

Дни на физиката 2020

Сборник популярни и научни доклади

Редактори: Е. Халова
С. Александрова
Н. Кожухарова

ИЗДАТЕЛСТВО НА ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

ISSN 1313-9576

Предговор

Настоящото издание, поредният 12 том на „Сборник популярни и научни доклади“, включва доклади, представени на поредните ежегодни „Дни на физиката“. Провеждането на „Дни на физиката 2020“, както и в предишните години, се състоя в рамките на „Дни на науката“ в Технически университет – София и се организира от Катедрата по приложна физика, Факултет по приложна математика и информатика (ФПМИ).

През тази година дните на физиката се проведеха в необичайна обстановка, наложена от пандемията COVID-19. За пръв път форумът се проведе дистанционно за разлика от традиционния формат в лекционна зала. Въпреки отсъствието на личния контакт лектор-публика „Дни на физиката 2020“ преминаха много успешно. Проявиха се и някои предимства, като възможността за включване на по-широка публика от студенти, преподаватели и ученици. Известната анонимност на дистанционния контакт окуражаваше студентите и учениците за по-активно участие в дискусиите.

Лекторите тази година бяха преподаватели и учени от ФПМИ на ТУ–София, от МГУ "Св. Иван Рилски" и от Института по физика на твърдото тяло – БАН. Както всяка година докладите бяха посветени на интересни и актуални теми от различни области на физиката, свързани с фундаментални и приложни проблеми на модерната наука, както и теми от историята на физиката. Оригинално и увлекателно представяне на темите ги прави разбираеми за широка и разнообразна аудитория в атмосфера на научен семинар.

Читателите могат да навлязат в интересните далечни светове на Космоса, на планетите, обикалящи около далечни слънца и наподобяващи Земята, да прочетат за странната екстремна светлина, за възникването на Вселената, за тъмната енергия и тъмната материя, за старата и вечно нова връзка физика-математика. Други интересни теми бяха посветени историческата тема за обединението на електричеството, магнетизма и оптиката, за Нобеловата награда по физика за 2019 година, за Нобеловите лауреати и техните шеги, за това как да направим презентациите на докладите си убедителни и разбираеми.

Традиционно научната сесия бе проведена в последния ден от „Дни на физиката“ и това даде възможност за среща на учените и преподавателите-участници във форума. Представени и дискутирани бяха проблеми в съвременни научни области. Част от публикуваните в Сборника доклади са на английски език. Темите бяха основно от областта на оптичните технологии, астрономията и геофизиката, по които работят преподавателите от различните университети. Фактът, че макар и съботен ден, научната сесия бе посетена и от студенти, е показател за интереса им към физиката.

За съжаление липсваха традиционните демонстрации на физични явления и закономерности, които в предишните години бяха представени по много атрактивен начин от ас. инж. Л. Георгиев и предизвикваха голям интерес у

студентите, поради възможността за допир до реалните физични експерименти и изследвания.

Пълен списък на презентациите от Дните на физиката, са дадени в края на сборника. Всички включени статии, представени на „Дни на физиката 2020“, са рецензирани от учени с познания и авторитет в съответната област.

Надяваме се поредният том на сборника, да изпълни ролята си на 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 благодарности на всички участници в “Дни на физиката - 2020”, както и на членовете на Организационния комитет и Ръководството на ФПМИ.

Организирането и провеждането на „Дните на физиката“, както и издаването на настоящия сборник са съфинансирани по вътрешния конкурс на ТУ-София 2020 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 също 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**

И. Копринков, Генерация и приложение на екстремна светлина.....	5
Т. Арабаджиев, Ентропия и Вселена.....	18
Л. Филипова, Тъмна енергия и Еволюция на Вселената.....	24
С. Александрова Здравейте, професоре, тук е Стокхолм.Току-що спечелихте Нобеловата награда Шегите на Нобеловите лауреати.....	35
Е. Халова, Н. Кожухарова, Изисквания при подготовка и представяне на презентация с PowerPoint.....	43

НАУЧНИ ДОКЛАДИ

И. Узунов, Towards the influence of the intrapulse Raman scattering on the solutions of the complex cubic Ginzburg – Landau equation.....	52
И. Копринков, Някои основни режими в динамиката на свръхкъси свръхмощни светлинни импулси.....	60
И. Стефанов, X-RAY QUASI-periodic oscillations and estimates of the mass and the spin of the neutron star in 4U1728-34.....	68
Р. Ташева, И. Стефанов, Приложение на моделите на изкривения диск и приливното разкъсване за изследване на атолен източник 4U1728-34.....	74
Б. Рангелов, Enigmatic Indian Ocean.....	79
B. Rangelov, D. Solakov, S. Dimovsky, A. Kisyov, B. Georgieva, Mapping and digitalization of the ground conditions for the seismic hazard assessment.....	91
Авторски указател.....	98
Програма на Дните на физиката.....	99

ГЕНЕРАЦИЯ И ПРИЛОЖЕНИЕ НА ЕКСТРЕМНА СВЕТЛИНА

И. Г. Копринков

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

***Резюме.** Разгледано е съвременното състояние на проблема за генерация на върхинтензивни свръхкъси светлинни импулси. Представено е предстоящото развитие на тази област по посока на генерация на екстремна светлина и очертаващите се за постигане на тази цел методи. Разгледани са някои от потенциалните приложения на екстремната светлина в области от фундаменталната физика.*

