минаващ по релси (фиг. 2), каква функция изпълняват металните „шахти“ по цялата ширина на мостовете (фиг. 3), разположени на равни разстояния една от друга или защо лятно време кабелите на далекопроводите са провиснали, а през зимата по-обтегнати? Всичко това се дължи именно на факта, че материалите променят физическите си размери в зависимост от температурата.

Както бе споменато, при увеличаване на температурата телата се удължават, а при понижаване те се свиват. Представете си релсите на влак. Нека се разгледа следната ситуация. Ние сме железопътни инженери и трябва да проектираме отсечка с дължина 100 m и разполагаме с релси с дължина 50 m. Трябва да се изчисли какво разстояние е нужно да се остави между мястото, където ще свържем двете релси с дължина 50 m, така че те да покрият нашето изискване за 100 m железопътна отсечка. Материалът, който ще ползваме, е стомана и взимаме предвид, че температурата през зимата е $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и лятната температура е $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Строим отсечката при температура $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ползвайки формулата за линейно разширение, откриваме, че релса с дължина 50 m при $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и загряване до температура от $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ще се удължи с 0,024 m.



Фиг. 2.



Фиг. 3.

Това на пръв поглед не изглежда много, но ако не се вземе предвид, това разширение може и е довеждало до катастрофални последствия. Термалното разширение, макар и малко на пръв поглед, притежава огромна сила (фиг. 4).

Тази сила за линейно разширение се извежда със следните формули:
От горното уравнение се извежда, че:

$$\Delta L = \alpha \Delta T$$

От тук се дефинира деформацията като:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Модулът на еластичност се изразява чрез: $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$, където E се измерва в (Pa (N/m²)), σ е натоварване, $\sigma = F_n/A$.

Когато се ограничи разширението, то се превръща в термален стрес:

$$\sigma_{\Delta T} = E \alpha \Delta T \text{ (Pa (N/m}^2\text{))}.$$

Аксиалната сила, която оказва опора, възспираща термалното разширение е:

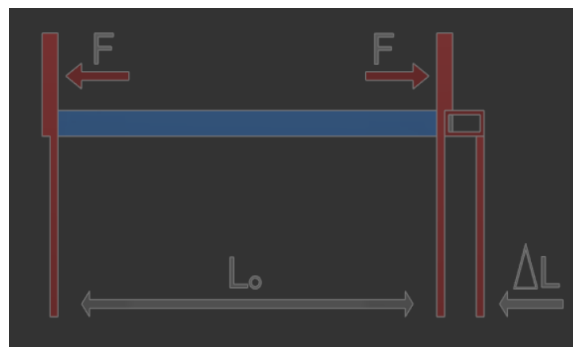
$$F = \sigma_{\Delta T} A \text{ (N)},$$

където A е напречна площ на опората.

Разглежда се следната ситуация: единият край на релсата е застопорен, а другият е допрян плътно до следващата релса. За да се изчисли силата, с която едната релса ще действа на другата, ще е необходимо да се ползва следното уравнение:

$$\Delta L = \frac{F L_0}{A E}$$

В този случай, обаче ΔL е разширението, което бива възспирено от другата релса. Тъй като няма как да се поставят релсите идеално плътно една до друга, се приема, че между тях има разстояние 0,001 m, (0,024-0,001 = 0,023). Преобразува се за F :



Фиг. 4.

$$F = \frac{\Delta LAE}{L_0}$$

Нека се приеме, че напречната площ на опората е $A = 25 \text{ cm}^2 = 0.0025 \text{ m}^2$, а модулът на еластичност за стомана е $E = 200 \text{ GPa} = 2 \times 10^{11} \text{ Pa}$. При решаване се открива, че силата, която ще действа на другата релса е равна на 230000 N.

Силите, породени от ограниченото температурно разширение, са достатъчно големи, за да повредят всяка една машина или постройка, в чиято конструкция не е сметнат факторът на температурно разширение и свиване.

Тракането, което се чува от минаващ по релси влак, е именно звукът, получен при преминаването колелото на влак през разстоянието, оставено с цел компенсиране на температурното разширение. Широките „шахти“ на мостовете всъщност са връзки, позволяващи разширяването, а промяната в дължината на кабелите на далекопроводите се дължи на удължаването им през лятото и свиването им през зимата.

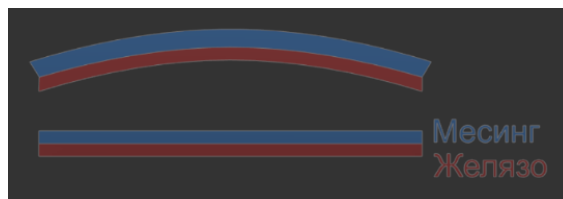
5. Приложение

Температурното разширение не винаги е проблем. Нека се разгледат изобретения като живачния термометър, биметалните пластини, ползвани в релетата за котлони и печки, механични сглобки (индукционно напасване).

- Когато използваме живачен термометър, ние всъщност измерваме температурното разширение или свиване на живака. Ползваме температурната графа, която е пресметната, ползвайки именно горепосочените уравнения (фиг. 5).
- Биметалните пластини представляват пластина направена от две ленти, слепнати една за друга (например желязо и месинг). Линейният коефициент на топлинно разширение за месинга е 19, а за желязото - 11,8. Когато слепим двете ленти и започнем да ги нагряваме, месингът ще има тенденцията да се удължи повече от желязото, което ще накара цялата пластина да се закриви. Това явление лесно може да се приложи като прекъсвач за електрическа верига, например за реле на котлон. Добре изчислена пластина може да включва и изключва даден електроуред при точно определена температура (фиг. 6).

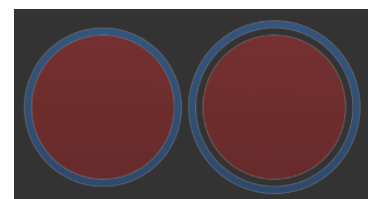


Фиг. 5.



Фиг. 6.

- Механични сглобки. Представете си, че искате да напаснете две части една в друга без да ползвате лепила или да разрушавате структурата на детайлите. Ако едното тяло бъде нагрято, другото ще може лесно да влезе в даден отвор. При охлаждане до стайна температура,



Фиг. 7.

нагрятото тяло отново ще върне оригиналните си размери и двете заедно ще станат почти неотделими (фиг. 7).

6. Отрицателно топлинно разширение

Отрицателно топлинно разширение се нарича свиването на някои материали при повишаване на температурата и удължаването им при намаляване на температурата. Това явление се проявява в точно определен диапазон от температури. Например коефициентът на температурно разширение на водата спада до нула при 3,983 °C, а след това е отрицателен с понижаване на температурата. Тоест водата има най-висока плътност именно при тази температура. Това е причината водните басейни да запазват температура от 4 °C на дъното, дори и по време на продължителни студени периоди.

7. Заключение

Средата, в която живеем, е като млад човек, постоянно променяща се - динамична. Това, което е било факт преди само секунда, вече е напълно различно. Дори нещо на пръв поглед толкова незначително като промяна в температурата от сутрин до вечер се оказва нещо толкова силно, способно да срути сгради, мостове и железопътни възли. Именно заради това всеки инженер трябва да бъде много добре запознат не само с основния проблем, а и с характера на средата, в която ще се реализира решението на проблема. Фактори като въздушни течения, засенчване от други обекти, пряка слънчева светлина, падаща върху даден детайл, специфични коефициенти на топлинно разширение за различните материали, ползвани в дадена машина. Ако всичко това бъде оставено на заден план, гарантирано ще доведе до катастрофални последици.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_expansion
- [2] <https://physics.info/expansion/summary.shtml>
- [3] <https://www.britannica.com/science/thermal-expansion>
- [4] https://www.engineeringtoolbox.com/linear-expansion-coefficients-d_95.html

ЧИСЛЕНИ СИМУЛАЦИИ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНИ ТРЕПТЕНИЯ

Росица Павлова

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

Резюме. Разработен е софтуер за изследване на нелинейни трептения в последователен трептящ кръг. С помощта на числени симулации се изследват още свободни, затихващи и линейни принудени трептения. Докато за нелинейните трептения са възможни само числени решения, резултатите от симулациите за линейни трептения се потвърждават от аналитичните решения. Приложението може да се използва и в обучението на студентите по физика.

Ключови думи: нелинейни трептения, компютърни симулации на физични процеси.

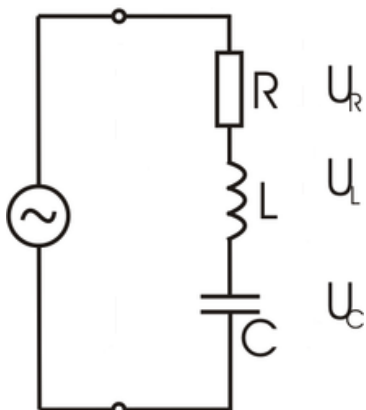
1. Увод

Веригите, съдържащи индуктивност L и капацитет C , намират приложение в голям брой устройства като тунери на радиоприемници, генератори, усилватели, филтри и много други. Това обуславя необходимостта от изследването и изучаването на процесите в такива вериги. Следвайки тенденциите и в други области на науката и тук едно от съвременните направления на изследванията е отчитането на нелинейни ефекти [1]. Частен случай на такива вериги, мотивиращ в известна степен настоящето изследване, са високочестотните плазмени източници и по-специално капацитивните и индуктивните разряди. Нелинейният отклик на плазмата на външното електрично поле налага внасянето на нелинейни елементи в еквивалентните схеми на източниците [2].

В настоящата работа е разработен софтуер за изследване на нелинейни електромагнитни трептения в последователен трептящ кръг. Интерфейсът е достатъчно опростен и използването му не изисква специални знания по програмиране. Софтуерът позволява и разглеждането на линейни трептения, което го прави подходящо помощно средство в учебния процес по физика. В тази връзка са разработени и допълнителни модули за теоретичната подготовка на студентите и получаването на резултатите в съответното лабораторно упражнение.

2. Основни уравнения

На фигура 1 е показана схемата на последователен трептящ кръг.



Фиг. 1. Принудени трептения в последователен трептящ кръг

От закона на Кирхоф:

$$U_R + U_L + U_C = U_m \cos(\omega t) \quad (1)$$

където: U_R е напрежението върху резистора, U_L - напрежението на бобината, U_C - напрежението на кондензатора, U_m - амплитудата на напрежението на генератора, ω - кръговата честота на генератора.

Напрежението върху кондензатора зависи нелинейно от заряда [3]

$$U_C(q) = \frac{q}{C_0} (1 + \gamma_0 q^2) \quad (2)$$

като γ_0 характеризира степента на нелинейност.

Уравнение (1) се решава с помощта на числен метод за интегриране на система от диференциални уравнения от $t_1 = 0.09$ s до $t_2 = 0.1$ s при начални условия: начален ток равен на нула, начален заряд нула:

$$\frac{dI}{dt} = -\frac{q}{LC_0} (1 + \gamma_0 q^2) - \frac{IR}{L} + U_m \cos(\omega t)$$

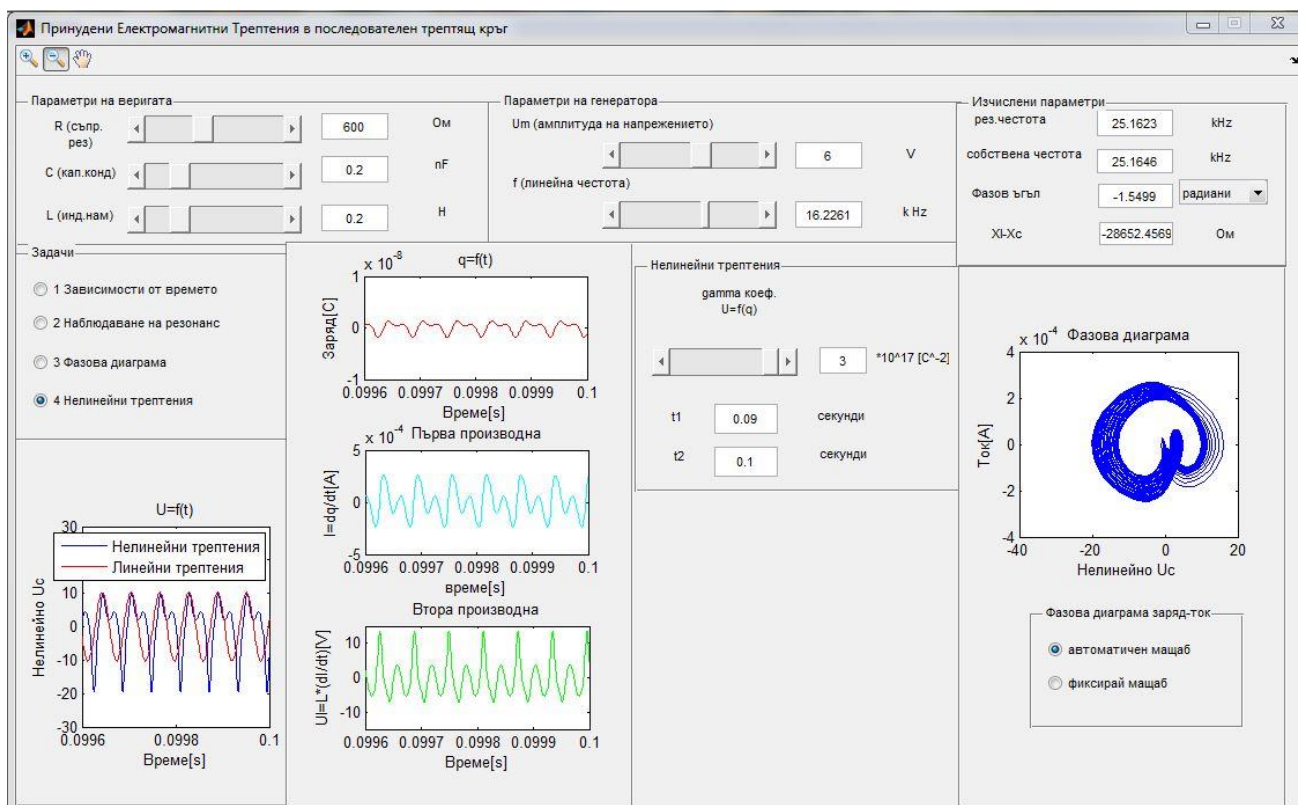
$$\frac{dq}{dt} = I$$

Използван е MATLAB GUI като за всеки графичен обект са генерирани функции, които се изпълняват. Началните стойности на параметрите на веригата R , L , C и други, се задават със графичен обект slider bar, в който се задава диапазон от стойности. Избраните стойности служат като входни параметри на функциите, с които се правят изчисленията. Получените резултати се представят графично в обект axes. Използвани са и други обекти.

При всяка промяна на параметри формата се обновява.

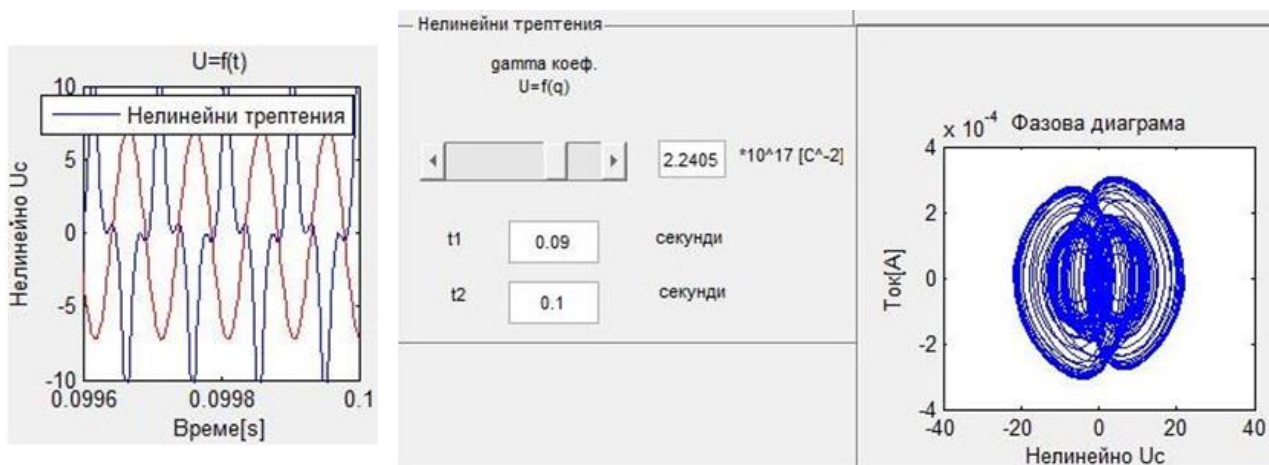
3. Примерни резултати за нелинейни трептения

На фиг. 2 е показан графичният интерфейс на програмата за симулации на принудени трептения. Първо се избира вид на задачата, след това се задават R , L , C (параметри на веригата) и амплитудата U_m и честотата ν на генератора. За линеен случай софтуерът изчислява собствена честота, резонансна честота, фазов ъгъл, реактивно съпротивление. Графичните резултати са за $Q(t)$ на плочите на кондензатор, $I(t)$ през резистор и бобина, $U_L(t)$ на бобината. Могат да се сравнят напреженията на кондензатора $U_C(t)$ за линеен и нелинеен случай. Също могат да се съпоставят $Q(t)$ и $U_C(t)$ за нелинеен случай, като се забелязва сходство.

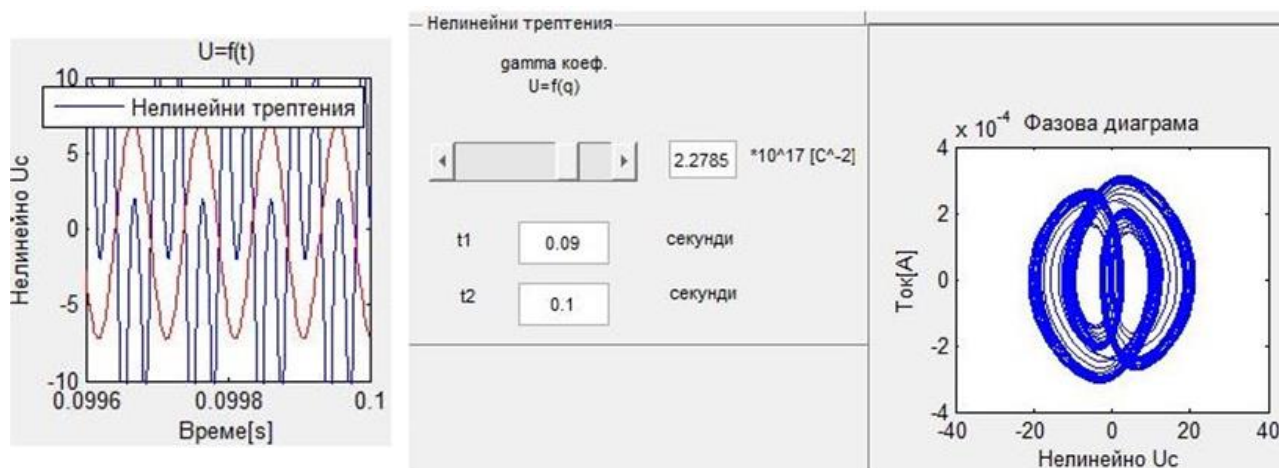


Фиг. 2. Графичен интерфейс на програмата за изследване на принудени нелинейни електромагнитни трептения в последователен електричен трептящ кръг. $\gamma = 3 \cdot 10^{17} [\text{C}^{-2}]$; $R=600 [\Omega]$; $C=0.2 [\text{nF}]$; $L=0.2 [\text{H}]$; $f=16.2261 [\text{kHz}]$; $U_m=6 [\text{V}]$.

На фиг. 3 са показани резултати за нелинейни трептения при три стойности на параметъра γ . С t_1 и t_2 ръчно се задава интервалът време, в който се решават диференциалните уравнения. Интервалът е зададен от 0,09 s до 0,1 s, но може и да се посочи друг интервал. Въведените данни се валидират и в случай на грешка се получава съобщение като данните се игнорират. Резултатите, които се визуализират, са за малък интервал от 0,0004 s, за да могат да се разгледат няколко трептения. На левите панели ясно се вижда отклонението от синусоидалната форма на напрежението на кондензатора за нелинеен случай в сравнение с линеен случай ($\gamma = 0$). Промяната на γ води до изменения на формата на сигнала. На десните панели са показани фазовите диаграми. За разлика от линейния случай, където фазовите диаграми са окръжности (или елипси, в зависимост от използвания мащаб), при нелинейния случай формата е много по-сложна, като се променя при промяна на параметъра γ .



Фиг. 3а.



Фиг. 3б.

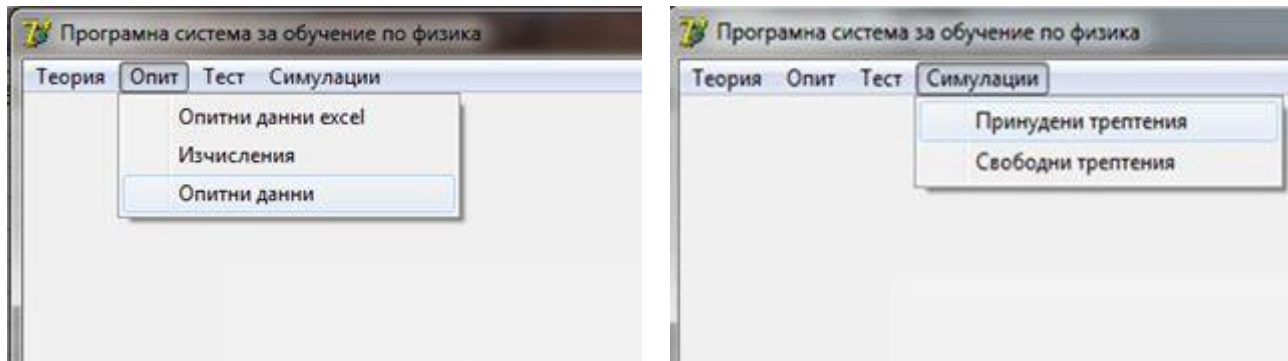


Фиг. 3в.

Фиг. 3. Нелинейни трептения при три стойности на параметъра гатта. Изменение на напрежението на кондензатора с времето (ляво), слайдер за задаване на стойността на гатта и времеви интервал за решение – въвежда се от потребителя в обект uicontrol (в средата) и фазови диаграми (дясно).