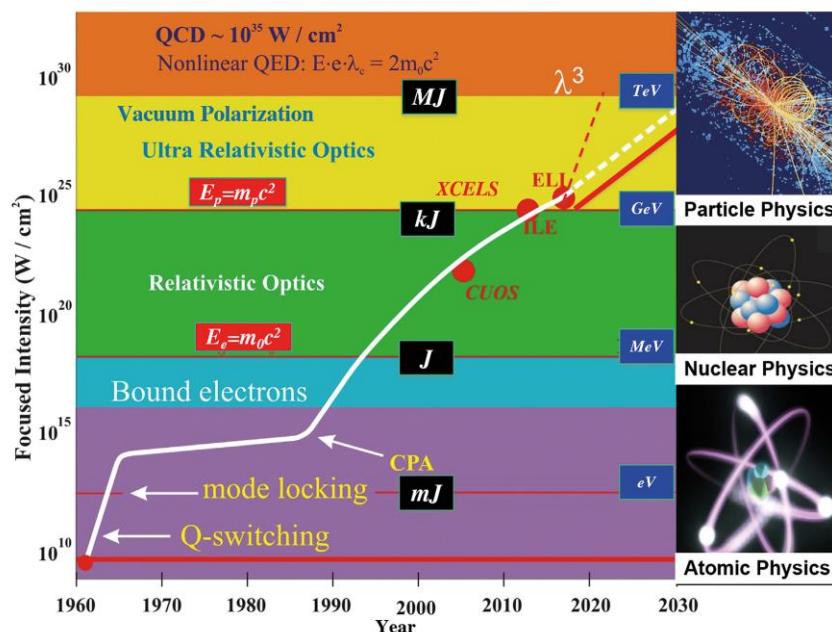
Ключови думи: екстремна светлина, генерация, приложение.

1. Увод

Лазерната физика традиционно се развива с интензивни темпове от момента на нейното възникване до наши дни. Тя фокусира и интегрира в себе си званията и методите на редица фундаментални физични дисциплини, като използва и сама се явява източник на едни от най-авангардните технологии. Макар и интензивно, това развитие не е равномерно, а е белязано от няколко „скока“, които са свързани с откриването на нови лазерни режими, нови лазерни активни среди и др. Една кратка хронология на развитие, по-конкретно, на достигнатите интензитети на лазерното лъчение през годините, е дадена на фиг. 1. Както се вижда, днешното развитие на лазерната физика и технологии е под силното влияние на едно събитие, появило се в средата на 80-те години на миналия век, свързано с решаване на проблема за усиление на свръхкъси, фемтосекундни, импулси, известно като метод за усиление на чирпови импулси (оригинална терминология – chirped pulse amplification, CPA) [1].

Дълго време обектът на лазерното лъчение е бил определян от естественият принцип „това което излъчва, то и поглъща“ и тъй като лазерното лъчение се излъчва от атоми, молекули или вещество в кондензирано състояние, това са били и обектите на неговото въздействие. Определящ е и фактът, че енергията на лазерните фотони е в диапазона на енергията на квантовите преходи на тези физични обекти, именно, $\propto eV$. Постепенно става ясно, че CPA-метода дава огромни възможности, включително навлизане в области, за които това преди е било немислимо. Благодарение на CPA метода, днес са получени рекордно къси и мощни светлинни импулси с продължителност 2-3 цикъла на носещата

честота, която е $2,5 \text{ fs/цикл}$ за 800 nm . Тези импулси ще ги означим като *свръхинтензивни свръхкъси светлинни импулси* (СССИ). Под СССИ ние ще



Фиг. 1. Развитие на лазерните технологии за генерация на свръхинтензивно лазерно лъчение.[3]

разбираме (без претенции за дефинитивност) импулси, чиято пикова мощност е от порядъка на гигават ($1\text{GW}=10^9 \text{ W}$) или достига терават ($1\text{TW}=10^{12} \text{ W}$) или петават ($1\text{PW}=10^{15} \text{ W}$), а продължителността на импулса е около и под 100fs , $1\text{fs}=10^{-15}\text{s}$. Гигаватните СССИ са импулси, чиято пикова мощност достига и превишава мощността на енергийната система на страна като България, а пикова мощност на TW и PW импулси е съизмерима или надвишава хиляди пъти, съответно, мощността на енергийната система на света. Стоящите най-ниско в тази скала GW-импулси ги причисляваме към СССИ, тъй като те все още могат да се разпространяват нормално в обичайното атомно-молекулно състояние на веществото и покриват огромно разнообразие от явления и ефекти. При интензитетите, които се достигат с TW и PW импулси, веществото се превръща в йони или дори голи атомни ядра и свободни електрони, което може радикално да промени параметрите на началния импулс.

СРА-концепцията доведе до преломни резултати и открития в лазерната физика и нейните създатели, Жерар Муру и Дона Стрикланд, които бяха удостоени с половината от Нобеловата награда по физика за 2018 година [2]. За разгръщане на потенциала на СРА-метода в ход е голям Европейски проект ELI (*extreme light infrastructure*), в рамките на който в няколко европейски страни се изграждат свръхмощни лазерни системи със специализирано приложение [3]. Резултатите от тях очертават перспективи за далеч по-големи мощности и по-къси импулси, за чието постигане се работи интензивно. Това са импулси с мощности от екзават ($1\text{EW}=10^{18} \text{ W}$) и зетават ($1\text{ZW}=10^{21} \text{ W}$) и продължителност до цептосекунди ($1\text{zs}=10^{-21}\text{s}$), които ще наречем *екстремна светлина* (ЕС).

Целта на настоящата работа е да хвърли светлина върху методите за генериране на ЕС и на някои от нейните най-впечатляващи приложения.