4. Програмна система за обучение по физика

В тази част са представени възможностите на софтуера за използването му за педагогически цели. При стартиране на програмата на екрана се визуализира началния прозорец, който съдържа четири менюта.



Фиг. 4. Начално меню

Първоначално има възможност за запознаване с теоретичната част, изискванията и да се види примерен протокол. Пристъпва се към попълване на име и отговор на въпроси, свързани с теорията. Следва запис в протокол.

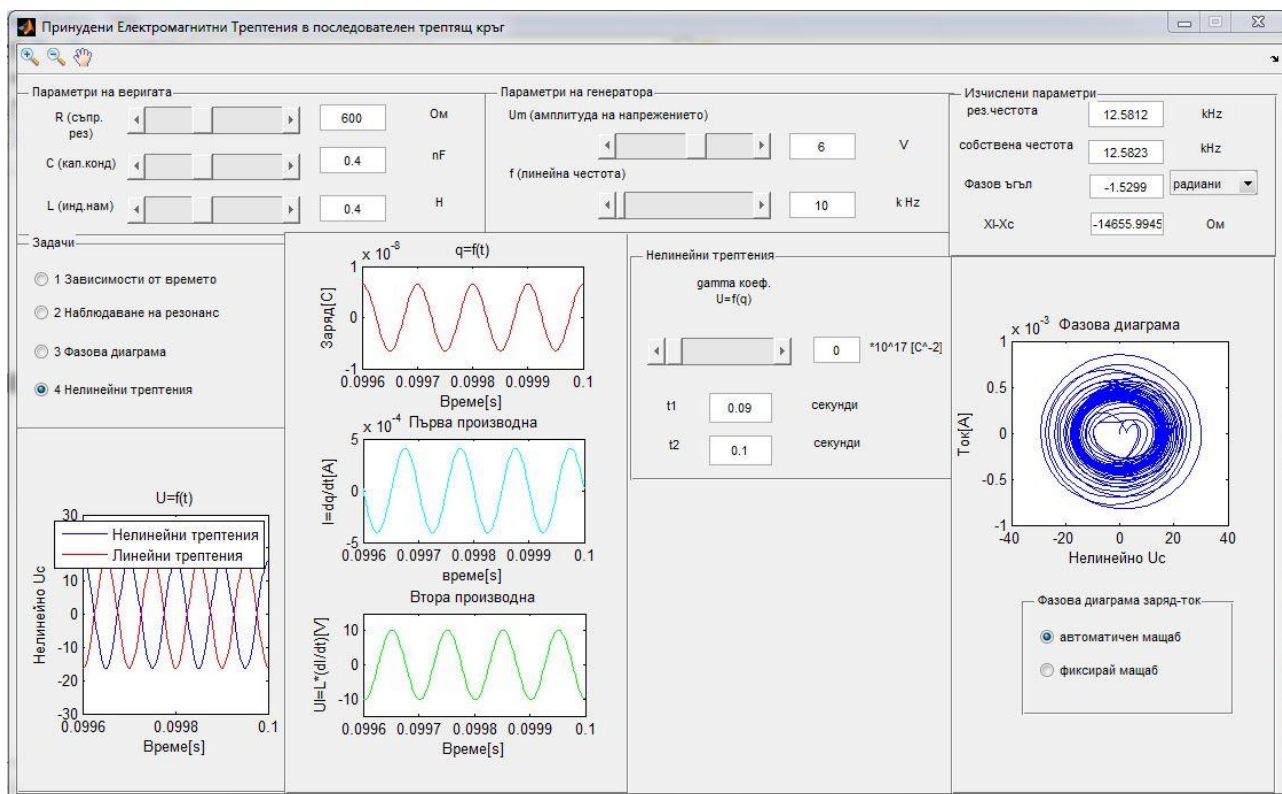
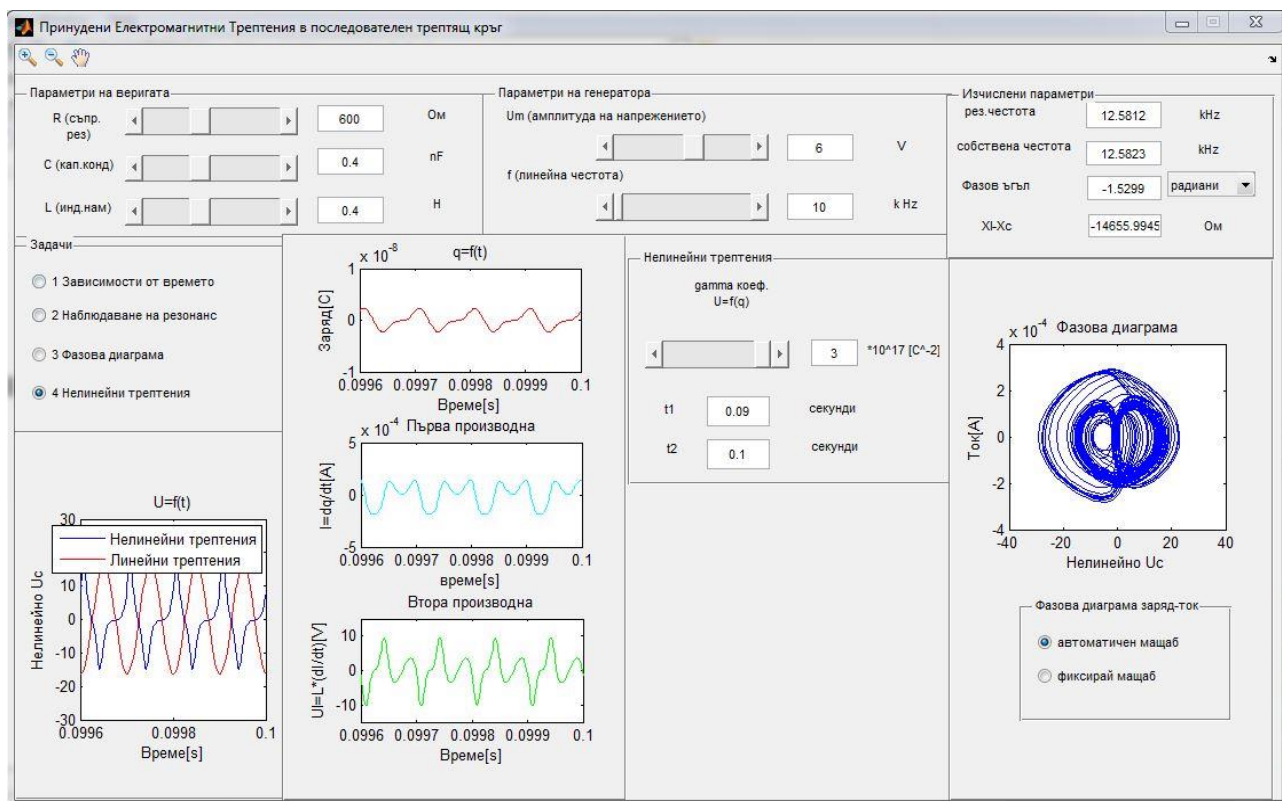
Следващата възможност е да се разгледат опитни данни, които са взети в две серии. При промяна на честотата на генератора се сменя напрежението върху резистора при въздушен кондензатор за едната серия, за втората серия - когато между плочите на кондензатора има стъкло. Разстоянието между плочите в двата случая е еднакво. Успоредно на тези данни за сравнение са представени теоретично изчислени данни при същите параметри на веригата.

Следва попълване на опитни данни от студента, като за улеснение се прехвърлят предварителни данни от база данни, които се редактират и се записват в протокола. Могат да се сравнят и графиките, получени в програмата с помощта на Tee Chart (library) и също да се експортира графика в подходящ формат.

Следва изчисляване на относителната диелектрична проницаемост по въведени резонансни честоти на веригата в двата случая, изчисляване на грешка, представяне на резултати и запис в протокола.

Накрая има тест за самопроверка, който се избира на случаен принцип, чрез натискане на бутон, отговорите се дават в съответно поле и се получава оценка.

В меню симулации се задават предварително подготвени стойности, изследват се зависимости между величини и се онагледяват. Като пример можем да сравним линейни ($\gamma=0$) и нелинейни ($\gamma = 3 \cdot 10^{17} [C^{-2}]$) трептения при еднакви параметри, различен е само коефициента на нелинейност γ .



Фиг. 5. Сравнение на линейни и нелинейни трептения

5. Заключение

В доклада са представени възможностите на софтуер за изследване на трептения в последователен трептящ кръг. Демонстрирано е влиянието на нелинейна зависимост на капацитета на кондензатор от заряда върху формата на напрежението и фазовите диаграми. Лесната работа с интерфейса, възможността за изследване и на линейни трептения и допълнителните учебни модули правят софтуера ефективно помощно средство и в обучението на студенти по физика.

ЛИТЕРАТУРА

[1] T. Bécherrawy, Mechanical and Electromagnetic Vibrations and Waves, John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, NJ, 2012

[2] M. A. Lieberman and A. J. Lichtenberg, Principles of Plasma Discharges and Materials Processing, 2nd ed., WileyInterscience, Hoboken, NJ, 2005

[3] И. Желязков, Трептения и вълни, УИ Св. Климент Охридски, София, 2000

GW150914: КИНЕМАТИКА НА СИСТЕМА ОТ ДВЕ ЧЕРНИ ДУПКИ

Димитър Г. Стоянов

ИПФ-Сливен, ТУ-София, 8800 Сливен, Бургаско шосе 59

Резюме: В работата се разглежда движението на затворена система от две черни дупки в процеса на сближаване, наблюдавани при GW150914. От публикуваните данни са получени големината на разстоянието между тях и относителната им скорост на движение. Констатирано е наличието на инварианта по време на еволюцията на системата. Посочен е възможния вид на сили на взаимодействие.

Ключови думи: кинематика, черни дупки.

1. Увод

През 1916 г. А. Айнщайн започва разработването на Общата теория на относителността, целта на която е описание на процесите в пространството при наличие на силни гравитационни полета. На определен етап от развитие на теорията той достига до извода за възможността за съществуване на гравитационни вълни. По-късно идеята търпи развитие в теоретичен план и дори достига етап на практическо търсене с цел регистрация на гравитационните вълни. Накрая групата LIGO Scientific Collaboration достига положителен резултат [1]. За това достижение беше дадена и Нобелова награда по физика за 2017 г.

Регистрираните гравитационни вълни са създадени (излъчени) от система от две близко разположени големи черни дупки, които отначало се сближават, а след това и се сливат в една.

Цел на настоящата работа е да се разгледа затворена система от две черни дупки в процеса на сближаване и получаване на кинематичните характеристики на системата. Разглеждането се извършва в рамките на Нютоновата механика.

2. Система от две материални точки

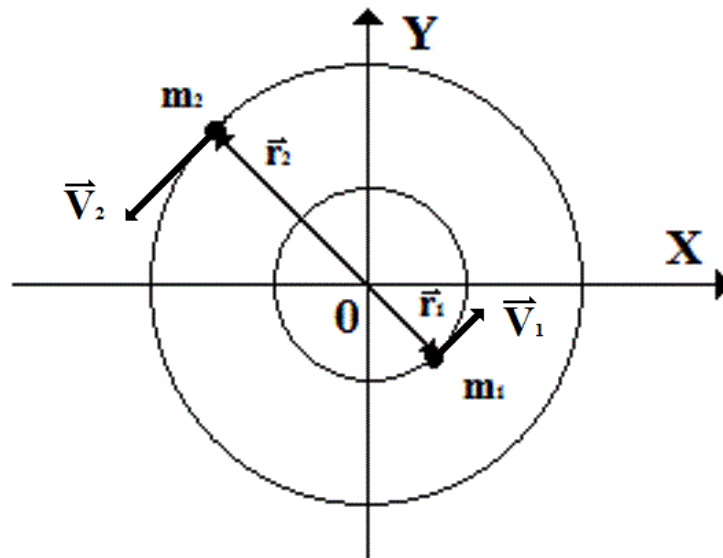
Разглеждаме две тежки тела, с номера 1 и 2. Всяко тяло притежава положение $\vec{r}_i$, скорост $\vec{V}_i$ и ускорение $\vec{a}_i$, където i е номера на тялото ($i=1,2$). Двете тела образуват система материални точки, върху които не действат външни сили.

Поради фактът, че липсват външни сили, без ограничение на общността ще приемем, че центърът на масите на системата от две тела е неподвижен и съвпада с началото на координатната система, в която описваме движението на

телата. Примерното разположение на телата при класическо разглеждане, в координатна система, свързана с центъра на масите, е показано на фиг. 1.

Вътрешното взаимодействие между тях, при класическо разглеждане, е гравитационно със сили на привличане (не са показани на фигурата) според закона на Нютон.

Такава система от две тела може да се сведе [2] до разглеждане на движението на една еквивалентна материална точка с маса μ , положение $\vec{r}$ и скорост $\vec{V}$.



Фиг. 1. Система от две тежки тела

Тук $\vec{r}$ е векторът на взаимното разположение на телата, а $\vec{V}$ е относителната скорост на движение на телата [2]

$$\vec{r} = \vec{r}_1 - \vec{r}_2 \quad (1)$$

$$\vec{V} = \vec{V}_1 - \vec{V}_2 \quad (2)$$

Валидни са следните връзки между кинематичните величини [2]:

$$m_1 \cdot \vec{r}_1 = -m_2 \cdot \vec{r}_2 = \mu \vec{r} \quad (3)$$

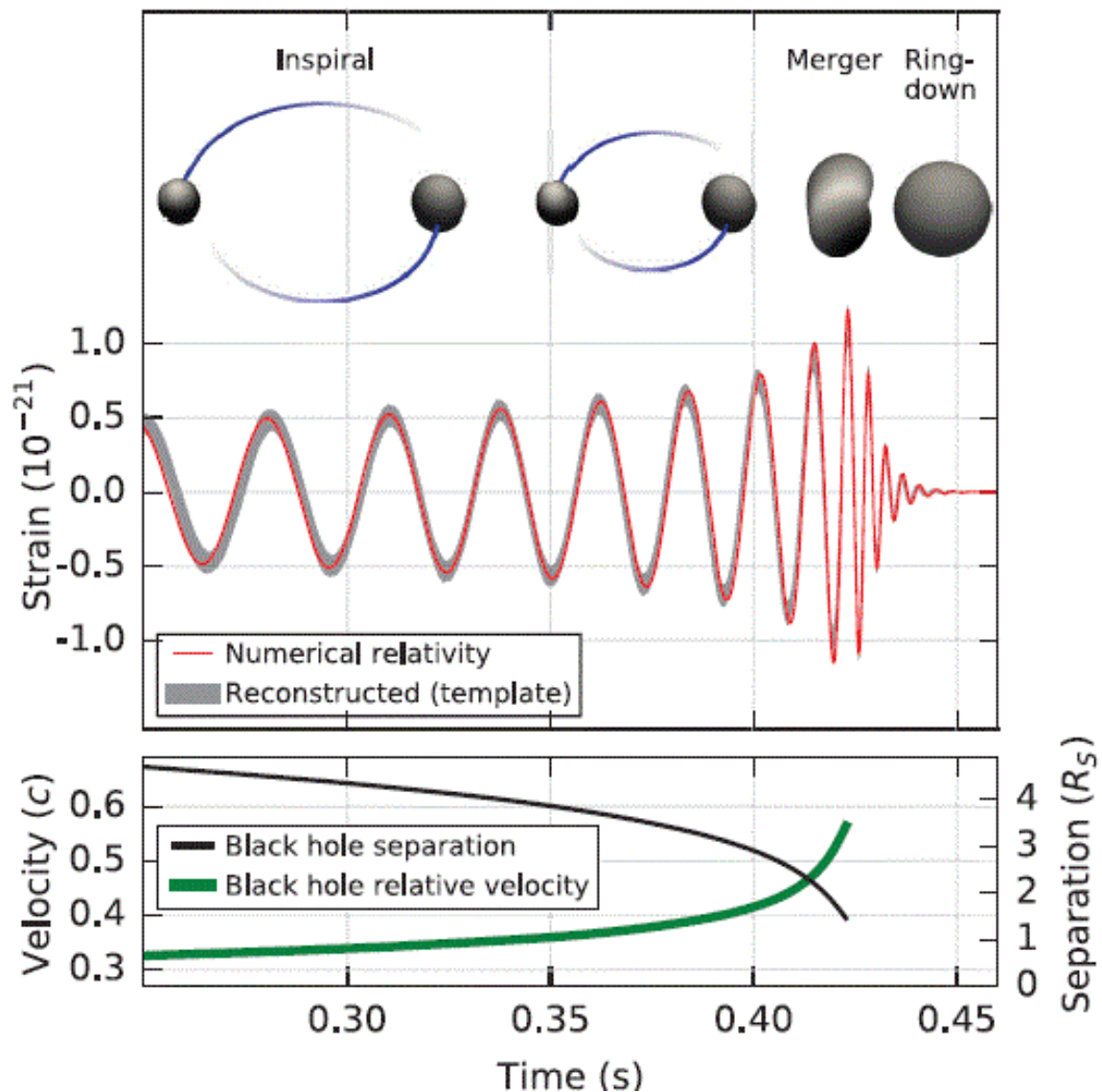
$$m_1 \cdot \vec{V}_1 = -m_2 \cdot \vec{V}_2 = \mu \vec{V} \quad (4)$$

Тук при записа на (3) и (4) е ползвана и величината μ - приведена маса на системата

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} = \frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2} \quad (5)$$

3. Наблюдение

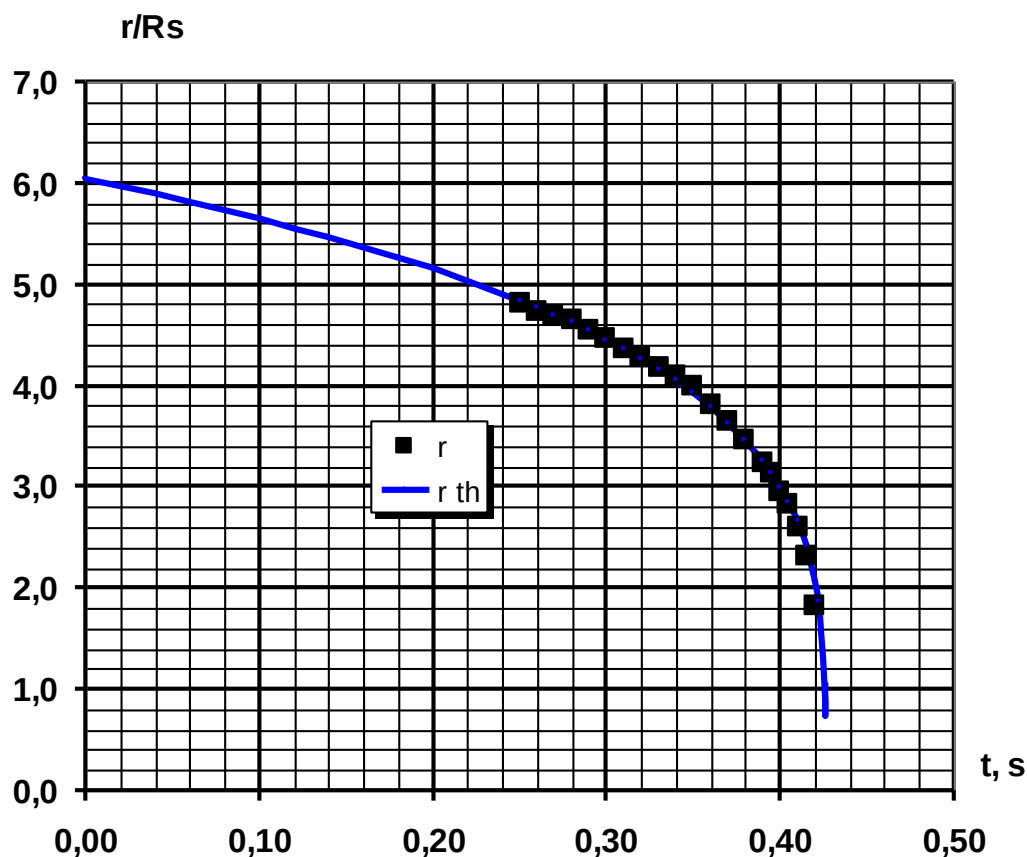
В работата се анализират резултати от наблюдение на GW150914, дадени графично в [1]. Изходните данни са дадени на фиг. 2. Това е фиг. 2 на [1].



Фиг. 2. Изходни данни, от [1]

От фиг. 2 са свалени точки от графиката на взаимното разположение и относителната скорост на черните дупки, участвали в GW150914.

Резултатите за взаимното разположение в единици R_s (радиус на Шварцшилд) са дадени на фиг. 3 като пълни квадрати.



Фиг. 3. Еволюция на разстоянието между черните дупки

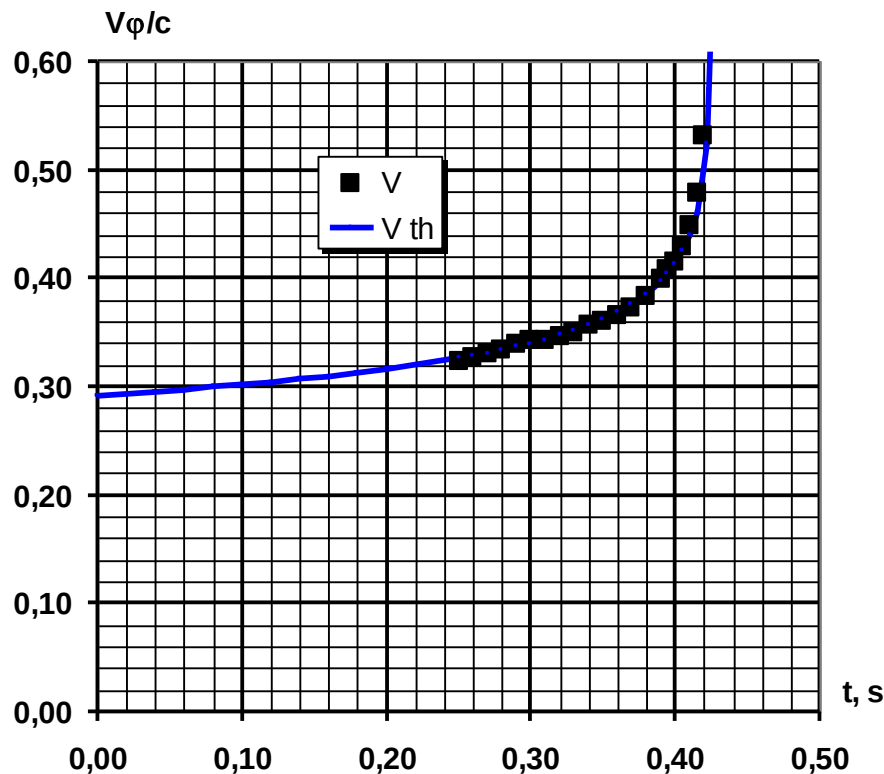
Обработката на стойностите на точките дава следната зависимост

$$r = r_0 \cdot \left(1 - \frac{t}{T}\right)^{1/4} \quad (6)$$

където $r_0 = 6,035 R_s$, а $T = 0,426 \text{ s}$

Полученият резултат се намира в съответствие с [4] за случая на еволюция на кръгова орбита. Кривата на (6) е показана на фиг. 3.

Резултатите за относителната скорост на движение на черните дупки в единици c (скорост на светлината) са дадени на фиг. 4 като пълни квадрати.



Фиг. 4. Еволюция на относителната скорост на движение на черните дупки

4. Анализ на резултатите от графиката

Първата величина, от еволюцията на която се заинтересувахме, е моментът на импулса на единица маса $r.V_\phi$. Резултатът е показан на фиг. 5.

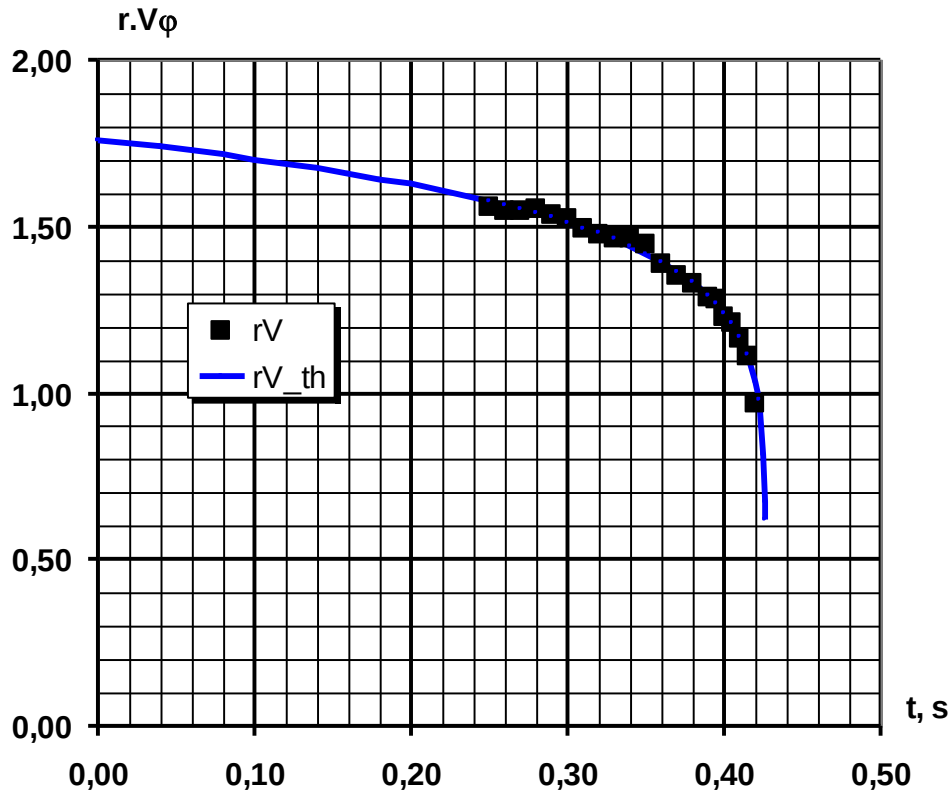
От фиг. 5. се вижда, че моментът на импулса намалява. Всъщност това е условието разстоянието между черните дупки да намалява и накрая да се слейт. При запазване на момента на импулса траекториите при гравитационно привличане от Нютонов тип щяха да са криви на коничното сечение - елипси (с частен случай окръжност), парабола или хиперболи. В случая, обаче, траекторията ще представлява спирала.

Но намаляване на момента на импулса под действие само на централни сили, не може да се получи. За да се наблюдава такова намаляване е необходимо да се предположи съществуването на тангенциална сила при движението на черните дупки в пространството, действаща в посока, обратна на посоката на движение. От графиката се вижда, че тази сила с течение на времето силно расте като големина.

Анализът на получените резултати показва, че кандидат за запазваща се величина в този процес на еволюция е $r.V_\phi^2$. Еволюцията на тази величина е показана на фиг. 6. Тук ще приемем, че величината се запазва и има стойност

$$r.V_{\varphi}^2 = A = 0,514 \pm 0,007 \quad (7)$$

Численната стойност е в единици $R_S.c^2$. Посочената тук грешка е продукт от нашите грешки при снемането на точките от фиг. 2.



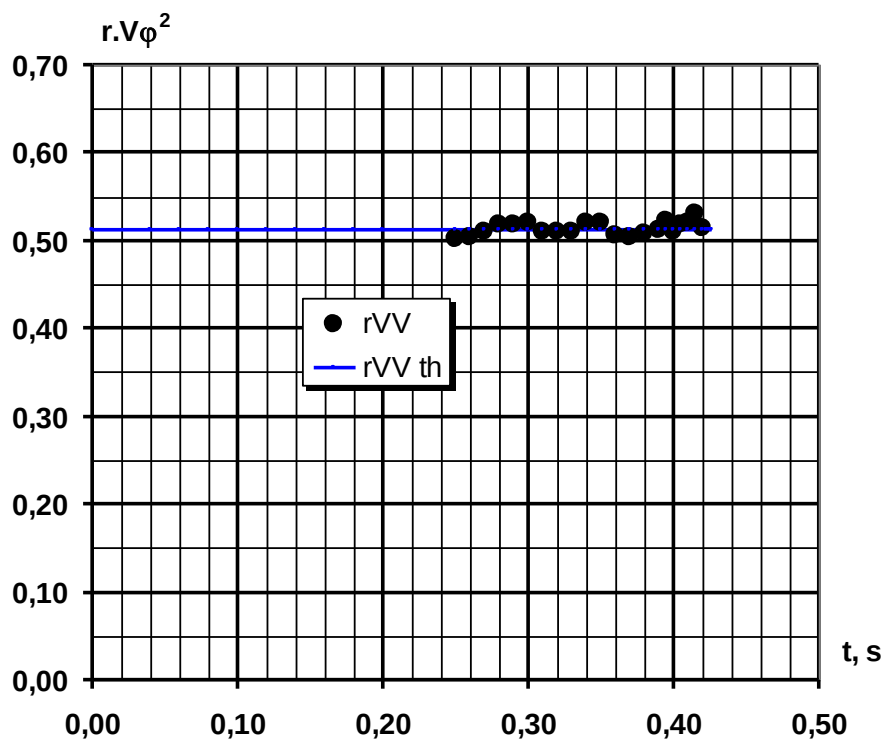
Фиг. 5. Еволюция на момента на импулса на черните дупки

Въз основа на това предположение, можем да получим:

$$V_{\varphi} = \frac{\sqrt{A}}{r^{1/2}} = \sqrt{\frac{A}{r_0}} \left(1 - \frac{t}{T}\right)^{-1/8}, \quad (8)$$

$$r.V_{\varphi} = \sqrt{A}.r^{1/2} = \sqrt{r_0.A} \left(1 - \frac{t}{T}\right)^{1/8}. \quad (9)$$

Кривите на (8) и (9) също са показани на съответните фигури. Както се вижда от фигурите, кривите показват добре тенденциите в еволюцията на величините.



Фиг. 6. Еволюция на величината $r.V_{\varphi}^2$ за черните дупки

5. Теоретично предложение

Тук ще разгледаме тангенциалната сила F_{φ} . Ще запишем израза за тангенциалното ускорение a_{φ} , съгласно [3]

$$a_{\varphi} = r \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} + 2 \cdot \frac{\partial r}{\partial t} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{F_{\varphi}}{\mu} \quad (10)$$

Предполагаме, че е валидно (7), записано във вида

$$r^3 \left(\frac{\partial \varphi}{\partial t} \right)^2 = A. \quad (11)$$

Откъдето

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{\sqrt{A}}{r^{3/2}} \quad (12)$$

и

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = -\frac{3}{2} \frac{\sqrt{A}}{r^{5/2}} \cdot \frac{\partial r}{\partial t} \quad (13)$$

Замествайки (12) и (13) в (10), ще получим

$$\frac{F_\varphi}{\mu} = -\frac{3}{2} \cdot \frac{\sqrt{A}}{r^{3/2}} \cdot \frac{\partial r}{\partial t} + 2 \cdot \frac{\partial r}{\partial t} \cdot \frac{\sqrt{A}}{r^{3/2}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sqrt{A}}{r^{3/2}} \cdot \frac{\partial r}{\partial t} \quad (14)$$

Тази тангенциална сила, от този вид, създава въртящ момент, водещ до промяна на момента на импулса

$$\frac{M_\varphi}{\mu} = \frac{r \cdot F_\varphi}{\mu} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sqrt{A}}{r^{1/2}} \cdot \frac{\partial r}{\partial t} = \frac{\partial(r \cdot V_\varphi)}{\partial t} \quad (15)$$

Ползвайки (6), от (15) ще получим

$$\frac{\partial(r \cdot V_\varphi)}{\partial t} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sqrt{A}}{r^{1/2}} \cdot \frac{\partial r}{\partial t} = -\frac{1}{8} \frac{r_0^4 \cdot \sqrt{A}}{T} \cdot \frac{1}{r^{7/2}} \quad (17)$$

Полученият резултат (17) се намира отново в съответствие с [4] за случая на еволюция на кръгова орбита.

6. Заключение

В работата е разгледано движението на затворена система от две черни дупки в процеса на сближаване, наблюдавани при GW150914. От публикуваните данни са определени емпирични зависимости за големината на разстоянието между тях и относителната им скорост на движение. Констатирано е наличието на инварианта по време на еволюцията на системата. Посочен в възможния вид на сили на взаимодействие.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Abbott B. P. et al. Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger, *Physical Review Letters*, **116**, 061102, (2016).
- [2] Голдстейн Г., *Классическая механика*, Москва, изд. Наука, (1975)
- [3] Яблонский А. А., *Курс теоретической механики*, Часть II, Москва, изд. Высшая школа, (1962).
- [4] Peters, P. C. Gravitational Radiation and the Motion of Two Point Masses, *Physical Review*, 4B, **136**, 1224, (1964).

ОБЛАСТ НА ДОПУСТИМИТЕ СТОЙНОСТИ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА МИЛИСЕКУНДНИЯ ПУЛСАР XTEJ 1807-294 СПОРЕД МОДЕЛА НА РЕЛАТИВИСТКА ПРЕЦЕСИЯ

Радостина Ташева и Иван Стефанов

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

Резюме. На базата на модела на релативистка прецесия (RP) е разгледана зависимостта на честотата ν_{LF} на нискочестотните като функция на горната ν_U от двете високи честоти на квазипериодични осцилации за маломасивния милисекунден пулсар XTEJ 1807-294. Чрез използване на χ^2 теста е ограничена областта на допустимите стойности на параметрите на централната неутронна звезда - маса M и момента на импулса a .

Abstract. By means of the relativistic precession model (RP) the relation between the low frequent ν_{LF} and the upper ν_U high frequent frequencies of the quasiperiodic oscillations of the low mass millisecond pulsar XTEJ 1807-294 are considered. Using χ^2 test the range where the admissible values of the parameters of the central neutron star - the mass M and the angular momentum a lie is constrained.

Ключови думи: пулсари, квазипериодични осцилации, рентгенови спектри

1. Увод

Финалните стадии на еволюцията на звездите с маси между 10 слънчеви и 30 слънчеви маси водят до създаването на обекти с изключително голяма плътност - неутронни звезди. Звездите, получени след избухването на съответната свръхнова и последвалия гравитационен колапс, имат маси между 1.4 и 3 слънчеви маси и изключително висока повърхностна температура (обикновено около $6 \cdot 10^5$ K). Като следствие от закона за запазване момента на импулса колапсиращите неутронни звезди увеличават силно скоростта си на въртене и когато това е съчетано с излъчването на електромагнитни вълни се наблюдават така наречените пулсари. Тъй като са резултат от еволюцията на масивни обекти, наблюдаваните в нашата Галактика неутронни звезди са с голяма възраст и практически не могат да бъдат наблюдавани.

Когато неутронните звезди се наблюдават в двойни системи, акрецията на газ върху тях предизвиква излъчване в рентгеновия диапазон. Засмукването на гореща материя от звездата компаньон може да доведе до „рециклиране” на пулсара като увеличи масата и скоростта му, създавайки милисекунден пулсар.

Повтарящите се (макар и с различни амплитуди) пикове в рентгеновите спектри на милисекундните пулсари могат да се разглеждат като проявление на квазипериодични осцилации (КПО), свързани с величините, описващи

движението на падащата към неутронната звезда материя. Тъй като подобни осцилации се наблюдават и в рентгенови двойни системи, съдържащи предполагаеми черни дупки, изследването на подобни обекти не само позволяват да се определят параметрите на централния обект, но и да се наблюдава поведението на движещата се акреционна материя в условията на силни гравитационни полета.

Нискочестотните КПО имат честоти ν_{LF} със стойности обикновено 0.1-10 Hz (достигащи до 30Hz), които са силно променливи макар и много ясно изразени поради големия си интензитет. Високочестотните осцилации имат честоти по-големи от 50 Hz, които не се менят значително с времето. Заради малките интензитети на тези осцилации, обаче, те не винаги могат да бъдат регистрирани и точните стойности на честотите им са предмет на дискусии. В някои източници възникват двойки високи честоти - горна ν_U и долна ν_L .

Драстично различните свойства на двата вида осцилации предполага и различен механизъм на тяхното възникване. Търсенето на корелации между тях, обаче може да доведе до стесняване на областта на допустимите стойности на параметрите на съответния централен обект - масата M и безразмерния ъглов момент a . За високочестотните осцилации има множество модели, описващи възникването им, но нито един, който да обясни достатъчно ясно механизма на възникване и характеристиките им. Сравнението между моделите обикновено се прави на базата на способността им да описват светлинните криви на обектите, особено високочестотната част на рентгеновия им спектър.

2. Модел на релятивистката прецесия (RP)

Ако хипотетична тестова частица се намира в акреционен диск, тя участва в три вида движения - движения по почти кръгова орбита с честота ν_ϕ , радиални движения с честота ν_r и вертикални с честота ν_θ . Честотите на възникващите в рентгеновия спектър КПО обикновено се свързват с тези честоти или техни прости комбинации.

Нискочестотните осцилации с честота ν_{LF} могат да се интерпретират като резултат от взаимодействието между моментите на импулса на неутронната звезда и акреционния диск около нея и последващото завъртане на диска, т.е. чрез модела на релятивистичната прецесия на Lense-Thirring (например, Bardeen et.al, [1]). Съответната честота на въртене на прецесионната равнина е $\nu_{nod} = \nu_\phi - \nu_\theta$.

Stella and Vietri [2] предлагат модела на релятивистка прецесия (RP), за да обяснят квазипериодичните осцилации, възникващи в бинарните системи, съдържащи както неутронни звезди, така и черни дупки. Разглеждайки слабо ексцентрична и наклонена орбита на тестовата частица, движеща се в състава на горещо петно газ близо до вътрешната граница на акреционния диск (най-вътрешната стабилна орбита, ISCO), те приписват на горната висока честота ν_U стойност $\nu_U = \nu_\phi$. Долната висока честота съвпада с прецесионната $\nu_L = \nu_{per} = \nu_\phi -$

ν_r . RP модела предполага ниско- и високочестотните осцилации да възникват върху една и съща или много близки орбити. Тъй като ниските и високите честоти се описват като комбинация от Кеплеровата честота ν_ϕ и честотите ν_r и ν_θ , получени чрез пертурбации на Кеплеровата честота, RP моделът успешно обяснява връзката между тях.

3. Данни за милисекундния пулсар XTEJ 1807-294

Маломасивния пулсар XTEJ 1807-294 е открит при рентгеново сканиране на галактическото ядро с Rossi X-ray Timing Explorer [3] през 2003 г. Linares et.al, 2005[4], правят наблюдения на нискочестотните и за пръв докладват двойки едновременно възникващи високочестотни осцилации в рентгеновия му спектър, данните за които са дадени в Таблица 1. Те правят 8 групи оценки за тези честоти като моделират всеки от пиковите стойности на спектъра със съвкупност от лоренциани. Първата група – А, те считат за недостатъчно достоверна, защото двойката високи честоти в нея не възникват едновременно. Ние също я изключваме от нашата извадка.

Таблица 1 Данни за милисекундния пулсар XTEJ 1807-294

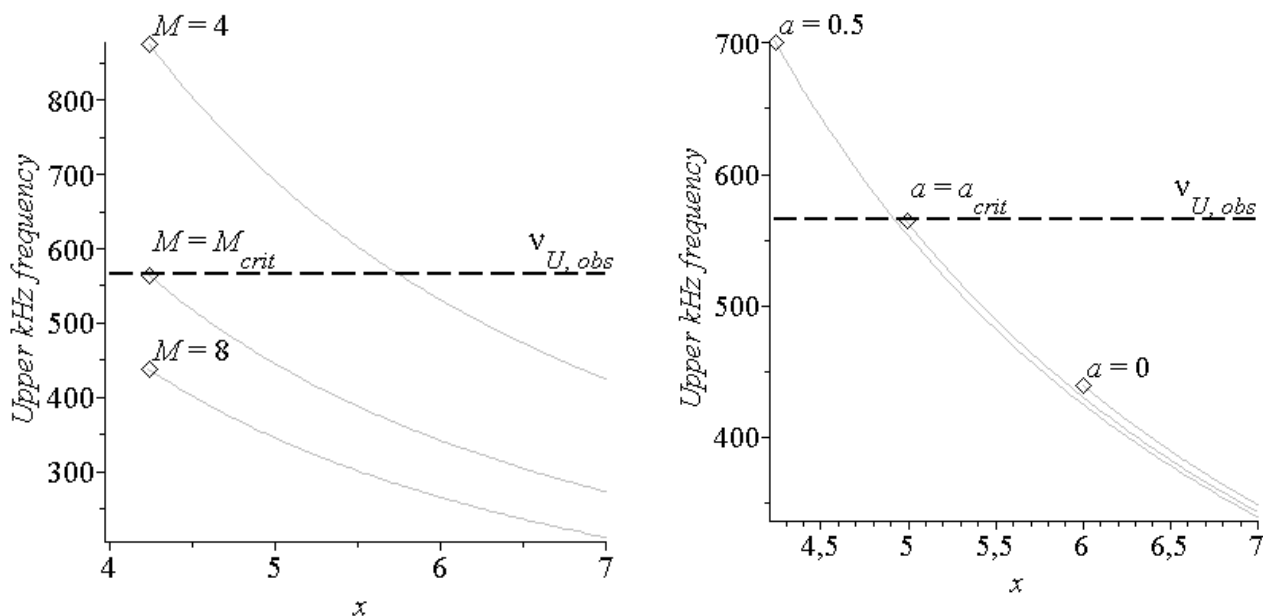
Group	$\nu_{LF}(\text{Hz})$	$\nu_L(\text{Hz})$	$\nu_U(\text{Hz})$
B	14.45 ± 0.17	163 ± 23.0	354.0 ± 10.0
C	17.4 ± 0.4	191.0 ± 9.0	375.0 ± 2.0
D	20.2 ± 0.4	202.0 ± 11.0	395.0 ± 3.0
E	26.1 ± 1.6	238.0 ± 25.0	449.0 ± 9.0
F	27.6 ± 0.5	259.0 ± 16.0	465.0 ± 2.0
G	32.1 ± 1.5	273.0 ± 19.0	492.0 ± 5.0
H	40.3 ± 1.1	370.0 ± 18.0	565.0 ± 5.0

4. Зависимост между горната висока честота ν_U и честотата на нискочестотните осцилации ν_{LF}

Всяка от трите наблюдаеми честоти ν^{obs} може да се разглежда като функция на три параметъра - безразмерния момент на импулса $a = Jc/GM^2$ на неутронната звезда, масата ѝ M в слънчеви маси и безразмерния радиус на възникването му $x = r/r_g$ където $r_g = GM/c^2$. Използваните единици, съгласно Общата теория на относителността са такива, че скоростта на светлината е равна на гравитационната константа $c = G = 1$. Тогава:

$$\begin{aligned}
 \nu_{LF}(a, M, x_{LF}) &= \nu_{LF}^{obs} \\
 \nu_L(a, M, x_L) &= \nu_L^{obs} \\
 \nu_U(a, M, x_U) &= \nu_U^{obs}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Според RP модела всяка от горните честоти може да бъде пресметната от уравнение, съдържащо горните 3 свободни параметъра. Ако искаме да изразим зависимостта $\nu_U = f(x_U)$ от третото от уравнения (1), трябва да фиксираме единия параметър, например a , и ще получим семейство от криви, изразяваща тази зависимост при различни стойности на другия параметър - масата M . На фиг. 1а тази зависимост е представена при три различни маси - $M=8M_\odot$, $M=M_{\text{crit}}$ и $M=4M_\odot$. Параметъра a сме фиксирали, вземайки предвид, че той може да заема стойности от 0 до 1 в средата на интервала, т.е $a = 0.5$. Критичната стойност на маса $M_{\text{crit}} = 6.20 M_\odot$ се получава от изискването при фиксиран момент на импулса ($a = 0.5$) най-голямата наблюдаема честота $\nu_U^{\text{obs}} = 565 \text{ Hz}$ да възниква върху ISCO. Вижда се, че горния край на всяка крива отговаря на един и същи радиус x , съвпадащ с ISCO – радиусът, съответстващ на най-вътрешната стабилна орбита на въртяща се в акреционния диск тестова частица. Върху същата фигура е нанесена за сравнение и наблюдаемата честота ν_U^{obs} . С нарастване на масите намалява възможността да се намери решение, съвместимо с най-голямата наблюдаема честота ν_U^{obs} . Ако фиксираме по-малък момент на импулса, например $a = 0.25$, масата намалява до $M = 4.8M_\odot$ и изчислената честота е по-голяма от наблюдаемата. Решение е възможно само при маси $M \leq M_{\text{crit}}$.