2. Генерация на екстремна светлина

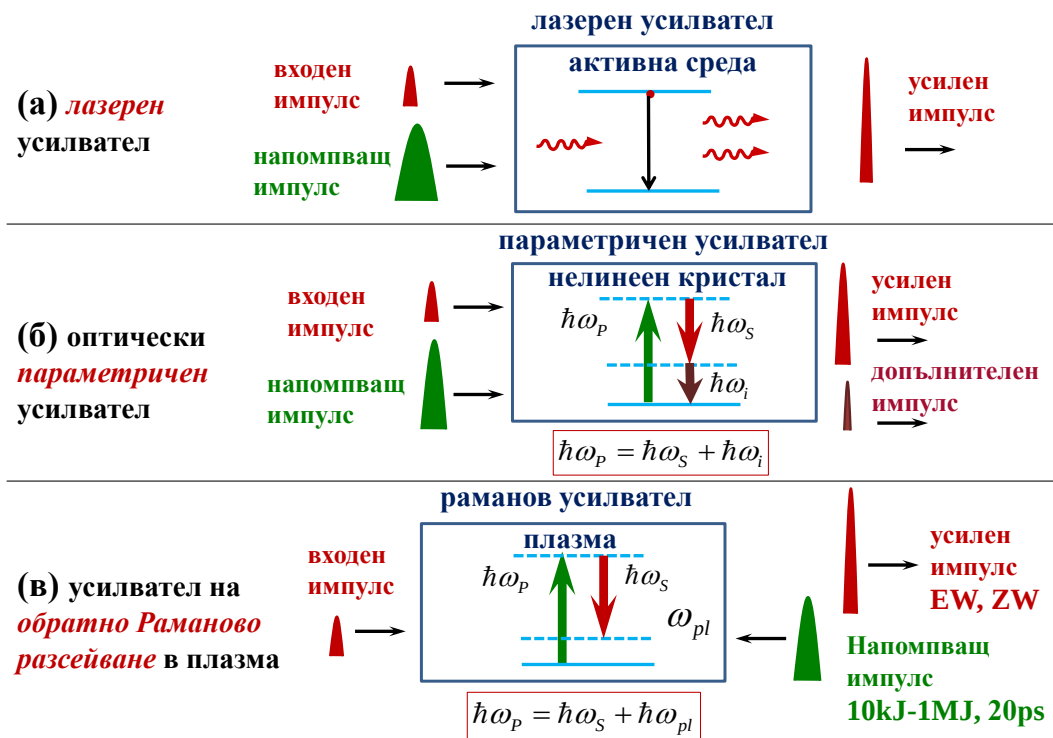
Съвременните лазери, генериращи свръхкъси импулси във фемтосекундната област, позволяват да се получат огромни мощности и интензитети при относително ниска енергия в импулс. Така например най-мощната в момента лазерна система "Талес", базирана на кристална активна среда титан-сапфир, Ti:S, генерира импулси с мощност $10PW$ и продължителност на импулса около $20fs$ при енергия в импулс $200J$ [4]. В абсолютно измерение, тази енергия не е никак голяма. От доста време има технологии за целите на лазерния термоядрения синтез, базирани активна среда Nd^{3+} -стъкло, позволяващи генерирането на MJ енергии от нано- или пикосекундни импулси [5]. Кристалната активна среда позволява работа на лазера на висока честота на повторение на импулсите, тъй като лесно се охлажда, но кристалите трудно се произвеждат в големи размери (максимална постигната апертура за Ti:S кристали е $17cm$), което ограничава енергията на импулсите. Обратно, стъклените активни среди по-трудно се охлаждат и това ограничава честота на повторение на импулсите, но лесно се произвеждат в големи размери, което осигурява голяма енергия на импулсите. Всяка една от лазерните технологии, базирани на кристални и стъклени активни среди, е извлякла много от техните възможности и бъдещото развитие на свръхмощните лазери се очертава в съчетанието на различни видове лазерни технологии. В тази връзка се разработва концепция за достигане на следващите хоризонти към генерация на ЕС, а именно- получаване на EW и ZW импулси.

2.1 Генерация на екзават-зетават светлинни импулси

Генерацията на EW и ZW светлинни импулси се очаква в рамките концепция $C^{(3)}$ (оригинална терминология Cascaded Conversion Compression) [6], която съчетава три поотделно известни технологии: CPA, OPCPA (оригинална терминология – Optical Parametric CPA) и BRA (оригинална терминология – plasma compression by Backward Raman Amplification). В този раздел ще бъдат разгледани накратко физическите принципи на тези три концепции, илюстрирани с фиг.2.

CPA и OPCPA концепциите се използват в лазерна система "Талес", чийто генератор е базиран на активна среда Ti:S и генерира $5fs$ импулси на дължина на вълната $800nm$, използвайки чирпови огледала за компенсация на положителната дисперсия на лазерния кристал. Импулсите от генератора са с много малка енергия, от порядъка на nJ . За достигане до PW мощности, те се

усилват каскадно през система от усилватели, използвайки CPA или OPCPA метода, фиг. 2а или фиг. 2б, съответно, като постъпващият входен импулс от генератора предварително се разпъва във времето (чирпване) от $5fs$ до $2ns$.

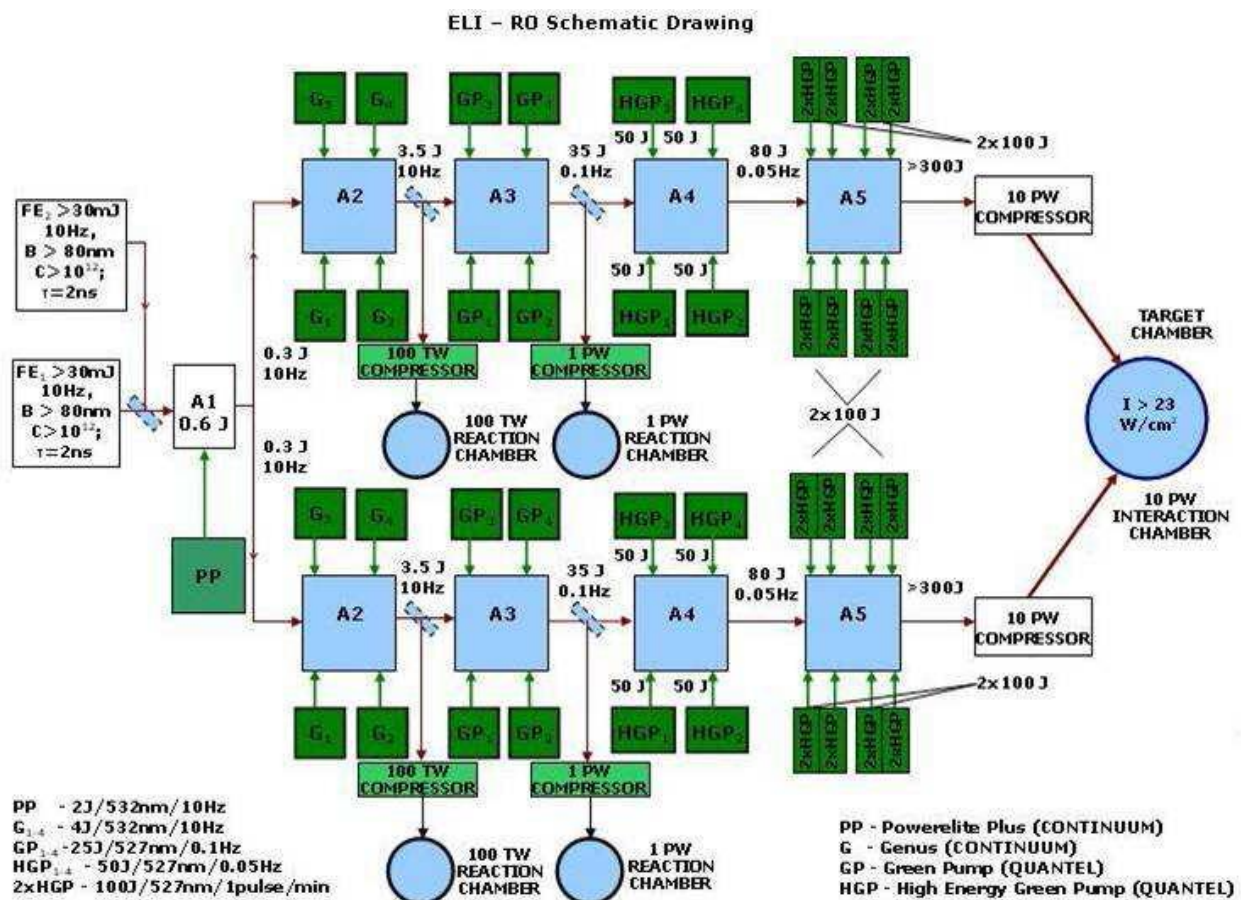


Фиг. 2. Някои принципни методи за усилване на лазерно лъчение

CPA методът (идеята на CPA метода е представена в Дни на физиката 2019, том 11, стр. 6) е базиран на усилване в обичаен лазерен тип усилвател с инверсна населеност, фиг.2а. Активната среда е също кристал Ti:S, който в случая се възбужда от напompващ лазерен импулс на удвоената честота, $532nm$, на Nd:YAG laser в режим на Q-модуляция. Създадената от него инверсна населеност на лазерния преход се сваля от входния импулс и така се усилва. Всъщност, реално това е система от 3 Ti:S усилвателя и редица спомагателни оптични устройства за подобряване на характеристиките на импулса. След последния усилвател енергията на импулса достига до $30mJ$. Този тип усилватели имат някои недостатъци: *i*) наличие на пиедестал на усиления импулс от усилен спонтанна емисия, *ii*) наличие на топлинна леща и др.

OPCPA методът позволява да се избегнат тези недостатъци. При този метод активната лазерна среда се заменя с нелинеен оптичен кристал, фиг. 2б, най-често BBO или LBO. Вместо реална инверсна населеност на лазерни нива, тук имаме нелинейна среда, в която напompващият лазерен импулс възбужда нелинейна поляризация на средата на честотата на входния импулс, която има усилящи свойства. Входният импулс от генератора, отново предварително разпънат във времето (чирпван), излиза усилен след нелинейния кристал. Процесът на елементарно физично ниво представлява унищожаване на един

фотон от напмпващия лазерен импулс с честота ω_p и едновременно раждане на два нови фотона, един фотон на честотата ω_s на входния импулс и един допълнителен ("халостен", *idler*) фотон, на честота ω_i , осигурявайки така запазване на енергията: $\hbar\omega_p = \hbar\omega_s + \hbar\omega_i$. Ако при този елементарен процес се изпълнява и законът за запазване на импулса (незапазването на импулса не означава нарушаването му изобщо в рамките на цялата система поле-кристал), т.н., *фазов синхронизъм*, $\hbar\vec{k}_p = \hbar\vec{k}_s + \hbar\vec{k}_i$ ($\vec{k}_p, \vec{k}_s, \vec{k}_i$ са вълновите вектори на фотоните от напмпващия, сигналния и допълнителен светлинни импулси, съответно)), то процесът се натрупва по протежение на нелинейния кристал и води до много голямо усилване на входния импулс. Всъщност, ОРСРА усилвателя представлява една сложна система от усилватели, работещи по СРА и ОРСРА метода и редица помощни устройства, с помощта на които се генерира както усиленото лъчение на честотата на входния импулс, така и предварително се изработва напмпващ импулс със специални свойства. ОРСРА метода, за разлика от СРА метода, има специални изисквания към напмпващия импулс – той трябва да е с продължителност много близка до тази на входния импулс, тъй като нелинейно усилване се получава само при припокриване на двата импулса във времето. Изходният усилен импулс на ОРСРА е със сходни параметри като този на СРА, енергия около $30mJ$.

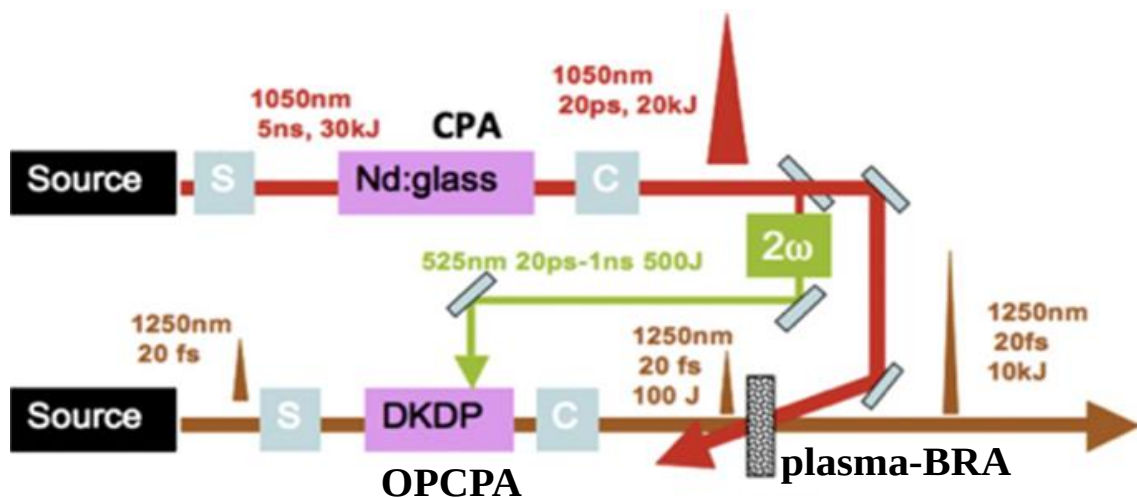


Фиг. 3. Схема на крайните усилватели на 10PW лазерна система "Талес"