Фиг. 1. Графика на зависимостта на горната честота ν_U като функция на радиуса на възникването $\nu_U = f(x_U)$ за два случая: а) при фиксиран момент на импулса $a = 0.5$; б) при фиксирана маса $M = 5M_\odot$.

Ако сега фиксираме масата $M = 5M_\odot$, а оставим момента на импулса да варира, ще получим криви на еднакъв момент на импулса (Фиг. 1б). Отново се наблюдава, че само някои стойности на момента на импулса удовлетворяват съответното уравнение, т.е. предсказват стойности на пресметнатата честота

$\nu_U \geq \nu_U^{obs}$. Критичната стойност на момента на импулса a_{crit} се получава когато за фиксирана маса (в нашия случай $M = 5M_\odot$) предположим, че най-голямата наблюдаема честота $\nu_U^{obs} = 565\text{Hz}$ възниква върху ISCO. Построените от нас криви на еднакъв импулс отговарят на $a = 0$, $a_{crit} = 0.3$ и $a = 0.5$ и показват че с нарастване на момента на импулса се увеличава възможността да се намери решение, което да е в съгласие с наблюдаемите честоти, т.е. a трябва да има стойности поне $a \geq a_{crit}$. Ако фиксираме по-ниска маса (например $M = 4.5M_\odot$), a намалява чувствително (в този случай $a = 0.18$) и пресметнатата честота е по-ниска от наблюдаваната, нанесена за сравнение.

Критичната маса M_{crit} на неутронната звезда представлява такава пресметната маса при която $\nu_U = \nu_U^{obs, max}$ и радиусът на възникването на тези осцилации е равен на радиусът на най-вътрешната стабилна орбита на тестовата частица (x_{ISCO}). Тогава третото от уравнения (1) придобива вида:

$$\nu_U = f(a, M_{crit}, x = x_{ISCO}(a)) = \nu_U^{obs} \quad (2)$$

Така можем да изразим графично зависимостта на M_{crit} като функция от безразмерния момент на импулса a , т.е.:

$$M_{crit} = f(a) \quad (3)$$

Така получената крива е изобразена на фиг. 2а с пунктир.

5. Оценка на областта на допустими стойности на параметрите на ХТЕJ 1807-294 с помощта на χ^2 - теста.

Според RP модела трите честоти ν_{LF} , ν_L и ν_U възникват на едни и същи орбити т.е. $x_{LF} = x_L = x_U$. Това позволява да изразим радиуса x на въртене на горещото петно от третото от уравненията (1):

$$x_{LF} = f(a, M, \nu_U^{obs}) \quad (4)$$

След заместване в първото от уравненията ниската честота ν_{LF} е изразена като функция на горната висока честота ν_U , т.е.:

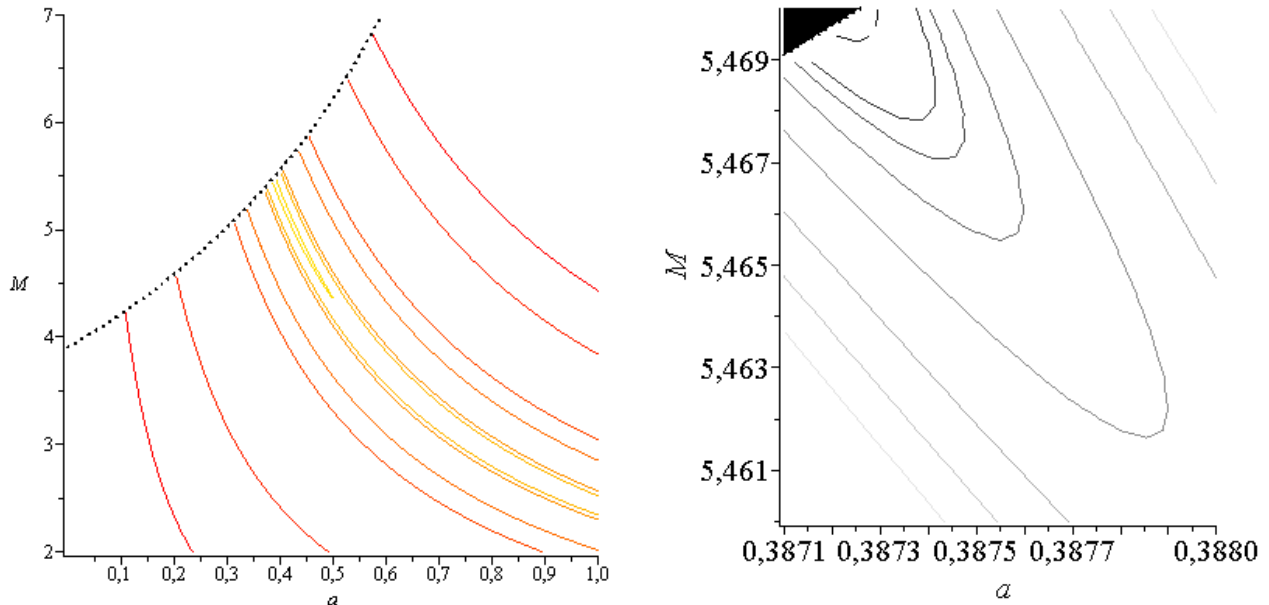
$$\nu_{LF} = f(a, M, \nu_U^{obs}) \quad (5)$$

За да намерим областта, в която се намират оптималната двойка параметри (a, M) , използваме χ^2 – теста:

$$\chi_{U,LF}^2(a, M) = \sum_{i=1}^N \frac{(\nu_{LF}(a, M, \nu_U^{obs}) - \nu_{LF,i}^{obs})^2}{\sigma_{LF,i}^2} \quad (6)$$

Тук ν_{LF} играе ролята на зависимата променлива, ν_U - на независимата променлива, чието стандартно отклонение се пренебрегва и $I = 1, 2, 3 \dots 7$. Търсим минималната стойност на χ^2 при всяка двойка (a, M) в дадена област на изследване - χ_{min}^2 .

Чрез използване на ограничения, получени от изследването на зависимостта $\nu_U = f(x_U)$, сме стеснили диапазона на допустимите стойности на a и M до $a \geq a_{\text{crit}} = 0.3$ и $M \leq M_{\text{crit}} = 6.20 M_\odot$. Изследвайки решенията за a и M в области, близки до тези стойности (по-големи от a_{crit} и по-малки от M_{crit}), получаваме сгъстяващи се изолинии на χ^2_{min} (фиг. 2), които ни насочват към областта, в която трябва да търсим оптималните стойности на масата и момента на импулса - a_{opt} и M_{opt} .



Фиг. 2. Графика на зависимостта момент на импулса-маса.

а) наблюдаваните криви са за $\chi^2 = 5000, 1000, 500, 75$ и 45 (най-вътрешната крива); б) наблюдаваните криви са за χ^2 от 43.05 до 43.1

Първоначалното търсене започва с едромашабна мрежа и са обхванати стойности на χ^2_{min} $5000, 1000, 500, 75$ и 45 (фиг. 2а). Получава се сгъстяване на изолиниите в посока на $\chi^2_{\text{min}} = 45$.

Следващата стъпка е търсенето на най-малката възможна стойност на χ^2 , която би следвало да е по-малка или равна на $\chi^2_{\text{min}} = 45$. Кривата, изобразяваща тази стойност в равнината a - M - за $\chi^2_{\text{min}} = 43.1$ (фиг. 2б), не може да е затворена, защото е ограничена отгоре от изискването пресметнатите честоти да са поне равни на наблюдаемите т.е. $\nu_U \geq \nu_U^{\text{obs,max}}$. Зоната, която дава решения $\nu_U < \nu_U^{\text{obs,max}}$, т.е. такива, които не са в съгласие с наблюдателните данни, е зачернената област на фиг. 2б. Оптималните стойности a_{opt} и M_{opt} очевидно лежат върху под кривата, очертаваща тази област, в близост до нея.

6. Заключение

Като използвахме данни от работата на Линарес и др. от 2005 [3] за маломасивния пулсар XTEJ 1807-294 приложихме модела на релативистка прецесия (RP) в опит да оценим областта на допустимите стойности на два от

неговите основни параметри - масата на неутронната звезда M и безразмерния момент на импулса a . Изследването на зависимостта на горната висока честота ν_U като функция на радиуса, на който възниква χ_U , ни позволи да установим ограничения върху стойностите на a и M - $a \geq a_{\text{crit}} = 0.3$ (при $M = 5 M_\odot$) и $M \leq M_{\text{crit}} = 6.20 M_\odot$ (при $a = 0.5$). Съвместното решение на уравненията, описващи ν_U и ниската честота ν_{LF} ни и прилагането на χ^2 теста, ни доведе до допълнително стесняване на тази област в (a, M) равнината. Областта на оптималните стойности a_{opt} и M_{opt} , съответстващи на χ^2_{min} , трябва да лежи върху кривата, ограничаваща възможните стойности на a и M до такива, при които $\nu_U \geq \nu_U^{\text{obs, max}}$.

Следващите стъпки в изследването на този обект ще бъдат свързани с установяване на стойностите на оптималните параметри по този метод, както и сравнение на получените резултати със тези от прилагането на корелацията между ниската и долната висока честота $\chi_{LF} = f(\nu_L)$ в рентгеновия спектър на този обект.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Bardeen, J.M.; Petterson, J.A., 1975, ApJ, 195, L65.
- [2] Stella L., Vietri M., 1998, ApJ, 492, L59.
- [3] Markwardt C.B., Smith E., Swank J.H., 2003, IAU Circ., 8080, 2.
- [4] Linares M., van der Klis M., Altamirano D., Markwardt C.B., 2005, in: arXiv astro-ph, 0509011.

NUMERICAL CALCULATION OF INTRAPULSE RAMAN SCATTERING USING SPLIT-STEP FOURIER METHOD WITH TWO ITERATIONS

Ivan M. Uzunov and Todor N. Arabadzhiev

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

ABSTRACT. We study numerically the influence of the intrapulse Raman scattering (IRS) on the bright optical solitons at large distances. Following numerical methods have been applied: the simple [6], the reduced [6], the split-step Fourier method with one iteration [5,7], the split-step Fourier method with two iterations [5,7], the Blow-Wood' method [8] and the "fourth-order Runge-Kutta method in the interaction picture method" (RK4IP) [17]. It turn out that the best performance in the description of IRS has shown the split-step Fourier method with two iterations.

Keywords: optical solitons, intrapulse Raman scattering, the split-step Fourier method with two iterations

I. Introduction

As is well known the intrapulse Raman scattering (IRS) [1-3] is one of the basic nonlinear effects in fiber optics responsible for the soliton self-frequency shift of the optical soliton [4-5]. The propagation of ultra-short pulses in the presence of IRS is described by the following equation [4-5]:

$$i \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} + |U|^2 U = \gamma U \frac{\partial}{\partial t} (|U|^2), \quad (1)$$

where U is the normalized envelope of the electric field, x is the normalized propagation distance, t is the retarded time. The term on the right side of Eq.(1) describes IRS and γ is related to the first moment of the nonlinear response function (the slope of the Raman gain spectrum). We should mention that this is the simplest model of description of IRS [5]. The more accurate models of the IRS are presented in [1-3,5,8-10].

The basic idea in the theoretical consideration of the evolution of optical solitons in the presence of IRS through the model given by the Eq. (1) is the perturbation one. In accordance with this idea the shape of the pulse remains unchangeable while the parameters of the soliton solution are functions of distance [4]. For the bright solitons the dependences of the four parameters of the soliton solution: amplitude, position, frequency and phase on the distance have been established in [11]. The space

evolution of the parameters of dark soliton solutions using the regularized laws of conservation of nonlinear Schrodinger equation has been identified in [12]. Moreover, it has been found that the soliton-frequency shift as well as an approximate analytical description of the adiabatic pulse deformations of bright solitons can be obtained using symmetry transformations [13]. Using symmetry analysis in [13] is shown that Eq.(1) has a solution in the form:

$$U(x,t) = f(\xi) \exp \left[-ix \left(\frac{1}{3} b^2 x^2 - bt + a \right) \right], \quad \xi = t - \frac{1}{2} bx^2, \quad (2)$$

where a, b are free real parameters. The function $f(\xi)$ satisfies the ODE:

$$af - b\xi f + \frac{1}{2} f_{\xi\xi} + f|f|^2 - \gamma f(|f|^2)_\xi = 0. \quad (3)$$

Setting $f(\xi) = M(\xi) \exp[i\chi(\xi)]$ and separating the real and imaginary parts of Eq. (3) following equations for $\chi(\xi)$ and $M(\xi)$ have been derived [13]:

$$\begin{aligned} \chi(\xi) &= S_0 \int M(\xi)^{-2} d\xi \\ (a - b\xi)M + \frac{1}{2} M_{\xi\xi} - \frac{S_0^2}{M^3} + M^3 - 2\gamma M^2 M_\xi &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Finally following approximate asymmetric solitary - wave solution which takes into account pulse deformations of Eq. (1) has been found [13]:

$$\begin{aligned} U(x,t) &= \frac{1}{\tau_0} \left\{ 1 + \frac{8\gamma}{15\tau_0^2} \xi - \left[\frac{4\gamma}{15\tau_0^3} \xi^2 - \frac{12\gamma}{15\tau_0} \ln \operatorname{sech} \left(\frac{\xi}{\tau_0} \right) \right] \tanh \left(\frac{\xi}{\tau_0} \right) \right\} \times \\ &\times \operatorname{sech} \left(\frac{\xi}{\tau_0} \right) \exp \left\{ i \left[\frac{8\gamma}{15\tau_0^4} xt - \frac{1}{3} \left(\frac{8\gamma}{15\tau_0^4} \right)^2 x^3 + \frac{x}{2\tau_0^2} \right] \right\} \end{aligned} \quad (5)$$

where $\xi = t - \frac{4\gamma}{15\tau_0^4} x^2$, $\tau_0 = \frac{1}{\sqrt{-2a}}$, $a < 0$.

An important issue in the study of the influence of the IRS on the optical solitons is the tail generated due to the influence of IRS [14,15-16]. According [13], Eq. (4b) with $S_0 = 0$ at least in principle has bounded solutions whose asymptotic behavior at $|\xi| \rightarrow \infty$ is similar to that of the Airy function. But no bounded solution is of finite energy [13].

In [14] the tails of the soliton given by Eq. (5) are interpreted as the different types of the Airy function on the different sides of the pulse. In accordance to [14] in the propagation of the optical soliton given by Eq. (5) the tail breaks down and transforms into chaotic radiation waves. Radiation waves cannot be removed from the grid and therefore it is impossible to remove the effect of boundaries. Moreover even if we increase the size of computational window the oscillatory tail keeps its shape for longer distances but finally transforms into chaotic radiation waves [14].

Self-similar solutions of [13] have been also recently discussed in [15]. Here their stability has been analyzed and it was numerically found that after some proper

strength of the IRS the single-humped pulses as input experiences amplitude decay. In other words it was suggested that the pulses behave like radiatively decaying solitons [15].

In fact more general picture of a late asymptotic stage of the evolution of a Raman - driven localized pulse has been proposed earlier in [16]. For this asymptotic stage it has been analytically shown that the optical solitons will slowly decay into the oscillating tail [16]. Asymptotically, the peak power will vanish inversely proportionally to the traveled distance (see Eq.(33) in [16]).

The aim of the present work is to study numerically the influence of the intrapulse Raman scattering (IRS) on the bright optical solitons at large distances with different numerical methods. Following numerical methods have been applied: the simple [6], the reduced [6], the split-step Fourier method with one iteration [5,7], the split-step Fourier method with two iterations [5,7], the Blow-Wood' method [8] and the "fourth-order Runge-Kutta method in the interaction picture method" (RK4IP) [17]. Two different initial conditions have been used: the standard Schrodinger soliton and Gagnon's solution in the form given by the Eq. 5.

II. Results

The derivative in the right side of the Eq. (1) has been numerically calculated by four points approximation with the accuracy of $O(h^4)$. The maximal numerical parameters which we have used are 32768 grid points, time window 642 and propagation step $dz = 1/1570.8$. Accuracy of performed calculation has been verified by calculating the total energy which is conserved quantity for the Eq. (1) as well as performing the additional calculations with two times smaller (and larger) step size in z . As initial condition for numerical simulations of Eq. (1) we have used the Schrodinger soliton solution as well as the asymptotic solution given by Eq. (5). As we should propagate solitons at very large distances in the presence of IRS we first checked the applicability of our numerical methods for such distances in the absence of IRS. Results revealed the excellent conservation of Schrodinger solitons at required distances. The studied values of γ were in the interval $\gamma \in (0.05 \div 0.5)$.

Our numerical study of the above five numerical methods has revealed that the best performance in the description of IRS has shown the split-step Fourier method with two iterations [5, 7]. It turned out also that at large distance there is no difference between results obtained with the two types of initial conditions.

In order to compare results of all numerical methods in comparison with the best one, namely the split-step Fourier method with two iterations [5, 7], we have introduced the quantity relative peak amplitude difference: $r = |A_{peak_it2} - A_{peak}| / A_{peak_it2}$, where A_{peak_it2} is the peak amplitude calculated by the split-step Fourier method with two iterations and A_{peak} is the peak amplitude of other numerical methods. In the next

Fig. 1 are compared the relative peak amplitude differences of all five methods with respect to the split-step Fourier method with two iterations.

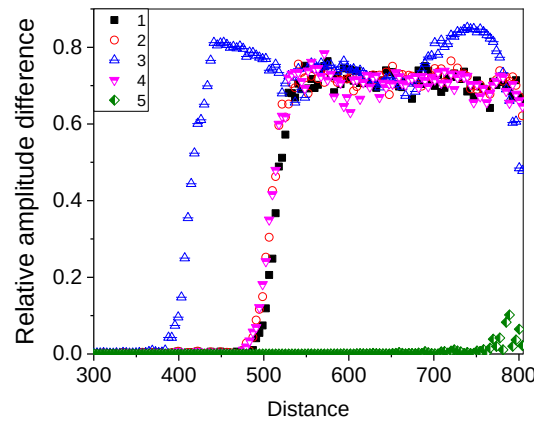


Fig. 1: *The relative peak amplitude difference for the case of $\gamma = 0.15, N = 8192, dx = 6.37 \cdot 10^{-4}$, time window 320: 1 - simple method; 2 - reduced method; 3 - Blow-Wood method; 4 - the “fourth-order Runge-Kutta method in the interaction picture method”; and 5 - corresponds to the split-step Fourier method with one iteration*

As can be clearly seen from Fig. 1 the most advantages for the study of the influence of IRS on the soliton solution is the split-step Fourier method with two iterations [5,7]. Next Fig. 2 shows the main features in the soliton evolution under the influence of IRS calculated by means of the split-step Fourier method with two iterations [5,7].

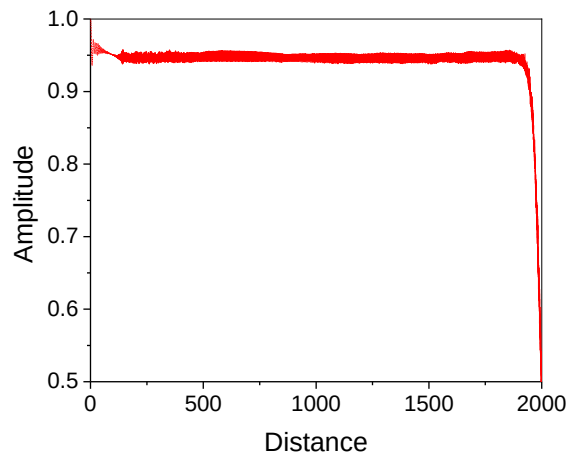


Fig. 2a. *The evolution of the peak soliton amplitude in the presence of IRS $\gamma = 0.15, N = 32764, dx = 6.37 \cdot 10^{-4}$, time window 641.5.*

As can be well seen from Fig. 2a very good preservation of the peak soliton amplitude at this stage of propagation should be mentioned. Small decrease of the peak amplitude till approximately $\eta \approx 0.94$ at distance $x \approx 1860$ has been numerically observed. The other result which can be seen from the Fig. 2a is that after the initial adiabatic stage of propagation at $z \approx 1900$ begins the sharp amplitude decay of the

pulse and at $z > 2000$ during which the pulse transforms into oscillating field. Observed peak amplitude reduction of the initial soliton was the reason earlier such waves to be called radiatively decaying solitons [15]. Typical propagation behavior of the Schrodinger optical soliton for the same parameters $\gamma = 0.15$, $N = 32764$, $dx = 6.37 \cdot 10^{-4}$, time window 641.5 is presented in Fig.2b in time domain and in Fig. 2c in the frequency domain.

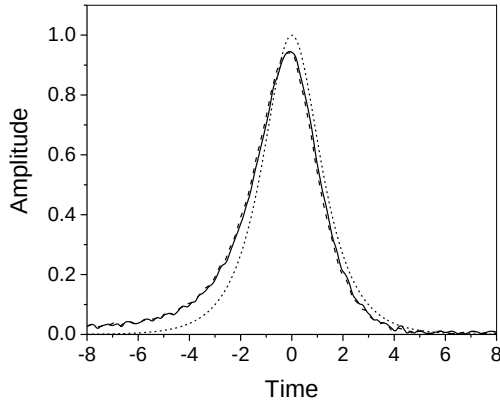


Fig. 2b. Time evolution of optical soliton in the presence of IRS

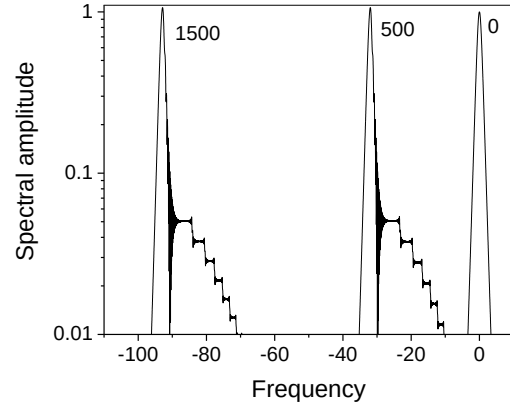


Fig. 2c. Spectral evolution of optical soliton in the presence of IRS.