Това е предварителния стадий от усилването. Същинското усилване до PW мощности става в поредица от мощни усилватели, A_1 – A_5 , фиг. 3. Всъщност, имаме две успоредни усилвателни линии A_1 – A_5 , всяка от които дава на изхода си 10PW-импулси. Системата има общо 3 изхода, след всеки от усилвателите A_2 , A_3 и A_5 , като преди това импулсите се компресират от оптически компресори. Импулсите от A_2 са с мощност 100TW, от A_3 - 1PW и тези от A_5 са с мощност 10PW. С фокусирането на 10PW импулси се получават интензитети от 10^{23}W/cm^2 и интензитет на електрическото поле 10^{13}V/cm . Това са най-мощните свръхкъси генерирани импулси досега и очертават съвременното състояние на проблема. Няколкото изхода дават голяма гъвкавост на системата за извършване на разнообразни експерименти изискващи различни мощности.

Генериране на EW и ZW импулси се предвижда да стане по метода BRA на $C^{(3)}$ -концепцията, фиг. 2в. За целта е нужно да се компресират импулси с енергия от порядъка на десетки kJ до MJ, каквито се генерират в наносекундния диапазон от лазерни системи на Nd^{3+} -стъкло, до 10-20fs, фиг. 4, използвайки обратно Раманово усилване, BRA, в плазма с концентрация $n = 10^{19} - 10^{20} \text{cm}^{-3}$. За опростяване на изискванията към плазмата (скъсяване размера на плазмения стълб), наносекундните импулси предварително се компресират до 20ps по CPA метода, с част от тяхната енергия входният фемтосекунден импулс нужен за BRA се усилва по OPCPA метода, и накрая се прилага самият BRA метод, фиг.4, т.е., прилага се пълният спектър на хибридната $C^{(3)}$ -концепция. Предимството на обратното Раманово усилване пред правото е, че при него се използва енергията на целия напompващ импулс.

На елементарно физично ниво BRA-процесът представлява унищожаване на един фотон от напompващия лазерен импулс на честотата ω_p и едновременно раждане на един фотон на честотата ω_s на входния импулс, който се усилва, като разликата между тях е равна на плазмената честота $\omega_{pl} = (4\pi e^2 n / m)^{1/2}$, съгласно законът за запазване на енергията: $\hbar\omega_p = \hbar\omega_s + \hbar\omega_{pl}$, фиг. 2в. Тъй като

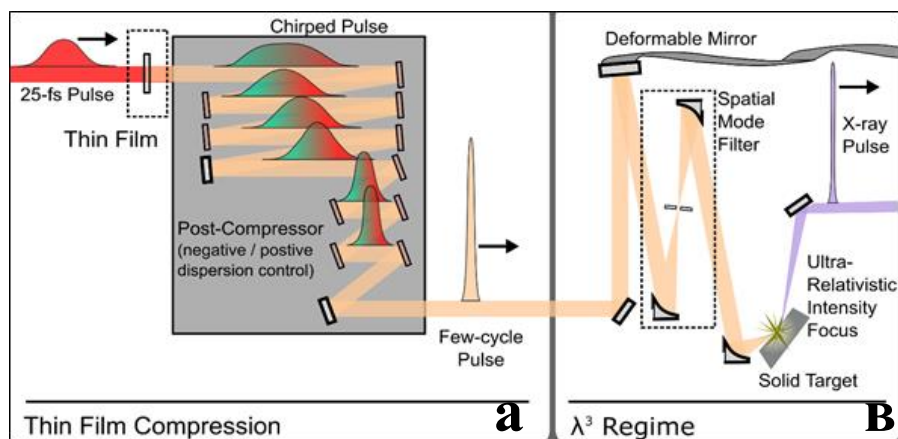


Фиг. 4. Обратно Раманово усилване и компресия в плазма на 30 kJ, 5ns импулси от Nd^{3+} -стъкло лазер до 20fs импулси. Изм. [3].

плазмата е изотропна среда, а и Рамановият процес не се нуждае от фазов синхронизъм, това позволява напompването на плазмата за става с множество напompващи снопове под различни ъгли, вместо с един, както е на фиг. 4, като енергията на напompването се увеличава от десетки kJ на стотици kJ и дори MJ, при ефективност на преобразуването от около 40%. Това отваря хоризонта за генерация на ЕС с EW и ZW мощности. Постигането на тази цел има ключово роля за следващите приложения на ЕС.

2.2 Генерация на мощни аттосекундни - пептосекундни импулси

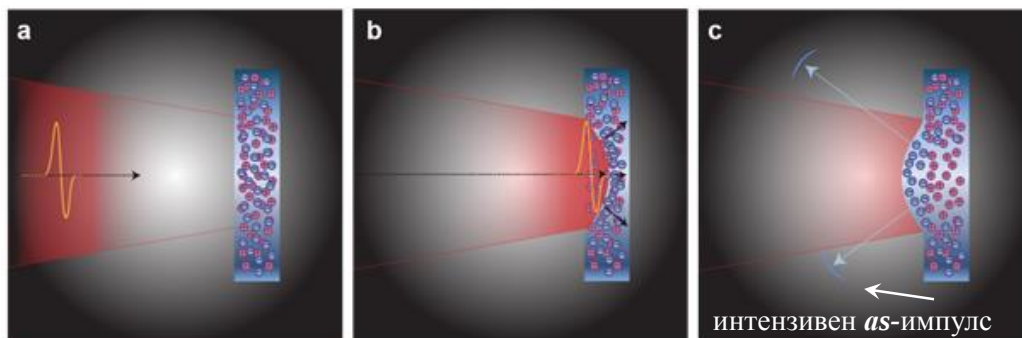
Основният акцент при $C^{(3)}$ -концепцията е поставен върху генерацията на импулси с екстремни мощности. Получените импулси, макар и от порядъка само на 20fs , не е предела и естественият въпрос е до какви екстремни стойности могат да се скъсят. При тези мощности и енергии, съществуващите методи за компресия са неприложими. В тази връзка, предложен е метод [7] за компресия в тънко фолио (под 0,5 милиметра дебелина), служещо за нелинейна среда, в което чрез фазова саомодуляция спектърът на импулса първо се разширява, като същевременно се чирпва, фиг.5а. Поради големият интензитет на импулсите, интензивна фазова саомодуляция се получава без фокусировка на импулса и без да са нужни силно изразени нелинейни свойства на средата. Изходните импулси се компресират в система от чирпови огледала до продължителност от няколко до един оптически цикъл. След изчистване на пространствената структура на импулса с пространствен филтър, той може да се фокусира в пространствена област с размери от порядъка на дължината на вълната, λ^3 режим, фиг. 5b, достигайки ултра-релативистки интензитети, фиг.1.



Фиг. 5. Компресия на импулса в тънко фолио. Изт. [7].

Ако във фокуса на такъв импулс се постави метална мишена, фиг. 6а, този импулс взаимодейства с електроните от металната плазма като силно ги компресиращ навътре в мишената, докато в същото време йоните, като по-инертни и свързани в кристалната решетка, остават практически на местата си,

фиг. 6b. Поради голямата плътност на твърдотелната плазма, възниква огромен квазистатичен електрически потенциал на привличане между останалите на повърхността некомпенсирани йони и деформираният навътре електронен слой, който връща обратно електроните, като дори ги изстрелва с релативистка скорост на известно разстояние извън метала, създавайки *релативистко електронно (плазмено) огледало*. Последното отразява задната част от лазерния



Фиг. 6. Генерация на интензивни атто- и субатто/zepto-секундни импулси от релативистко осцилиращо огледало. Изт. [7].

импулс като, в резултат на взаимодействие с релативистките електрони, енергията на лазерните фотони се преобразува от eV (близката инфрачервена област) до $x100\text{keV-MeV}$ (твърди рентгенови и гама лъчи), фиг. 6c. Поради скъсяване на дължината на вълната на отразените фотони, отразената част от началният няколко-циклов инфрачервен импулс се превръща в рентгенов или гама импулс. Това скъсява продължителността му, като в резултат се генерира интензивен изолиран *as*-импулс, $1\text{as} = 10^{-18}\text{s}$. Теоретичните резултати показват, че при определени условия могат да се получат дори *zs*-импулси. Това е пробив в генерацията на *as*-импулси, тъй като при досега съществуващите методи генерираните *as*-импулси в инертни газове са с много ниска енергия, а самата експериментална установка е относително сложна.

С помощта на *as* и *zs*-импулси могат, по принцип, да се наблюдават в реално време не само свръхбързи процеси в атомните и молекулни системи, но и свръхбързи процеси в областта на *ядрото* и *елементарните частици*. Това отваря вратите за нова наука - *цептонаука*.

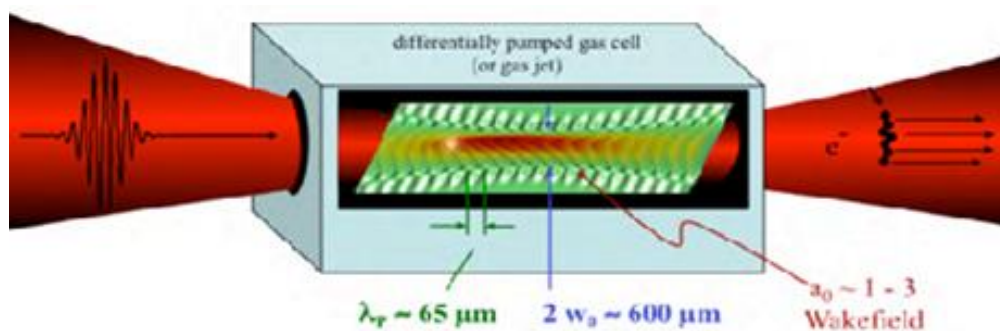
2.3 Ускоряване на елементарни частици, плазмени ускорители

Развитието на съвременните ускорители на елементарни частици е ограничено от физическите принципи, на които се базират. Ускоряващите им полета са ограничени до около 10^6V/cm , поради пробив от студена електронна емисия от металните им стени към вакуума в тях. За по-нататъшно увеличаване на енергията на частиците се налага да се правят още по-големи и скъпи ускорители. Така например големият адронен колайдер, LHC, има ускоряващо

(радиочестотно) електрическо поле от $7 \cdot 10^4 \text{ V/cm}$, а неговата обиколка е 27 км. Това налага да се търсят алтернативни методи за ускоряване на частици.

Днес са познати методи за създаване на свръхсилни електрически полета, които биха могли да бъдат основа за нови методи за ускоряване на частици. Достигнати са интензитети на електрическото поле от 10^{13} V/cm при фокусиране на 10 PW лазерни импулси, но това поле се създава в много къса фокална област. Мощни свръхкъси лазерни импулси могат да се използват за генериране на плазмени вълни с много силни електрически полета $E = c m e^{-1} \omega_{pl}$ (в оценъчна форма - $E[\text{V/cm}] \approx (n[\text{cm}^{-3}])^{1/2}$), които при електронна концентрация $n = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ достигат до $E \approx 10^9 \text{ V/cm}$. На тази база, активно се разработват *ускорители на плазмени вълни* PWFA (оригинална терминология *Plasma Wakefield Acceleration*). Плазмени вълни могат да се възбуждат чрез свръхкъси лазерни импулси и от заредени енергетични частици (електрони, протони), като генерираните импулси от ускорени електрони имат сравнима или по-къса продължителност от лазерните импулси и са синхронизирани с тях, фиг.7. Очертават се алтернативни принципи за ускоряване на частици с голям потенциал, като предстои да се установи доколко той е реализуем практически. С PWFA вече е демонстрирано ускоряване на електрони от 20 cm плазмена капиляра до $7,8 \text{ GeV}$ с $0,85 \text{ PW}$ лазер (ускорение на електроните $> 10^{22} \text{ m/s}^2$).