The expected time and frequency shift of the soliton solution under the influence of IRS can be clearly observed in Fig. 2b and Fig. 2c. Accuracy of performed calculation has been verified by calculating the total energy which is conserved quantity for the Eq. (1), as well as performing the additional calculations with two times smaller (and larger) step size in z .

III. The soliton perturbation theory [11] and applicability of numerical methods for analysis of propagation of solitons in presence of IRS

Next in Fig.3 we present the space evolution of the position and soliton frequency shift at the adiabatic stage of the pulse propagation (the same case as in fig. 2).

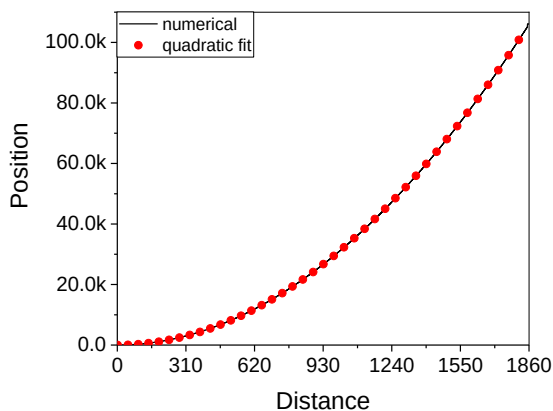


Fig. 3a The evolution of the soliton position in the presence of IRS $\gamma = 0.15$.

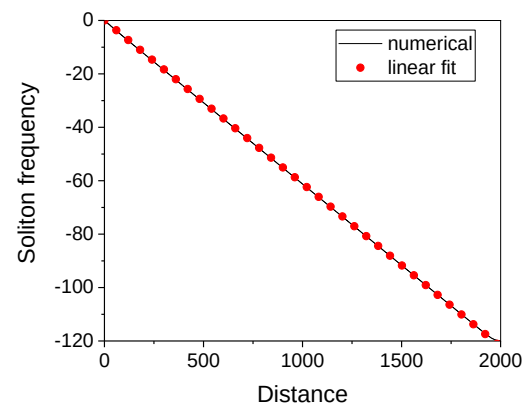


Fig. 3b The evolution of the soliton frequency in the presence of IRS $\gamma = 0.15$.

As can be well seen from Fig. 3a the soliton position can be interpolated by the quadratic dependence on the distance. From the Gordon's theory we expect that $T_{sol} = \frac{4}{15} \gamma \eta^4 z^2$, where some average constant pulse amplitude $\eta \approx const$ is assumed. From Fig. 3a we can infer that the average constant pulse amplitude is $\eta \approx 0.94$. Then we could obtain that approximately the space dependence of $T_{sol}(z)$ will be:

$$T_{sol} = \frac{4}{15} \gamma \eta^4 z^2; \gamma = 0.15; \eta = 0.94 \Rightarrow T_{sol} = 0.031z^2.$$

Quadratic fit given with red points in Fig. 3a is done with $T_{sol} = 0.03069z^2$. So an excellent agreement with soliton perturbation theory of Gordon should be mentioned. Next the evolution of the soliton frequency at the adiabatic stage of propagation is shown in Fig. 3b.

As can be seen from Fig. 3b the shift of the soliton frequency can be interpolated by the linear dependence on the distance. From the theory we expect that $\omega_{sol} = -\frac{8}{15} \gamma \eta^4 z$, where the average constant pulse amplitude is $\eta \approx 0.94$. We obtain that approximately the space dependence of $\omega_{sol}(z)$ to be:

$$\omega_{sol} = -\frac{8}{15} \gamma \eta^4 z; \gamma = 0.15; \eta = 0.94 \Rightarrow \omega_{sol} = -0.062z.$$

The linear fit given with red points in Fig. 3c is done with $\omega_{sol} = -0.06107z$

Again an excellent agreement with soliton perturbation theory should be mentioned. So presented results confirm that theoretical description of soliton perturbation theory of IRS [11] is quite accurate at adiabatic stage of the soliton evolution.

IV. Conclusion

We have studied numerically the influence of the intrapulse Raman scattering (IRS) on the bright optical solitons at large distances. Following numerical methods have been applied: the simple [6], the reduced [6], the split-step Fourier method with one iteration [5,7], the split-step Fourier method with two iterations [5,7], the Blow-Wood' method [8] and the "fourth-order Runge-Kutta method in the interaction picture method" (RK4IP) [17]. It turn out that the best performance in the description of IRS has shown the split-step Fourier method with two iterations. We have very well confirmed the basic results of the adiabatic perturbation theory: a) very small changes in the soliton amplitude; b) the quadratic dependence of the time position of the soliton on a distance, c) linear change of the soliton frequency. Our numerical methods do not allow us to check the earlier prediction of [16] that at large distance the optical soliton under the influence of IRS will decay into oscillating field.

One of authors Ivan M. Uzunov thanks Kiril Marinov for their joint work on the product OptiSystem 3.0 in Optiwave Corporation, Ottawa, Canada. Ivan. M. Uzunov also thanks Prof. Boris Malomed for the fruitful discussion of [16].

REFERENCES

- [1] E.M. Dianov, A.Ya. Karasik, P.V. Mamyshev., A.M. Prokhorov, V.N. Serkin, M.F. Stelmakh and A.A. Fomichev, JETP Lett. 41, 294 (1985).
- [2] F.M. Mitschke, and L.F. Mollenauer, Opt. Lett., 11, 659 (1986).
- [3] V.N. Serkin, Sov. Tech. Phys. Lett., 13, 320 (1987).
- [4] A. Hasegawa and Y. Kodama, "Solitons in Optical Communications" (1995).
- [5] G.P. Agrawal, "Nonlinear Fiber Optics" (Academic Press, fourth edition, 2007).
- [6] T. Hohage, and F. Schmidt, Konrad-Zuse, Zentrum fur Informationstechnik Berlin, ZIB-Report 02-04 (2002).
- [7] OptiSystem 3.0, Getting started and Tutorials, Optiwave Corporation, Ottawa, Canada (2003).
- [8] K.J. Blow and D. Wood, Journal of Quantum Electronics 25, 2665 (1989).
- [9] P.V. Mamyshev and S.V. Chernikov, Opt. Lett. vol.15,1076 (1990).
- [10] E. Golovchenko, and A.N. Pilipetskii, JOSA B 11, 92 (1994).
- [11] J.P. Gordon, Opt. Lett. 11, 662 (1986).
- [12] I.M. Uzunov and V.S. Gerdjikov, Phys. Rev. A 42, 1582 (1993).
- [13] L. Gagnon and P.A. Belanger, Opt. Lett. 15, 466 (1990).
- [14] N. Akhmediev, W. Krolikowski, and A.J. Lowery, Opt. Commun. 131, 260 (1996).
- [15] M. Facao, M.I. Carvalho and D.F. Parker, Phys. Rev. E 81 046604 (2010).
- [16] D.J. Kaup and B.A. Malomed, JOSA B 12, 1656 (1995).
- [17] J. Hult, J. Lightwave Technology, 25, 3770-3775 (2007).

FRACTAL NATURE OF THE MALDIVES ARCHIPELAGO

Boyko Ranguelov¹, Fathimath Shadiya², Yanko Ivanov¹

¹ Geology Faculty, Mining and Geology University, Sofia

² Faculty of Engineering, Science & Technology, Maldives National University, Male,
e-mail: branguelov@gmail.com

Abstract. The fractal nature of the Maldives archipelago is investigated. The areas of the main atolls are measured and presented as fractal graphics and the fractal dimension is calculated. The result obtained shows the strong nonlinearity for the sizes of the atolls visible areas.

Key words: Fractals, structure, Maldives archipelago.

1. Introduction

The present study is focused to the assessment of the fractal properties and the coefficients of the nonlinearity (fractal dimensions) of the areal spatial distribution of the major atolls of the Maldives. The archipelago is extended to about 1200 km in N-S direction in the Indian Ocean. The idea to investigate these properties was born from another research of the fractal properties of other geospatial objects studied by B. Ranguelov and joined teams [1, 2, 3, 4]. The spatial distribution of the atolls and their areal dimensions, challenged us to study the fractal properties. The results obtained suggested that such fractal properties are rather common in Geosciences. [5, 8, 9, 10].

2. Methodology and theoretical assumption

The classical example of a fractal object is defined by Mandelbrot [7]. If the length of an object P is related to the measuring unit length l by the formula:

$$P \sim l^{1-D} \quad (1)$$

then P is a fractal and D is a parameter defined as the fractal dimension. This definition was given by B. Mandelbrot in the early 60-s of the 20-th century. His ideas support the view that many objects in nature cannot be described by simple geometric forms, and linear dimensions, but they have different levels of geometric fragmentation. It is expressed into the irregularities of the different scales (sizes) - from very small to quite big ones. This makes the measuring unit extremely important parameter, because measuring of the length, the surface or the volume of irregular geometric bodies could be obtained so that the measured size could vary

hundred to thousand orders. This fact was first determined when measuring the coastal line length of West England and this gave Mandelbrot the idea to define the concept of a fractal. In geology and geophysics is accepted that definition of the different “fractals” as real physical objects is most often connected to fragmentation [6]. This reveals that each measurable object has a length, surface or volume, which depends on the measuring unit and the object’s form (shape) irregularity. The smaller the measuring unit is, the bigger is the total value for the linear (surface, volume) dimension of the object and vice versa. The same is valid for 2D and 3D objects.

Another definition of a fractal dimension is related to the serial number of measurement to each of the measuring units used and the object dimensions. If the number of the concrete measurement with a selected linear unit is bigger than r , then it might be presented by:

$$N \sim r^{-D} \quad (2)$$

and the fractal is completely determined by D as its characteristic fractal dimension. Applying this definition for the elements of faulting and faults fragmentation, some authors use this idea to depict formal models of the earth crust fragmentation, which indicates the level of fracturing of the upper earth layers [1]. Same approach was carried out for the fractal properties of the major elements of the Plate tectonics models [4].

The theoretical approach for the linear case and for the 2D and 3D cases was developed by [5, 10]. They focused the attention on the relations between the smallest measuring unit and object’s size in analyzing linear (1D), 2D and 3D objects (Fig. 1).

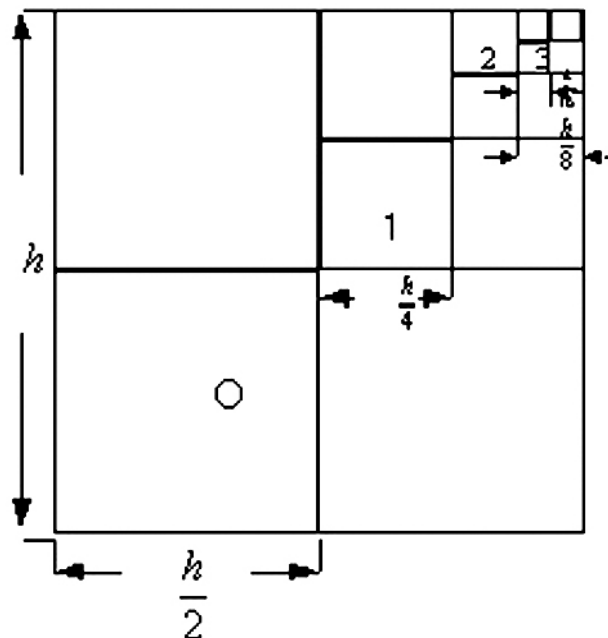


Fig. 1. 2D fractal scheme - each linear element is $\frac{1}{2}$ of the larger one

If l is the measuring unit and with m we denote the obtained value for N at each measuring cycle, then the common sum of the lengths N at level m according to Turcotte [10] is:

$$N_m = (1 - p_c) \left(1 + \frac{n}{m} p_c + \left[\frac{n}{m} p_c \right]^2 \dots \left[\frac{n}{m} p_c \right]^m \right) \quad (3)$$

where p_c denotes the probability for measuring of each length for the corresponding cycle of measuring.

Using formulas (1) and (2) we obtain the following formulas:

$$\frac{N_{m+1}}{N_m} = 2^D \quad (4)$$

for liner elements, and

$$\frac{N_{m+1}}{N_m} = (2^2)^D \quad (5)$$

for any area elements (surfaces).

3. Results and discussion

Using this approach, we studied the area surfaces of the Maldives atolls and calculated the fractal dimensions for these formal areal objects.

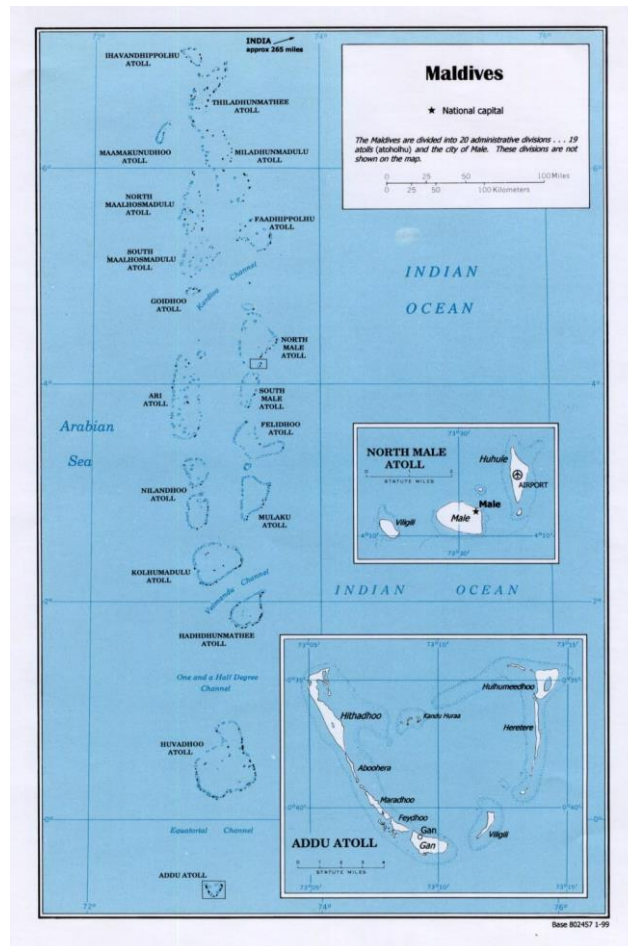


Fig. 2. Map of Maldives

To calculate the fractal properties and the fractal dimension measurements of the surfaces of the Maldivian atolls have been performed on the high resolution map of Maldives. The results are presented in Table 1.

Table 1. Areas (in km²) of the main atolls of Maldives

No	Atolls	Area [km ²]
1	Thiladhunmathi	4000
2	Huvadho	3300
3	Ari	2270
4	Maalhosmadulu Uthuruburi	2000
5	Kolhumadulu	1700
6	Male' Uthuruburi	1580
7	Felidhu	1080
8	Mulaku	970
9	Maalhosmadulu Dhekunuburi	960
10	Haddhunmathi	880
11	Nilandhe Dhekunuburi	730
12	Faadhippolhu	710
13	Nilandhe Uthuruburi	605

14	Male' Dhekunuburi	530
15	Ihavandhippolhu	290
16	Addu	150
17	Fasdhūetherē (Fasdhūtherē)	140
18	Maamakunudhoo	135
19	Goidhu	107
20	Gahaafaru (Gaafaru)	86
21	Rasdhu	60
22	Vattaru (Falhu)	45
23	Kaashidhu	8
24	Fuvahmulah	5.7
25	Thoddu	3.5
26	Etthingili Alifushi	3.2

The total number of atolls taken in consideration is 26. Their surface dimensions vary between 3 and 4000 km². The accuracy of the area assessment varies between 1 (for the smaller elements) and 10% (for the larger ones). Thus the graphic representation of the relationship between the size and the respective number of atolls gives us the possibility to calculate the fractal dimension of 2.75. This means that the fractality is well defined and the nonlinear relationship between the size of the atolls (in semi logarithmic scale) and the respective numbers is very well expressed [8].

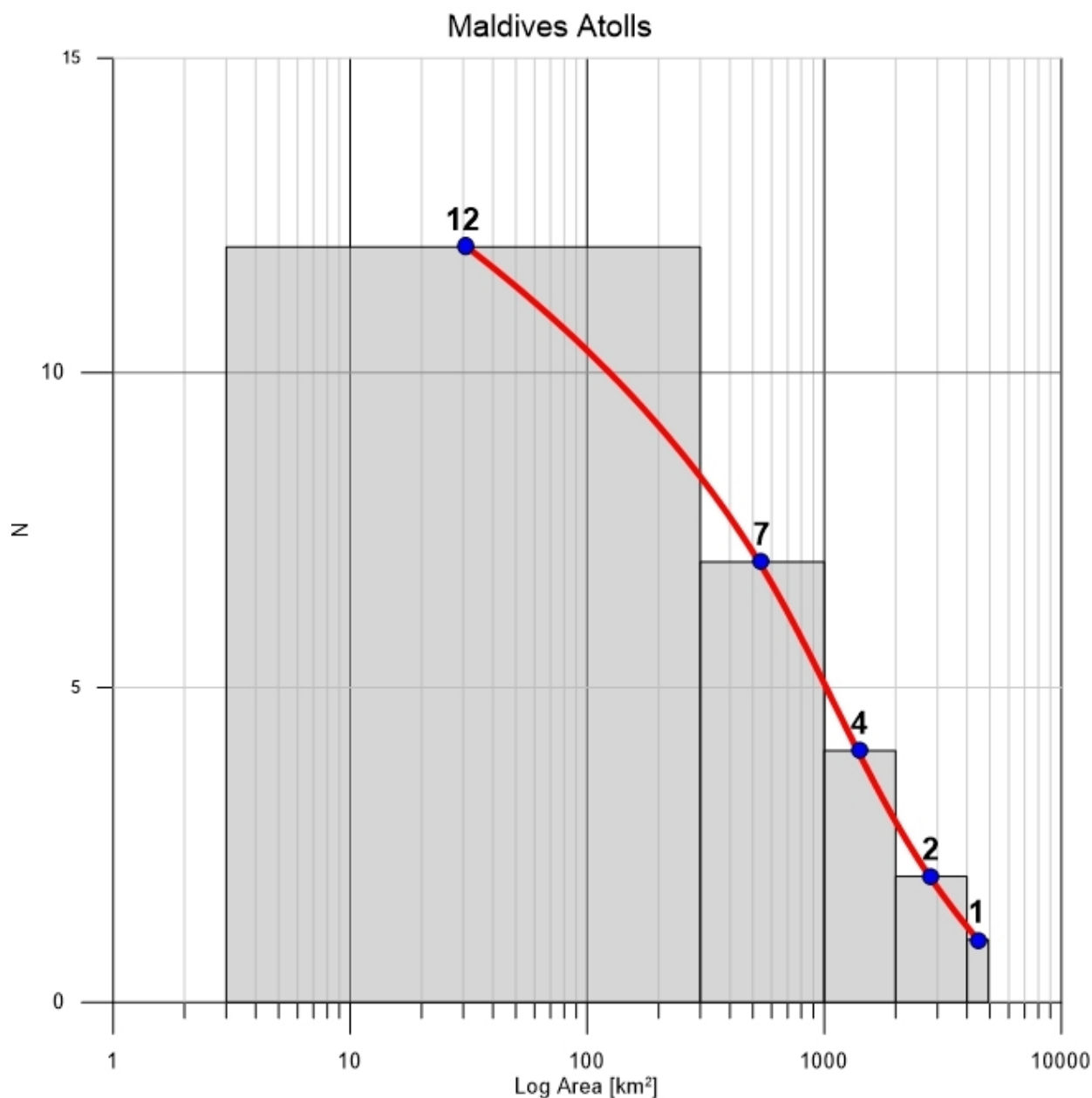


Fig. 3. The semi logarithmic fractal plot of the observed areas and their number for Maldives atolls. The calculated fractal dimension is 2.75

4. Conclusions

The fractal analysis is performed to prove the strong nonlinearity concerning the geometry distributions of the areas of Maldives' atolls.

The nonlinear behavior of the surface elements of the Maldives' atolls is proved, thus showing that the spatial distribution of the atolls could be investigated using formal approach of the fractal analysis.

The discovered fractal properties of the surface elements of the Maldives archipelago, could be suggested that there is a synergy between them and probably have deeper meaning for the Maldives origin.

REFERENCES

- [1] Ranguelov B., Dimitrova S., Fractal model of the recent surface earth crust fragmentation in Bulgaria, In: Comptes Rendus de l'Academy Sciences Bulgaria. 55, 3, 2002. 25-28.
- [2] Ranguelov B., Dimitrova S., Gospodinov D., Fractal configuration of the Balkan seismotectonic model for seismic hazard assessment, In: Proceedings BPU-5, Vrnjacka Banja, Serbia and Montenegro, 2003. 1377-1380.
- [3] Ranguelov B., Dimitrova S., Gospodinov D., Spassov E., Lamykina G., Papadimitriou E., Karakostas V., Fractal properties of the South Balkans seismotectonic model for seismic hazard assessment, In: Proceedings 5th Intl. Symposium on East Mediterranean Geology, Thessalonica, 2004. 643-646.
- [4] Ranguelov B., Ivanov Y., 2017. Fractal properties of the elements of Plate Tectonics., Journal of Mining and Geological Sciences, v. 60, PART I, Geology and Geophysics, 2017. 83-89.
<http://www.mgu.bg/main.php?menu=5&submenu=15&session=17>
- [5] Hirata T., Fractal dimension of fault system in Japan: Fractal structure in Rock geometry at various scales. In: Pure and Applied Geophysics., 131,1989. 157-173.
- [6] Korvin G., Fractal models in the Earth Sciences. New York: Elsevier, 1992. 236 p.
- [7] Mandelbrot B., The Fractal Geometry of Nature. San Francisco: W.H. Freeman & Co., 1982. 368 p.
- [8] Sornette D., Pisarenko V., Fractal Plate Tectonics., Geophysical Research Letters, vol.30, No3, 2003. 1105-1118.
- [9] Turcotte D., Fractals and Fragmentation. In: Journal of Geophysical Research. 91, B2, 1986a. 1921-1926.
- [10] Turcotte D., A fractal model of crustal deformation. In: Tectonophysics, 132, 1986b. 361-369.