Принципът на действие на PWFA с лазерно възбуждане е следния. Първо се създава плазма с лазерен импулс. С друг лазерен импулс се възбуждат плазмени вълни под въздействие на *пондеромотивни сили*, $\vec{F} = -(4m\omega^2)^{-1} e^2 \nabla(E^2)$. Това е нелинейна сила от градиентен тип, която възниква при нехомогенно поле, като действа в посока на намаляване на амплитудата на полето E и не зависи от знака на заряда. Тя изтласква зарядите към област с по-ниска амплитуда, респ. интензитет на светлината. Поради силната пространствено-временна локализация на полето на мощните свръхкъси лазерни импулси, възникващите пондеромотивни сили са огромни. Поради малката маса на електроните, те се изхвърлят встрани от пика на импулса, а масивните положителни йони остават на място като възникват огромни локални полета. Положителната „следа“ следва импулса и се движи приблизително със скоростта на светлината в



Фиг. 7. PWFA ускорител, възбуден с лазерни импулси. Изт. [3].

плазмата. След отминаване на импулса, електроните се привличат обратно към йоните и привлечени от огромния положителен потенциал на йонната следа, следваща импулса, се ускоряват достигайки релативистки скорости.

2.4 Генерация на интензивни свръхкъси рентгенови и γ импулси

Едно основно направление в лазерната физика е генерацията на електромагнитно лъчение в нови спектрални области, за които липсват директни лазерни или други източници. Чрез лазери и методите на нелинейната оптика, днес цялата видима област, близката и по-далечна инфрачервена област, както и ултравиолетовата и екстремната ултравиолетова области са покрити с кохерентно лъчение. Генерирането на ЕС разкрива възможност и за генерация на интензивно рентгеново и γ -лъчение с уникални свойства – под формата на свръхкъси импулси с контролируема енергия на квантите.

Методът за генерация на интензивно рентгеново и γ -лъчение е базирано на *обратно Комптоново разсейване*. При правото Комптоново разсейване, фотон, най-често рентгенов или γ -фотон, взаимодейства със слабо свързан нискоенергетичен електрон, като разсеяният фотон е с по-малка енергия за сметка на откатната енергия, която получава електрона. При обратното Комптоново разсейване, нискоенергетични фотони (енергия $\approx eV$) от лазерен импулс с висок интензитет се разсейват от интензивен сноп от високоенергетични (релативистки) електрони, като за сметка на енергията на електроните, енергията на разсеяните фотони нараства като се преобразува до рентгеновия или γ -диапазон, достигайки до около $20 MeV$. Процесът се нарича обратен, тъй като предаването на енергия е от електрона към фотона, за разлика от правия, където предаването на енергия е от фотона към електрона.

Снопът високоенергетични електрони може да се получи от стандартен ускорител или от описания по-горе плазмен ускорител PWFA с лазерно възбуждане на плазмени вълни. Във втория случай, цялата установка състояща се от плазмения ускорител за релативистки електрони и източника на интензивно рентгенови и γ -импулси на базата на обратно Комптоново разсейване може да се направи много компактна и да се побере върху една лабораторна маса, вписвайки се в т.н. принцип "*table-top*".

Получените интензивно рентгеново и γ -лъчение представляват много мощен инструмент в областта на *ядрената физика* за изследване на резонансни процеси като ядрената резонансна флуоресценция, измерване на времена на живот на ядрени резонансни нива, проследяване във времето на канали на релаксация на възбудени ядрени състояния, ядрена астрофизика и др.

2.5 Изследвания в областта на фундаменталната физика

Генерацията на ЕС разкрива огромни възможности за изследвания в редица области на фундаменталната физика. Някои от тях ще отбележим накратко.

Непертурбативна квантова електродинамика, КЕД

Резултатите на КЕД в пертурбативен режим се потвърждават с впечатляваща точност. Непертурбативната КЕД на свръхсилните полета, обаче, остава слабо изследвана. Отдавна е предсказано раждането на двойки електрон-позитрон от физическия вакуум в силно електрическо поле, наречено *поле на Швингер* E_s . То осигурява достатъчна електростатична енергия $eE_s \lambda_c = 2mc^2$ на една Комптонова дължина на вълната $\lambda_c = \hbar/mc$, така че виртуалните електрон-позитронни двойки да се превърнат в реални. Това е полето, над което КЕД се счита за нелинейна. Полето на Швингер е $E_s \approx 1,3 \cdot 10^{16} \text{ V/cm}$, което съответства на ефективен интензитет $I \approx 4,3 \cdot 10^{29} \text{ W/cm}^2$. Такова статично поле е немислимо да се създаде в обозримо бъдеще. Интензитетът във фокуса дори на най-мощните генерирани лазерни импулси е на шест порядъка под тази стойност. Нови резултати подсказват, че скоростта на раждане на електрон-позитронни двойки може да се увеличи до наблюдаеми стойности и при постигнатите интензитети ако се комбинира фокусирано лазерно поле в режим на стояща вълна и γ -лъчение. В това отношение, генерираните по метода на обратно Комптоново разсейване интензивни рентгенови и γ -импулси, разгледани по-горе, могат да изиграят решаваща роля за наблюдаване на Швингерови двойки. Друг аспект на непертурбативната КЕД е нееластичното фотон-фотонно разсейване чрез виртуални електрон-позитронни двойки. Свръхплътните потоци фотони на ЕС са идеалният инструмент за изследване на фотон-фотонното разсейване.