Acknowledgments: This work is supported by the CABARET Project No 573816-EPP-1-2016-1-UK-EPPKA2-CBHE-JP of EU Erasmus+ Program

The European Commission support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents which reflects the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

THE MALDIVES NATURAL HAZARDS AND EARLY WARNING SYSTEM

Fathimath Shadiya¹, Boyko Rangelov²

¹ Faculty of Engineering, Science & Technology, Maldives National University, Male, e-mail: fathimath.shadiya@mnu.edu.mv

² Geology Faculty, Mining and Geology University, Sofia, e-mail: brangelov@gmail.com

Abstract. The Maldives are a vulnerable country to different natural hazards. After the Indian Ocean tsunami of 26th December 2004 generated by a powerful earthquake with a magnitude 9.1, many people lost their lives, some remained homeless and the losses reach 170 billions dollars. After this gigantic catastrophe (the most victims in the human history have been recorded) an Indian Ocean tsunami early warning system has been established. In parallel many local systems have been developed to monitor their local hazards and to exchange data with other countries and to warn the local coastal population.

Key words: Natural hazards, early warning, Maldives archipelago.

1. Introduction

The present study is focused to present the potential natural hazards to Maldives, the reaction of the government authorities related to the function of the multihazard early warning system. It is important to mention that the Maldives are islands country, surrounded and isolated by the ocean and consists of many separate atolls, attracting a lot of tourists every year. The archipelago is extended to about 1200 km in N-S direction in the Indian Ocean. Maldives enjoys a warm and humid tropical climate, with two monsoon periods known as the southwest monsoon (the wet period from May to November) and the northeast monsoon (the dry period from January to March) [3]. The most common forms of hazards experience in the Maldives are ocean waves of different types such as storm surges, tidal waves in combination with wind waves known as “udha”. There are also droughts, heavy rains, salt water intrusions, erosion, wind storms, etc. After 26th December 2004, Indian Ocean Tsunami, which affected strongly the lowland country, a multihazard early warning system was developed, which operates in every day practice.

2. Position and vulnerability

The total population of Maldives is about 338 000 people. There are 188 inhabited islands, 109 resorts and 128 industrial islands [5]. Though there is no official categorization of urban and rural areas, the capital city Male', with a 38 percent of a residential population is widely referred to as urban center of the Maldives. The tourism sector is the main income factor in Maldives The heavy dependency on the

tourism for economic growth of the country places Maldives at a vulnerable position. Maldives is extremely vulnerable to the effects of climate change because of its geography and the dependence of its economy on natural resources. Extreme events such as wave swells, heavy rainfall, and windstorms, which cause damage through flooding, erosion, and other impacts is expected to increase in frequency and intensity in the future due to climate change [5]. The origin and formation of the Maldives, especially in its early phase are still questionable and there is no a unified view about this unique natural phenomenon. The late geology is firmly related to the coral atolls formation and their development as islands, lagoons and other typical coral reefs features.



Fig. 1. *Geography position of Maldives*

3. Natural hazards in Maldives

The Maldives frequently experiences high frequency low impact events such as monsoonal flooding, coastal erosion and salt water intrusion. According to United Nation Development Program [4] there are four categories of natural hazards in the Maldives. They are geological hazards which involves earthquakes and coastal erosions, meteorological hazards which involves tropical cyclones and thunder storms, hydrological hazards which involves flooding and storm surges and climate related hazards which involves sea level rise and sea surface temperature rise. Among the categories mentioned, floods induced by tsunamis, abnormal swell waves, heavy

rainfall, windstorms, droughts and earthquakes are considered as major natural hazards in the Maldives [4].

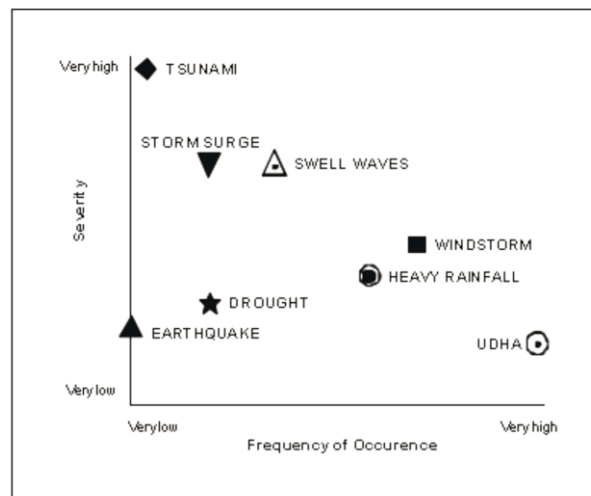


Fig. 2. General patterns of the major natural hazards prevailing in the Maldives (UNDP, 2008)

The distribution pattern of natural hazards is strictly controlled by their geophysical properties and climatic peculiarities.

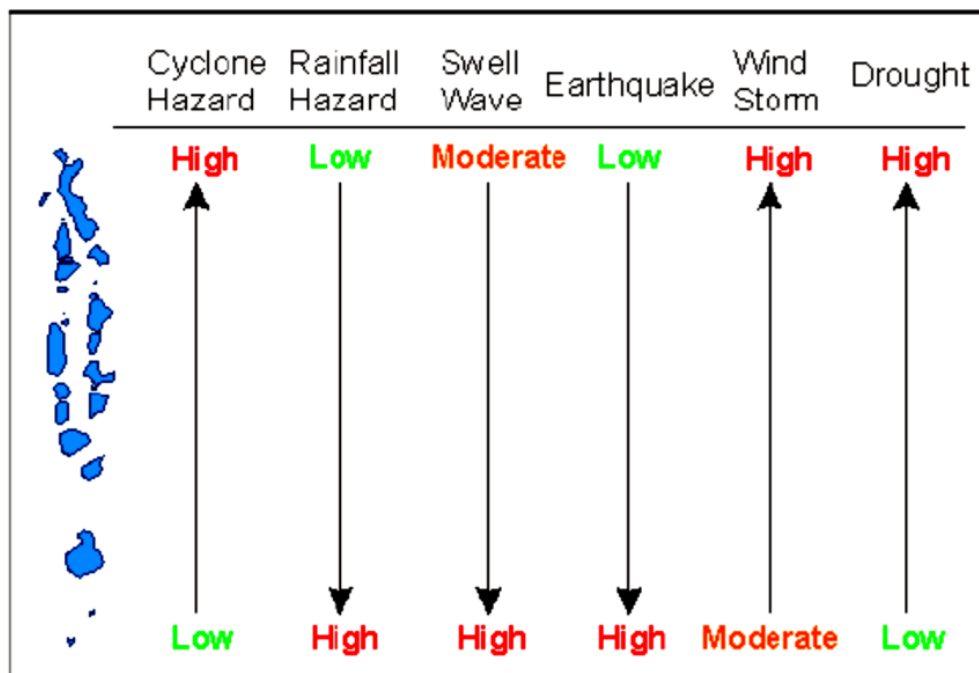


Fig. 3. Latitudinal variations of major natural hazards across the Maldives (UNDP, 2008 [4])

The cyclone hazard, wind storms and drought are more frequent in the northern region of the Maldives, while rainfall hazards, swell waves and earthquakes are more frequent in the southern regions of the Maldives.

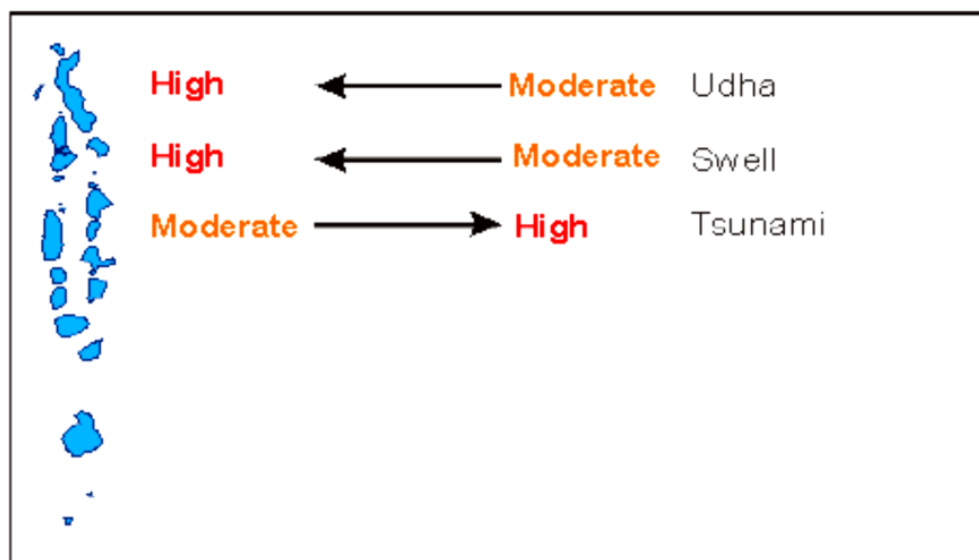


Fig. 4. Longitudinal variations of the major natural hazards across the Maldives (UNDP, 2008[4])

The eastern rim islands are subjected to tsunamis and waves of higher intensity compared to islands in the western rim which are protected from high intensity waves. The island morphology and size also plays an important role in protection against coastal hazards [4].

According to Ministry of Environment and Energy [5], three major types of swells exist in the Maldives, they are 1) “Udha” waves, which are known as gravity waves caused by high tides and strong winds; 2) swell waves, which are known as tidal waves and 3) Tsunami waves, which are low frequency high impact waves caused by earthquakes and other bottom phenomena. Wave swells can cause significant flooding that can damage key infrastructures such as homes, harbors, schools, mosques, and jetties in the islands. Other hazards such as monsoon strong winds can cause high tides, which can increase coastal flooding events. In 2008, strong surface winds, combined with heavy rainfall, caused significant damage to roofs and the uprooting of trees in many islands of the Maldives. Hazardous weather events which regularly affect Maldives include tropical cyclones and sever local storms. Tropical cyclones are considered destructive if they are associated with strong winds exceeding 150 km per hour with rain fall above 30 to 40 centimeters within a 24-hour period and storm tides exceed four to five meters. Northern atolls have a greater risk of cyclonic winds and storm surges compared to the southern atolls however, the cyclones that affect northern islands of the country are weak cyclones that are formed in the southern part of the Bay of Bengal and the Arabian Sea.(UNDP, 2008). Islands located within close proximity to the equator, are largely free from storms. The northern region of the Maldives is more prone to wind hazards from cyclones compared to southern region of the Maldives. Strong winds can damage vegetation, houses, communication systems, roads, while heavy rainfall can cause flooding and cyclonic winds sometimes can cause sudden rise in the sea-level along the coast leading to storm surges [4].

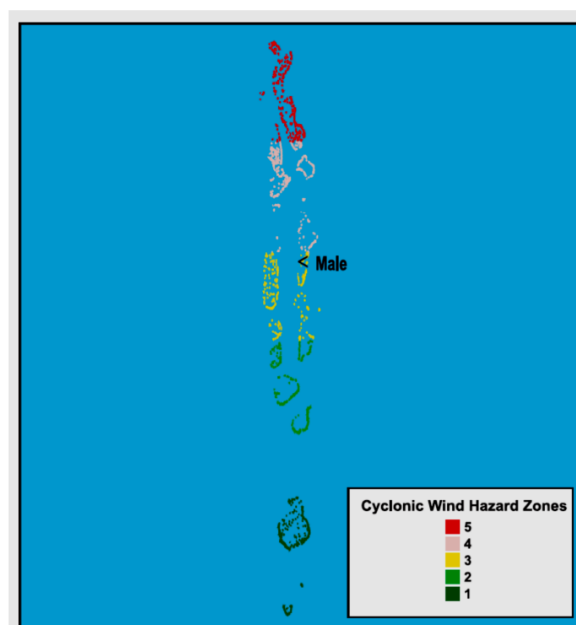


Fig. 5. *Cyclonic wind hazards map of the Maldives (UNDP, 2008 [4])*

Seismic hazard is low and only few expectations are related to the south. The threats from sea level rise due to climate change are a uniform hazard throughout the whole country.

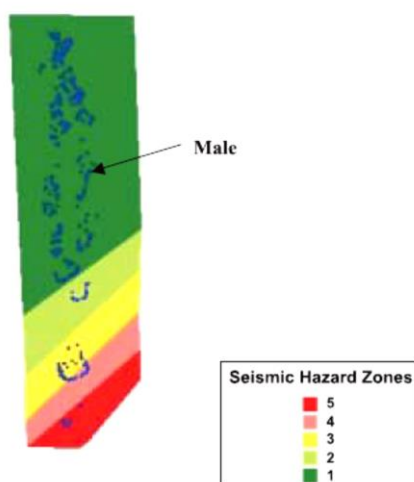


Fig. 6. *Maldives seismic hazards zones (UNDP, 2008 [4])*

The most devastating natural event affected Maldives is the tsunami in Indian Ocean of 26 December 2004. This unexpected event affected 3 continents, 11 countries and was the most deadly natural disaster occurred during the human history. More than 300 000 deaths, 1.5 million homeless and damages over 100 billions US\$ were reported. Significant damages were registered as well as in Maldives. After this disastrous event an extensive program of tsunami hazard investigations and measures about people protection have been developed.

Hazard Zone	Range of Probable Maximum Wave Height (centimeters)
1	less than 30
2	30-80
3	80-250
4	250-320
5	320-450

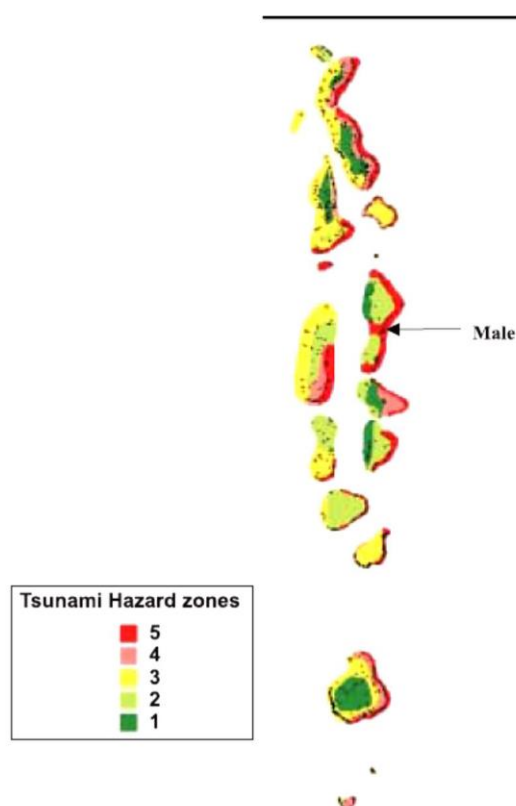


Fig. 7. *Tsunami hazard map for Maldives (UNDP, 2008 [4])*

Climate change is also a significant issue that needs urgent attention in the Maldives. The UN predicted maximum sea level rise of 59cm by 2100 is expected to make flooding incidents and coastal erosion events more frequent in the future. The expected increase in the sea surface temperature (according different models) will threaten the survival of the coral reef ecosystem [6]. Healthy coral reef ecosystem is a vital natural resource for tourism and fisheries industry. Damage to coral reefs such as coral bleaching due to increase in sea surface temperature will have negative impacts on tourism and fisheries industry Maldives heavily depends on for revenue.

3. A complex early warning system

In the case of a disaster happened The National Meteorological Center (NMC) is responsible for monitor and informs the relevant authorities about the hazard. NMC gives warnings about undersea and inland far field and local earthquakes, tsunami, tropical cyclones, heavy rain, tornados, gale force wind, storm surges and flood threats. In the Maldives three levels of alert are used by NMC. Table 1 shows the criteria used in these alerts [8].

Table 1: Criteria used in issuing warning about natural hazards in the Maldives.
Adopted from (National Meteorological Center, 2015 [8])

Alert level	Description	Action
1 White	☐ Mean wind speed is expected to be over 23-30 mph. ☐ Rain fall of more than 50 mm is expected to occur within 24 hours. ☐ High tidal waves are expected.	☐ No immediate threat, only information about weather is provided.
2 Yellow	☐ Mean wind speed is expected to be over 30 to 40 mph. ☐ Torrential rain is expected. ☐ Severe thunderstorm is expected ☐ Tropical cyclone is formed within effective areas of the Maldives. ☐ Significant tidal or swell waves are expected or experienced.	☐ Concern authorities are advised to be ready to take action. Travel by the sea is not advisable.
3. Red	☐ Flash flood is expected. ☐ A tropical cyclone is tracked to move closer or cross Maldives. ☐ Destructive tidal waves or swell waves or storm surges are expected or observed.	☐ Evacuation of population from threatened areas to safer places. ☐ Sea transport is prohibited.
3. Green	☐ The condition has improved.	☐ Cancel warning.

4. Conclusions

A short review of the natural hazards threatening Maldives is presented. Maps of zoning as first step of quantification the hazards are created and used as long term preventive measures. Multihazards influence is considered according to the combined action of the possible dangerous events [2].

The established multihazard warning system is discussed. New and sophisticated measures according to the specific conditions of Maldives are proposed. For the first time evacuation to the open sea is suggested as an effective tool for application in case of the early warning message received in advanced related to the danger from transoceanic tsunamis (similar to those of 26th December, 2004) [1].

REFERENCES

[1] S. Tinti, R. Tonini, L. Bressan, A. Armigliato, A. Gardi, R. Guillande., 2014 Handbook on Tsunami Hazard and Damage Scenarios., Publications Office of the European Union., Scientific and Technical Research series – ISSN 1018-5593 Luxembourg., pp.42.

[2] B. Rangelov., A. Frantsova., 2017. Multihazards early warnings. Research, models and Bulgarian expertise., LAMBERT Academic Publishing., Saarbrücken, 224 pp. ISBN: 978-620-2-07727-9

[3] United Nation Development Programme. (2006). Developing a Disaster Risk profile for Maldives. Retrieved on 18th September 2017 from http://www.preventionweb.net/files/11145_MaldivesDisasterRiskProfileFinalRep.pdf

[4] United Nation Development Programme. (2008). Detailed island risk assessment in Maldives: Natural hazards and physical vulnerability assessment report. Retrieved on 18th September 2017 from www.housing.gov.mv/v1/daaownload/129

[5] Ministry of Environment and Energy. (2016). Second National Communication of Maldives to the United Nation Framework Convention on Climate Change. Ministry of Environment and Energy. Male', Republic of Maldives.

[6] National Disaster Management Centre. (2014). National Community Based Disaster Risk Reduction (CBDRR) Framework. Retrieved on 19th September 2017 from <http://ndmc.gov.mv/assets/Uploads/National-CBDRR-Framework.pdf>

[7] National Disaster Management Centre 2016, *National Framework for Managing Internally Displaced Persons in the Maldives in case of a disaster/ crisis*. Viewed 19th September 2017, <http://ndmc.gov.mv/assets/Uploads/National-IDP-Framework.pdf>

[8] National Disaster Management Centre 2015, *Disaster Management Act*. Viewed 19th September 2017 from, <http://ndmc.gov.mv/policies-and-regulation/rules-and-regulations/>

Acknowledgments: This work is supported by the CABARET Project No 573816-EPP-1-2016-1-UK-EPPKA2-CBHE-JP of EU Erasmus+ Program

The European Commission support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents which reflects the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

ПРИЛОЖЕНИЕ НА НЕУТРОННИЯ АКТИВАЦИОНЕН АНАЛИЗ В ЕКОЛОГИЯТА

Румен Кобиларов

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

e-mail: rkobi@tu-sofia.bg

Резюме. В доклада е представен неутронният активационен анализ (НАА) и основните му приложения в екологията. Показано е, че при анализа на екологични образци епitherмалният неутронен активационен анализ (ЕНАА) има редица преимущества в сравнение с останалите ядрено-физични методи. Накратко е представен и радиоаналитичният комплекс на основата на реактора ИБР-2 в Лабораторията по неутронна физика в ОИЯИ, Дубна.

Ключови думи: неутронен активационен анализ, тежки метали, радиоекологични изследвания, определяне на елементи с ниска концентрация.

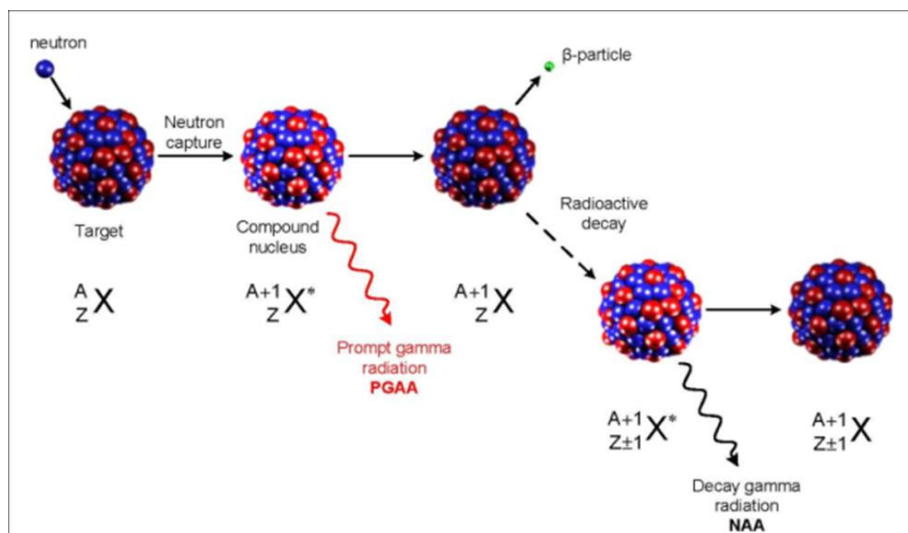
1. Увод

Неутронният активационен анализ (НАА) е аналитичен метод, който се използва за определяне на видовете елементи и тяхната концентрация в различни материали. НАА има важна роля в широк кръг направления като изследването на околната среда, биомониторинг, изследване на биологични тъкани (в това число и човешки), археология, геология и т.н. За разлика от други аналитични методи, използвани за определяне на много малки концентрации на замърсители, важно преимущество на НАА е, че това е метод, при който се запазва целостта на изследвания образец (non-destructive method). Други преимущества на НАА са високата чувствителност за елементите, особено за тежките метали с $Z > 10$, възможността за едновременно определяне на голям брой елементи, простотата на процедурата по подготовка на образците за анализ, възможността за отстраняване на систематични грешки и др.

2. Типове НАА

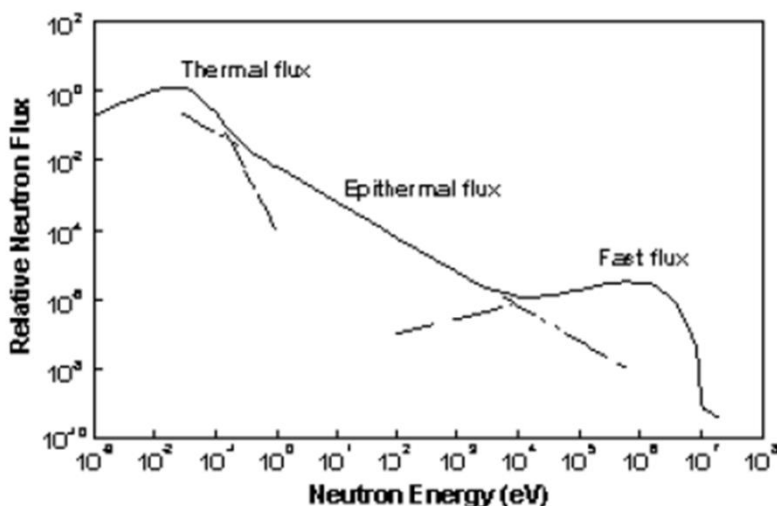
При НАА изследваните образци се облъчват с неутрони, които се захващат от ядрата на елементите, съдържащи се в пробата. Получените радиоактивни изотопи се идентифицират с помощта на гама-спектрометри с висока разделителна способност.

При взаимодействие на неутроните с веществото могат да протичат различни реакции като еластично разсейване, реакции с образуване на частици и др. Най-използваната реакция в НАА е радиационния захват (фиг. 1).



Фиг. 1. Примерна схема на процесите, протичащи при НАА

Енергетичният спектър на неутроните, получавани с помощта на ядрени реактори, може да се раздели условно на три части (фиг. 2): 1) бързи неутрони, образуващи се при делене на ядрата, с енергии в интервала от 1 keV до 15 MeV, с най-вероятна енергия 1 MeV; 2) неутрони с промеждутъчни енергии, образуващи се в процесите на забавяне, наречени епитермални или резонансни неутрони, с енергии от 1 eV до 1 keV; 3) топлинни неутрони, намиращи се в топлинно равновесие с атомите на забавителя. Скоростта на тези неутрони се описва с разпределението на Максвел, като най-вероятната енергия е 0,052 eV [1].

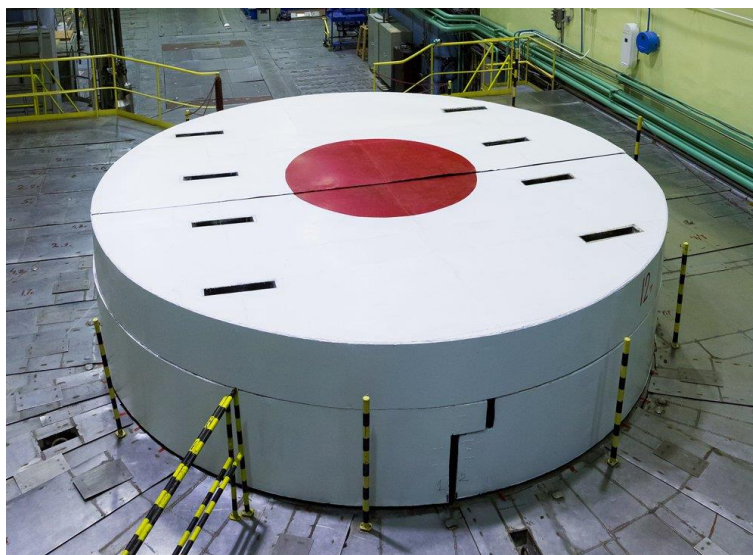


Фиг. 2. Енергетичен спектър на неутроните, получавани с помощта на ядрени реактори

В зависимост от енергията на използваните за активация неутрони се различават термален НАА (ТНАА), епитермален НАА (ЕНАА) и НАА с бързи неутрони (ФНАА). С най-големи предимства при използването в екологията е ЕНАА. При този метод се подобряват значително границите и точността на определяне на елементи като U, Tl, In, Au, Ta, Ag, Br, Co, I и др.

3. Радиоаналитичен комплекс на основата на реактора ИБР-2 в Лабораторията по неутронна физика в ОИЯИ, Дубна

В Обединения институт за ядрени изследвания (ОИЯИ) в Дубна е в действие единственият в света импулсен реактор за неутрони ИБР-2 (фиг. 3 и фиг. 4), който се използва като източник на неутрони за НАА. При средна топлинна мощност 2 MW, неговата пикова мощност в импулса е 1500 MW.



Фиг. 3. Ядро на реактора



Фиг. 4. Експериментална зала

За работа по НАА са предназначени четири работни канала на реактора, като образците могат да се облъчват както с топлинни и бързи, така и с епитермални неутрони. Основните характеристики на каналите на облъчване са дадени в [2].

В лабораторията по неутронна физика (ЛНФ) в ОИЯИ е създаден радиоаналитичният комплекс РЕГАТА за провеждане на НАА и радиационни изследвания [3], [4]. Най-важните преимущества на този комплекс са:

относителната стабилност на неутронния поток в каналите, стационарен кадмиев канал, обезпечаващ еднакви условия при сериен анализ на образци, режим на ниски температури при облъчване на екологически и биологически образци, радиационна безопасност вследствие на отдалечеността на радиоаналитичния комплекс от активната зона на реактора.

4. Приложение на НАА в екологията

Основните направления за използването на НАА в екологическите изследвания са:

- Изучаване на замърсяването на атмосферата с тежки метали (анализ на аерозоли и биомонитори);
- Определяне на елементи с ниска концентрация (trace elements) в течни и твърди горива и в продуктите след изгарянето им;
- Изследване на замърсяването на почви и водни басейни;
- Определяне на елементи с ниска концентрация в растителни и животински образци.

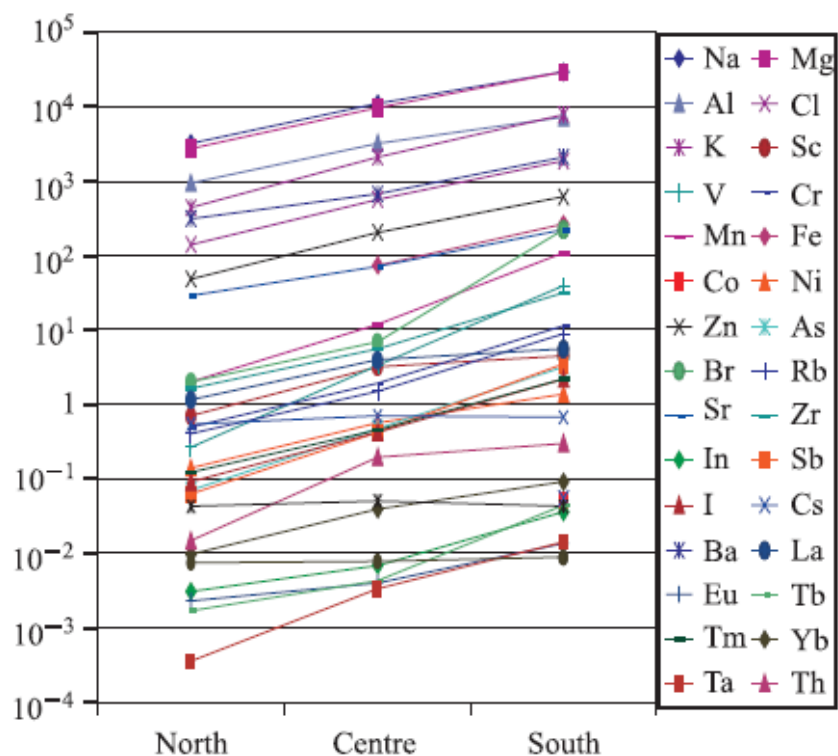
Доминираща роля в екологичните изследвания има изучаването на замърсяването на атмосферата чрез определяне концентрацията на елементите в проби от аерозоли, пепел, прахови частици и др. Атмосферата се явява аерозолна система, в която твърди частици са диспергирани в сместа от газове. Елементите с ниска концентрация могат да влизат в състава на тези частици или да се задържат на тяхната повърхност в абсорбирано състояние. Сред голямото разнообразие на замърсители на атмосферния въздух най-важни са азотния и серния окиси, тежките метали, радионуклидите (в това число радона) полициклически ароматни съединения и т.н. Особено вредни се смятат тежките метали, поради тяхната висока степен на токсичност, устойчивост на съединенията и висока степен на биоаккумуляция от живите организми. Пример за такова изследване е това, изпълнено от сътрудници на Института за химическа кинетика и горене към Сибирското отделение на РАН [5]. В Табл. 1 е показана концентрацията на някои тежки метали и радионуклиди в промишлената зона в околностите на Новосибирск. За сравнение са дадени и концентрациите на съответните елементи в образци, взети от район в близост до северния полюс, където техногенното замърсяване е минимално или липсва. От таблицата се вижда, че концентрацията на почти всички представени елементи е четири порядъка по-висока в сравнение с концентрациите на съответните елементи на Северния полюс.

НАА на аерозолите може да се използва и за пространствено разпределение и пренос на замърсителите на околната среда. На фиг. 5 е показан един от резултатите на изследване, изпълнено от сътрудници на Националния център за ядрена безопасност и радиационен контрол в Кайро, Египет [6]. В работата е показано, че изменението на концентрацията на изследваните елементи съвпада

с преимущественото движение на въздушните маси по река Нил от Сахара към Средиземно море.

Таблица 1. Концентрация на някои тежки метали и радионуклиди в околностите на Новосибирск

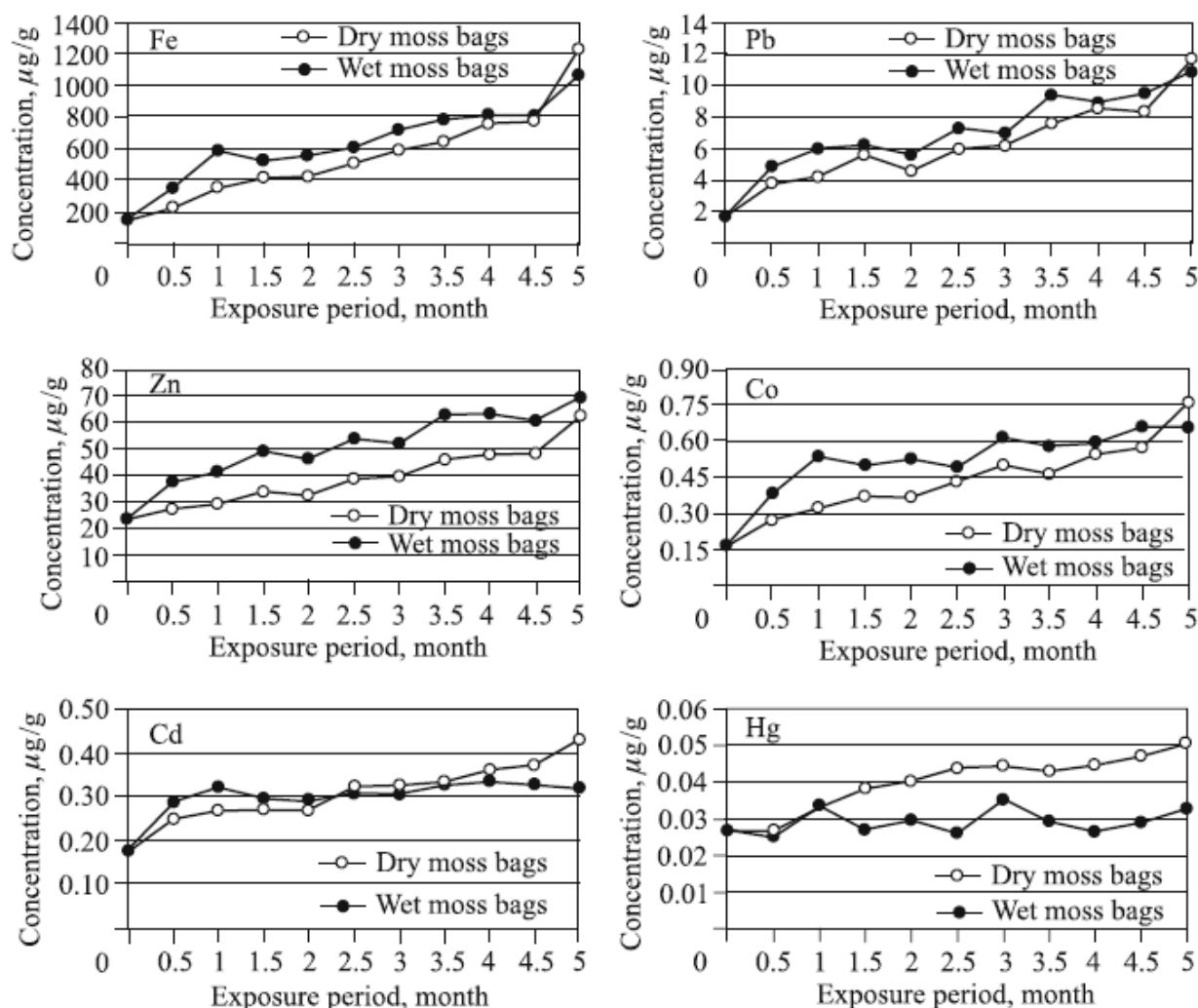
Елемент	Северен полюс [ng/m ⁻³]	Силно замърсена област [ng/m ⁻³]
Mn	0,012	30-390
Cd	< 0,015	2-20
Cs	0,0001	0,2-10
Zn	0,033	80-1200
Cu	0,03	10-350
Fe	0,62	500-8100
Th	0,00014	0,1-3
U	-	0,1-0,3



Фиг. 5. Концентрация на елементите в направление север-център-юг във Великата каирска долина

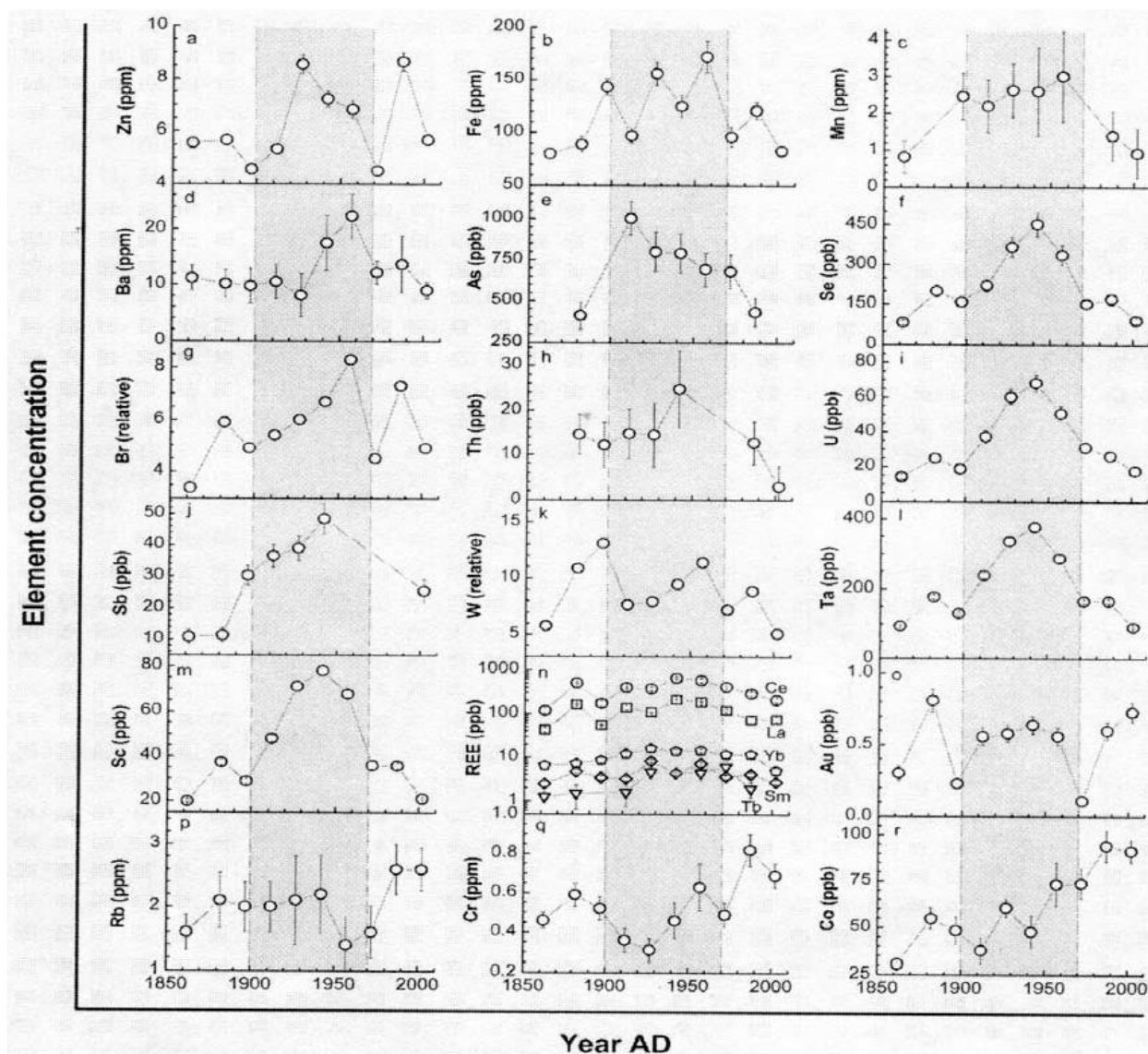
Като добра алтернатива на преките изследвания на замърсяването на въздуха се явява използването на растения (мъхове, лишей, гъби и т.н.) като биомонитори на замърсяването. При избора на биомонитори основните критерии са: способността на растението да реагира на изменението на концентрацията на елементите с ниска концентрация, естественото им съществуване в изследвания район, възможност за вземане на образци в

определено време на годината и др. В това отношение много подходящи са мъховете, които удовлетворяват тези изисквания. Освен това те имат добре развита повърхност на надземна част, което осигурява много добър контакт с атмосферния въздух. От друга страна кореновата им система е слабо развита, което пък намалява повърхността на контакт с почвата и абсорбирането на тежки метали от почвата може да се счита пренебрежимо малко. Пример за такова приложение е изследването на изменението на концентрацията на тежки метали в проби от мъхове в Сърбия (фиг. 6) [7].

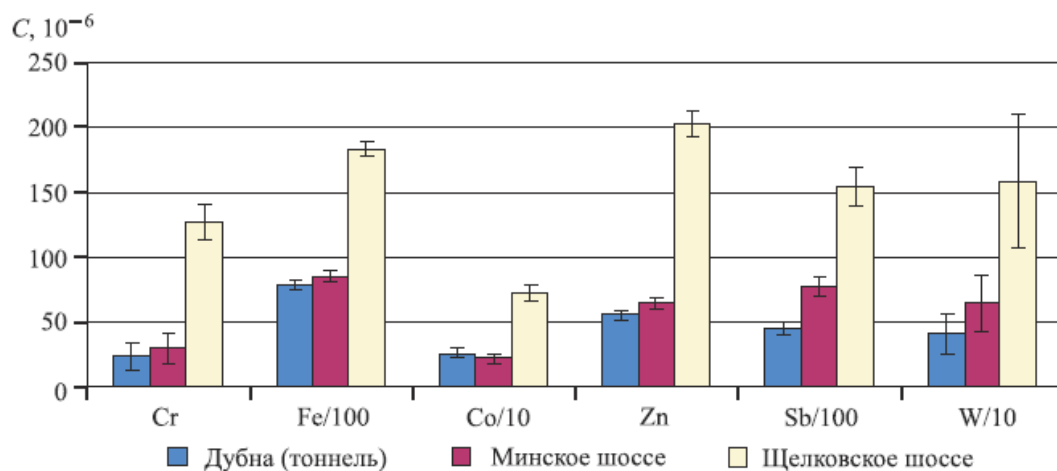


Фиг. 6. Изменение на концентрацията на тежки метали в проби от мъхове в Сърбия в периода от юни – октомври 2007 г.

Интересен пример за използване на НАА е определянето на дългогодишни вариации на концентрациите на следови елементи като за образци са използвани годишните кръгове на вековни дървета. На фиг. 7 са показани резултатите от такова изследване, проведено в провинция Квебек в Канада [8].



Фиг. 7. Изменение на концентрациите на следови елементи в годишните кръгове на вековни дървета в провинция Квебек



Фиг. 8. Средни концентрации на някои тежки метали в близост до пътища в Дубна и Москва

С успех НАА се използва и за изследване на замърсяването на почви и водни басейни. На фиг. 8 са показани средните концентрации на някои тежки метали в близост до пътища с интензивно движение в Дубна и Москва [9].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Frontasyeva M., *Ecological chemistry and engineering*, Vol. 18, No. 3, 281-303, 2011.
- [2] Назаров В. и др., *Краткие сообщ.*, ОИЯИ, № 6, 1985.
- [3] Фронтасьева М., Павлов С., *Проблемы современной физики*, 152-158, Дубна, 1999.
- [4] Peresedov V., Rogov A., *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, Vol. 214, No 4, 277-283, 1996.
- [5] Peresedov V., *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, Vol. 224, No 1-2, 21-25, 1997.
- [6] Frontasyeva M., Ramadan A., Galinskaya T., *Proc. of the Intern. Aerosol Conf.*, Moscow, 136-142, 2000.
- [7] Anicic M. et al., *J. Haz. Mat.*, Vol. 171, No 1-3, 182-190, 2009.
- [8] Long L. et al., *Env. and Atmos. Sci.*, No 5, 2005.
- [9] Судницын И. и др., *Агрохимия*, № 7, 66-70, 2009.

ПРЕНОС НА ДАННИ ЧРЕЗ ОПТИЧНИ МРЕЖИ (ОПТИЧНИ КОМУНИКАЦИИ)

инж. Ясен Георгиев

Технически директор „Уником 2000 TEX“ ЕООД, Магистър по телекомуникации
ТУ – София, e-mail: jasen.georgiev@gmail.com

*Резюме: В доклада ще бъдат разгледани предимства, недостатъци, параметри и ограничения на оптичните кабелни системи. Тук влизат, както протоколи за връзка и стандартите, така и чисто физически понятия и ограничения (в скоростта, максималното разстояние за пренос на данни без загуби и максимални ъгли на огъване). Също така всички видове преобразувания на сигнала през канала за връзка, необходими за изграждане на пълна комуникация. Като допълнение ще бъдат разгледани и **Free-space optical communication (FSO)**, с оглед да бъдат разгледани различни видове оптични комуникации, да се направят необходимите разграничения и сравнения.*

Ключови думи: Пренос на данни, оптични мрежи, скорост, опорни мрежи, параметри, физически ограничения, интегрирани системи.

1. Увод

В днешно време оптичните мрежи са основна част от опорни мрежи, на вътрешни мрежи също така междуселищни връзки и навсякъде, където се изисква висока скорост на големи разстояния. Това се дължи на голямото им предимство пред класическите медни мрежи. Оптичните мрежи са с много по-голям капацитет, скорост и с много по-голяма дължина на пренос без загуби, което позволява намаляване на разходите по изграждане на ретраслаторни кутии (станции). Друго предимство пред останалите среди за пренос е много дългия експлоатационен живот, поради липса на корозия и стареене на материала.

Поради тези предимства оптиката заема все по-голяма част от съвременните мрежи (компютърни, за пренос на звук, видео и други), с нарастване на обема от данни, които се пренасят. Това нарастване е изключително бързо въз основа нарастване броя на потребителите, подобряване на технологиите (висококачествени устройства за запис на аудио и видео), което е следствие от все по-високите изисквания от потребителите и наличието на множество конкурентни производители.

Този метод на пренос на данни е бъдещето на всички интернет-базирани комуникации и услуги, благодарение на високата скорост, голям капацитет и осигуряване на възможност за изграждане на трасета с голяма дължина (междуселищни връзки).

2. Защо оптика?

Защо все повече и повече използваме оптика и на какво се дължи високата скорост на предаване?

Отговора на първия въпрос от части е даден в допълнението, основната причина е високата скорост, която ни позволява да пренесем много по-голямо количество информация за единица време. Това се дължи на принципа на разпространение: при оптичните комуникации за пренос се използва светлина (светлинни импулси), съответно полезната информация се движи със скорост, равна на скоростта на светлината $C = 3 \cdot 10^8$ m/s, за разлика от медните връзки, където информацията се пренася чрез електрически импулси т.е. чрез предаване на електрически заряд от една към друга частица докато не достигне крайната си цел.

Други предимства са:

- Малки тегло и размери - Разходите по полагане на кабели съществено се намалява;

- Ниска цена на материалите

- Информационен капацитет - В края на 1990 г. NEC съобщава за успешен експеримент, в който 132 оптични канала, всеки със скорост на предаване 20 Gbps, са пренесени на 120 km. Това са 2.64 терабита за секунда! Този капацитет е достатъчен да пренесе около 30 милиона некомпресирани телефонни разговора (при 64 Kbps на канал). Тридесет милиона телефонни разговора са приблизително максималното количество едновременни телефонни разговори в целия свят в произволен момент от време. Иначе казано, целият телефонен трафик на света би могъл едновременно да се пренесе само по една двойка оптични влакна.

- Липса на електрически връзки.

- Липса на електромагнитни смущения.

- Голяма дължина между регенераторите - от 40 до 120 km в оптичните комуникации; приблизително 12 km при коаксиалните кабели с електрична технология; при UTP 100 m.

Горепосоченото потвърждава предимствата на метода. Като недостатък може да бъде отбелязано: сравнително висока стойност на преобразователната техника, но с времето и увеличаване на приложението (масовост) поевтиняват производствените разходи на преобразуващата апаратура, което прави този недостатък относителен, още повече като се има предвид високата ефективност.

3. Принцип на действие

За да можем да пренесем информация през оптични мрежи, е необходимо да преобразуваме сигнала, тъй като преобладаващата част от съвременната

комуникационна апаратура е цифрова (като все още намира приложение и аналоговата техника) и тя работи с електрически импулси (ниво „0“ ниво „1“). Това налага преобразуването от електрическа енергия в светлинна. На фиг. 1 е изобразено схематично принципа на действие и преобразуванията, които претърпява сигнала, преминавайки през цялостна комуникационна система.



Фиг. 1. Принцип на действие на оптична система

Оптичните комуникации претърпяват няколко етапа на развитие като от основно значение за съвременните такива са през 1996 до 1999 г. с бурното развитие в областта на Wavelength Division Multiplexing (WDM) (мултиплексване с разделяне по дължини на вълните). Състои се в способността да се използват много (~1000) независими оптични канала по един и същ вълновод (оптично влакно). Първите напълно комерсиални продукти на базата на WDM се появяват на пазара през 1996 г.

4. Какво още знаем за оптиката?

Мрежата може да се дефинира като съвкупност от комуникационни връзки и друга апаратура, които дават възможност за обмен на информация в рамките на група от крайни потребители. Тази концепция включва няколко ключови елемента:

1. Целта на мрежата е да дава възможност за обмен на информация между крайни потребители.
2. Мрежата обикновено съдържа общи (за ползване) ресурси.
3. Повечето мрежи имат обща (често централизирана) система за управление на мрежата.
4. Информацията може да се обменя между които и да е два крайни потребителя.
5. Един потребител може да комуникира с няколко крайни потребителя или едновременно, или последователно (един след друг) като ползва една единствена връзка към мрежата.

6. Терминът “мрежа” често предполага и географско разделение между крайните потребители.

- Local Area Network (LAN)
- Metropolitan Area Network (MAN)
- Wide Area Network (WAN)

Тези имена не разграничават и не предполагат само определено географско разположение, но също обозначават твърде различни типове мрежи, които удовлетворяват различни изисквания в различни условия. [1]

4.1. Протоколи

Оптичните системи като част от Ethernet мрежите изпозват TCP/IP протоколния стек, базиран на 7-слойния OSI модел (1-физически, 2-канален, 3-мрежов, 4-транспортен, 5-сесиен, 6-презентационен, 7-приложен).

4.2. Съществуват и някои ограничения

Свързване на кабелите – Най-добрият начин за съединяване на кабели е чрез “заваряване”, което изисква прецизна апаратура. Типичните загуби в един ”SC” съединител при използване на влакно с дебелина 62.5 микрона е около 0.3 dB. Тази стойност не е толкова добра при едномодови влакна с малък диаметър. Една от главните съставки на стойността на една влакнестооптична комуникационна система е в разходите за въвеждане на лъчението от интегрален източник на светлина (лазер или полупроводников светодиод) в оптично влакно. Това се прави на етапа на производство и се нарича “pigtailling”.

Огъване на кабелите.

Наличие само на пропускаща оптика - Оптичните логически елементи и системи за превключване изглежда, че все още са отдалечени от нас на няколко години.

Гама-Излъчване – Оптичните вълноводи вероятно не са най-добрият избор за комуникационна среда в ядрени реактори и в открития космос.[1]

5. Параметри на оптичното влакно

Ако къс светлинен импулс от източник като лазер или полупроводников светодиод (LED) се пусне по тясно влакно, той ще се промени (ще деградира) по протежение на влакното. Такъв импулс, в зависимост от дължината на влакното, ще се появи на изхода му отслабен, удължен във времето (“размит”), и изкривен по някакъв начин. Причините за това са следните:

- *Поглъщане* - Примесите в стъклото поглъщат, а вариациите в еднородността на стъклото причиняват разсейване на светлината.
- *Ограничена максимална входна мощност* - около половин ват (в стандартно едномодово влакно).

- *Поляризация* - Светлината, разпространяваща се по такова влакно, променя поляризацията си.

- *Дисперсия*

1. Материална дисперсия (хроматична дисперсия)

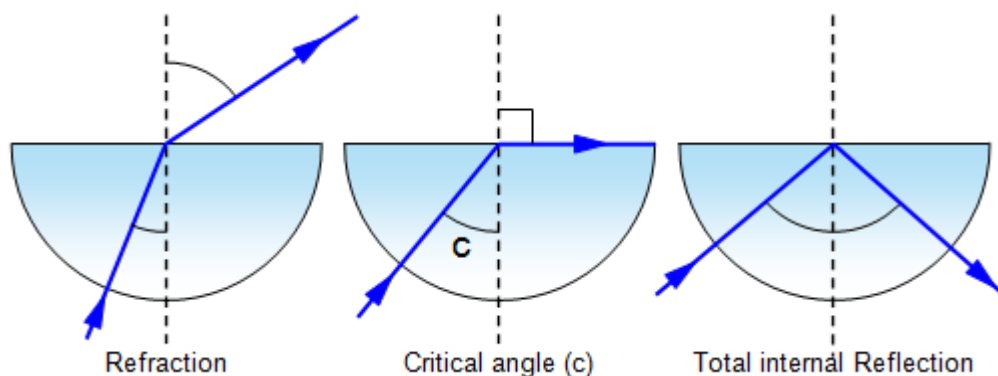
2. Модова дисперсия

3. Вълноводна дисперсия

6. Явлението пълно вътрешно отражение

Пълно вътрешно отражение е явление в оптиката, частен случай на отражение и пречупване на светлина на границата между две среди. На фиг. 2 са изобразени трите фази на отражение които могат да настъпят на границата на две среди на разпространение:

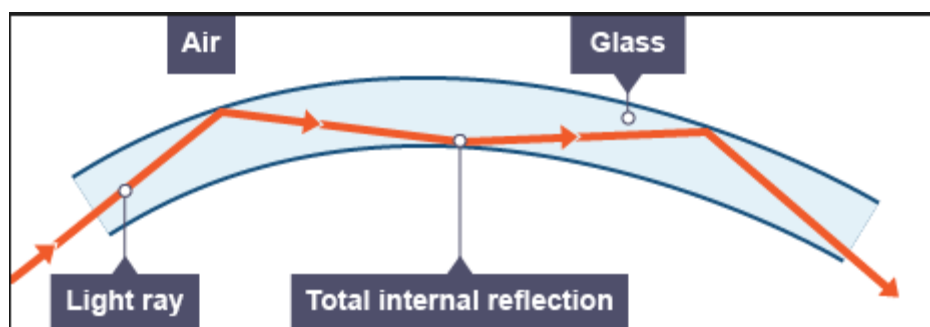
- Пречупване.
- Критичен ъгъл.
- Пълно вътрешно отражение.



Фиг. 2. Фази на отражение

В оптичните системи в затворена среда разчитаме изцяло на пълно вътрешно отражение, за да предаваме данни без или с малки загуби. Затова се стремим да сме далеч от критичния ъгъл. При доближаване на критичния ъгъл загубите нарастват експоненциално. Това е параметър, от който зависи максималния ъгъл на огъване на оптичното влакно.

При огъване в допустимите граници имаме предаване без загуби, както е изобразено на фиг. 3.

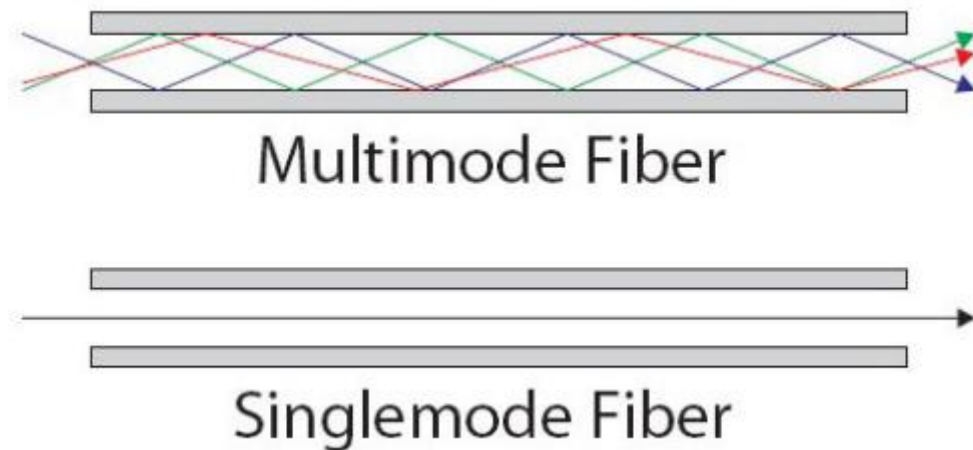


Фиг. 3. Примерно преминаване на светлинен лъч през оптично влакно

7. Основни типове оптични кабели OF (Optical fiber)

Оптичните кабели се делят основно на 2 типа: Multimode и Singlemode.

Основната разлика от която произтичат и всички останали е, че при Singlemode предаваме само един лъч в едно влакно, а при Multimode предаваме много лъчи в едно и също влакно. Това е илюстрирано на фиг. 4.



Фиг. 4. *Разпространение на сигнала при Multimode и Singlemode влакно.[3]*

Multimode кабелите притежават следните *предимства*:

Голям капацитет.

По-ниско съотношение цена/Gbps.

Недостатъци: по-малка дължина на трасето без регенератор.

По-голям радиус на максимално огъване.

Предимства на **Singlemode** кабелите:

Голяма дължина на трасетата.

По-ниска цена за единица кабел.

По-малък радиус на максимално огъване.

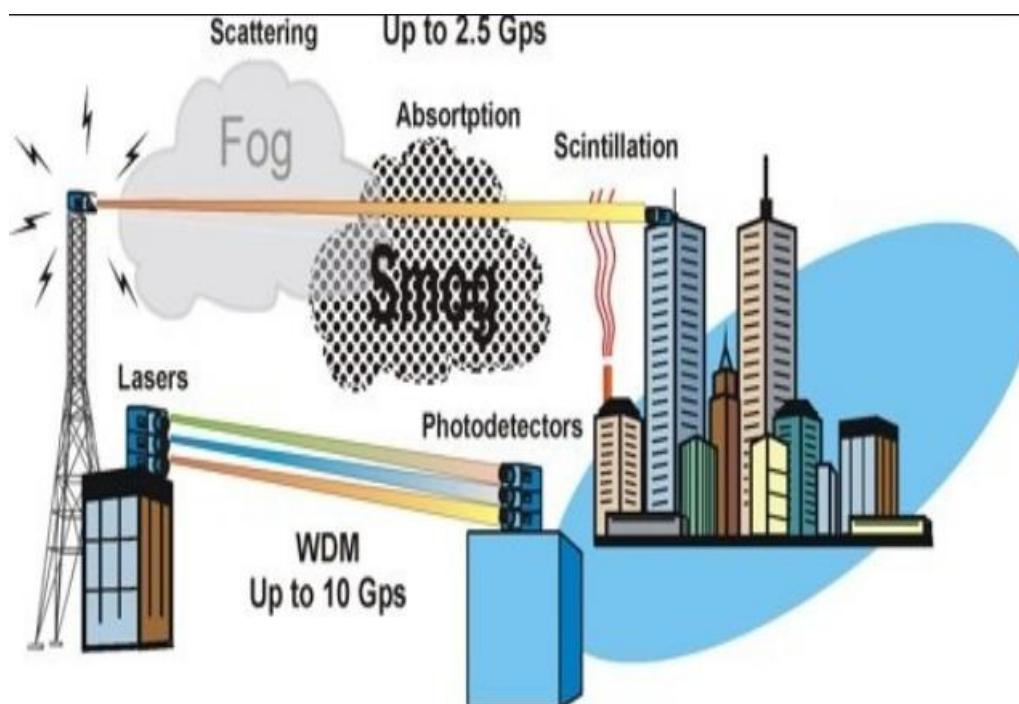
Недостатъци: по-малък капацитет

8. Free-space optical communication (FSO)

Това е оптична комуникация, която използва оптично разпространение в свободното пространство за безжично предаване на данни за комуникация или компютърни мрежи. „Free-space“ означава въздух, външно пространство, вакуум или нещо сходно. Това е основния контраст с използването на затворена оптика като оптични кабелни влакна. Тази технология се използва в случай, че физическата връзка е невъзможна или непрактична, поради висока стойност за изграждане или други географски съображения.

При тази технология е трудно да се говори за максимална дължина на трасето за връзка, тъй като са силно зависими от атмосферните условия. Според някои проучвания дължината с минимална загуба на пакети е от 400 до 500 m, а според някои военни изследвания максималния обхват за сухопътни връзки е

между 2 и 3 km. На следващата фиг. 5 е показано примерно приложение и влиянията от атмосферните условия на FSO.



Фиг. 5. Примерно приложение на FSO

Друга основна разлика и предимство на FSO спрямо OF е способността да се предава информация с пълен дуплекс (двупосочна комуникация-едновременно предаване и приемане).

9. Заключение

Оптичните технологии са бъдещето на съвременните комуникации, позволяващи много по-висока скорост, капацитет, и намаляване на разходи по изграждане и поддръжка на мрежите. Тези предимства пред конвенционалните медни мрежи им дава голямо преимущество. Тяхното приложение е в основата на развитие на бъдещите технологии за пренос на данни. Следващото ниво на развитие на OF е постигането на предване при пълен дуплекс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Harry J. R. Dutton, *International Technical Support Organization*
2. <http://jowang.over-blog.com/2016/03/multimode-fiber-optic-patch-cable-overview.html>
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Free-space_optical_communication

Авторски указател

Сашка Александрова, професор д-н, КПФ, ФПМИ, Технически Университет - София

Росица Андреева, асистент, КПФ, ФПМИ, Технически Университет - София

Тодор Арабаджиев, доцент д-р, КПФ, ФПМИ, Технически Университет - София

Ясен Георгиев, инж., Технически Университет - София

Християн Димитров, студент, АТТ, ТФ, Технически Университет - София

Любослава Димчева, студент, ФТК, Технически Университет - София

Юлия Илчева, асистент, Минногеоложки Университет, София

Румен Кобеларов, гл. асистент, КПФ, ФПМИ, Технически Университет - София

Хайри Ковачев, студент, Минногеоложки Университет, София

Невена Кожухарова, гл. асистент, КПФ, ФПМИ, Технически Университет - София

Християна Лачева, студент, Минногеоложки Университет, София

Константин Младенов, студент, Минногеоложки Университет, София

Ивайло Начев, студент, ФТК, Технически Университет - София

Валерия Николова, студент, АТТ, ТФ, Технически Университет – София

Бойко Рангелов, професор, Геологопроучвателен Факултет, Минногеоложки Университет, София

Иван Стефанов, доцент, д-р, КПФ, ФПМИ, Технически Университет - София

Димитър Стоянов, доцент, ИПФ - Сливен към Технически Университет - София

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

Пламен Тенев, студент, Минногеоложки Университет, София

Иван Узунов, професор д-р, КПФ, ФПМИ, Технически Университет - София

Елена Халова, доцент д-р, КПФ, ФПМИ, Технически Университет - София

ПРОГРАМА НА ДНИТЕ НА ФИЗИКАТА 2018 г.**НАУЧНО-ПОПУЛЯРНА СЕСИЯ****18.04. сряда**

Доклад	Автор(-и)	Час
Откриване	доц. д-р Е. Халова, КПФ	17:30
„Законът за запазване на енергията или 200г. от рождението на Джаул“	гл. ас. Н. Кожухарова, доц. д-р Е. Халова, КПФ	17:45
„Живот и творчество на великия физик Макс Планк“	доц. д-р Е. Халова, гл. ас. Н. Кожухарова, КПФ	18:15
„Молекулярните облаци - газови фрактали, създадени от гравитация, акреция и турбулентност“	гл. ас. д-р С. Донков, КПФ	18:45
“Особености и проблеми срещани при наземно разпространение на ефирна телевизия(DVB-T)”	студенти И. Начев, Ц. Райнов, К. Панчев, 1курс, магистър, ФТК	19:15

19.04. четвъртък

Доклад	Автор(-и)	Час
„Нобелова награда по физика за 2017“	проф. д-р С. Александрова, КПФ	17:30
“Отопление на сателитни антени и антенни полета”	студенти И. Начев, Л. Димчева, 1курс, магистър, ФТК	18:00
„Температурно разширение“	студент С. Симеонов, 1 курс - АТТ, ФТ	18:15
„Идеите и постиженията на Елън Мъск, представени чрез инфографики.“	студенти Х. Лачева , Х. Ковачев, П. Тенев, К. Младенов, МГУ	18:30
„Опознаването на материята“	студенти В. Николова Х. Димитров, 1 курс-АТТ, ФТ	18:45

20.04. петък

Доклад	Автор(-и)	Час
„Увеличаване обхвата на радарни модули, чрез печатни антени“	студенти И. Начев, 1курс, магистър, ФТК, Р. Витанов – докторант в ТУ	16:00
„Антени с електронно сканиране, управление на антенния лъч чрез планарни структури“	студенти И. Начев, 1курс, магистър, ФТК, Р. Витанов – докторант в ТУ	16:15
Демонстрации	гл. ас. инж. Л. Георгиев, КПФ	17:00

НАУЧНА СЕСИЯ**21.04. събота**

Доклад	Автор(-и)	Час
„Числени симулации на електромагнитни трептения“	ас. Р. Андреева, КПФ	10:00
„Област на допустимите стойности на параметрите на милисекундния пулсар ХТЕJ 1807-294 според модела на релативистка прецесия“	доц. д-р И. Стефанов и гл. ас. д-р Р. Ташева, КПФ	10:20
„GW150914. Кинематика на система от две черни дупки.“	доц. д-р Д. Стоянов, ИПФ-Сливен	10:40
„Приложение на неутронния активационен анализ в екологията“	гл. ас. д-р Р. Кобиларов, КПФ	11:00
Кафе-пауза		11:20
„Фрактална природа на Малдивския архипелаг“	Проф. д-р Бойко Рангелов, МГУ	12:00
„Фурие метод на разделяне по физични фактори (SSFM) с две итерации за моделиране на вътрешно-импулсно раманово разсейване (IRS) в оптични влакна“	доц. д-р Т. Арабаджиев, проф. дфн И. Узунов, КПФ	12:20
„Пренос на данни чрез оптични мрежи (оптични комуникации) “	инж. Ясен Георгиев ТУ-София	12:40
„Природни опасности и системи за ранно предупреждение на Малдивите“	Проф. д-р Бойко Рангелов, МГУ	13:00

ЗАВОД ЗА ОПТИКА

ОПТИКОЕЛЕКТРОН
ГРУП



Панагюрище 4500, Индустриален парк ОЕ, тел: 0357/62 156, факс: 0357/63316 e-mail: pfo@opticoel.com, www.pfo-bg.com