Изследване на поляризационните свойства на вакуума

Поляризацията на вакуума е свързана с раждането на кратко живеещи виртуални електрон-позитрон двойки, КЕД вакуум. Такава заредена двойка действа като електрически дипол. В отсъствие на реално поле, поради изотропността на пространството, ориентацията на такива диполи е случайна. Под въздействие на електромагнитни полета, тези виртуални двойки се ориентират, като частично противодействат на въздействащото поле - проявява диелектричен ефект. Подложен на свръхинтензивни лазерни полета, вакуумът променя коефициента си на пречупване до степен, позволяваща да се постави въпроса за неговото измерване. Реалната част на коефициента на пречупване е отговорна за двулъчепречупване на светлината, а имагинерна му част - за създаване на виртуални двойки. Изследването на двулъчепречупването под въздействие на интензивни светлинни полета представлява тестването на реакцията на вакуумната структурата в съвсем нова (полумакроскопична) пространствена скала от порядъка на дължината на светлинната вълна, за разлика от 10^{-15} - 10^{-16} m скала при удари на елементарни частици. Един реалистичен експеримент предвижда поляризация на вакуума под въздействие на фокусирани 10PW линейно поляризирани лазерни импулси и насрещен

пробен сноп от 1 GeV γ -фотони. По завъртането на равнината на поляризация на γ -фотоните могат да се определят двулъчепречупващите свойства на вакуума.

Лабораторна астрофизика

Генерирането на ЕС разкрива възможности за активно развитие на експерименталната астрофизика. Съвременните свръхмощни лазери предлагат екстремни условия, които могат да симулират тези в астрономическите обекти: релативистка плазма, съществувала в ранните космологични епохи и днес в околността на хоризонта на черните дупки, свръхсилни електрически, 10^{13} V/cm , и магнитни, $10^{10}-10^{12} \text{ Gauss}$, полета, налягания 10^{12} bar . Базирайки се на принципа за еквивалентност на Айнщайн, процесите в ускорително движещи се отправни системи са еквивалентни на тези в съответни гравитационни полета. Създадените ускорения на електрони в PWFA от над $10^{20} g$ съответстват на гравитационно ускорение на разстояние един радиус на Шварцшилд от черна дупка с маса милиони слънчеви маси. Апаратурата за подобни изследвания може да се постави върху една лабораторна маса - *table-top астрофизика*.

Търсене на тъмна материя и тъмна енергия

Една от най-големите загадки в съвременната физика представлява *тъмната материя* и *тъмната енергия*. В отличие от теоретичните методи, един от подходите се основава на систематично експериментално изследване на фотон-фотонно разсейване в различни енергетични скали. В скалата 100 GeV (по-точно 125 GeV), H^0 -бозонът се разпада по доминантен канал на 2 фотона; в скалата 100 MeV (по-точно 135 MeV), π^0 -мезонът се разпада по доминантен канал на 2 фотона. Може да се мисли, че те могат да бъдат възпроизведени обратно чрез фотон-фотонно разсейване в тези енергетични скали. Процесът може силно да нарасне, ако тези частици, в това число и кандидатите за тъмна материя, вместо (евентуално) родени от два фотона, бъдат търсени като междинни резонанси, засилващи четирифотонен процес от два входни фотона ("унищожавачи" се в резонансното състояние) и два изходни фотона ("раждащи" се от резонансното състояние). Очаква се четирифотонният процес, имащ кубична зависимост от броя на фотоните в импулс, да е много по-ефективен от удари между ускорени частици, тъй като броят фотони в импулс може на много порядъци да превишава броя ускорени от ускорител частици в групировка - около 10^{11} .

4. Заключение

Огромният напредък в генерацията на свръхинтензивни свръхкъси светлинни импулси промени радикално представата за възможностите на лазерното лъчение. Днес е трудно да се посочи област от физиката, в която лазерното лъчение не може да предложи възможности за прогрес на научните изследвания. *Най-интересното, обаче, вероятно тепърва предстои.*

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Strickland D., Mourou G., 1985, Opt. Commun., **56**, 219
- [2] The Nobel Prize in Physics 2018, Press release, NobelPrize.org.
- [3] ELI - Extreme Light Infrastructure, Whitebook, Eds., G. Mourou, G. Korn, W. Sandner and J. Collier.
- [4] ELI - Extreme Light Infrastructure Nuclear Physics, WHITEBOOK, Bucharest-Magurele, Romania, Eds., Chambaret J.-P. , Dabu R. , Ursescu D.
- [5] National Ignition Facility, LLNL, <https://lasers.llnl.gov/>
- [6] Mourou G *et al.*, 2012, Opt. Commun., **285**, 720–724.
- [7] Mourou G., Wheeler J., Tajima T., 2015, Europhysics News, **46**, No 5-6, 31–35

ЭНТРОПИЯ И ВСЕЛЕНА

Тодор Н. Арабаджиев

Катедра „Приложна физика“, ФПМИ, ТУ-София, бул. „Кл. Охридски“ 8, София 1000,
e-mail: tna@tu-sofia.bg

Резюме. Дефинирайки втория закон на термодинамиката чрез ентропията, рядко се замисляме за проекцията на този закон и разбирането за ентропията в космологията и еволюцията на вселената, гравитацията и черните дупки. В доклада в кратка форма е направен опит да се обясни идеята на Болцман за ентропията и от гледната точка на втория закон на термодинамиката да се свърже с Големия взрив, гравитацията и някои от моделите за еволюция на вселената.

Ключови думи: ентропия, втори закон на термодинамиката, космология.

1. Втори принцип на термодинамиката и ентропия

Изложението ще бъде базирано на следната формулировка на втория закон на термодинамиката [1]: *Пълната ентропия на произволна система заедно с нейното обкръжение в произволен естествен процес се увеличава т.е. $\Delta S > 0$ (с S обозначаваме ентропията).* Понятието ентропия е въведено за първи път от Клаузуис през 1865 г. За да изясним смисъла на величината ентропия в аспекта, който ни е нужен, ще използваме нейната статистическа интерпретация дадена от Болцман през 1877 г.

$$S = k \ln V, \quad (1)$$

където k константата на Болцман, а V е брой равновероятни микросъстояния, определящи вероятността за реализирането на дадено макросъстояние. Така според теорията на вероятностите е най-вероятно да се реализира състоянието, определяно от най-голям брой микросъстояния или с други думи състоянието с най-голяма ентропия.

Така можем да свържем втория принцип на термодинамиката с твърдението, че се реализират тези процеси, които са най-вероятни, а именно процесите с най-голяма ентропия [1]. За получим по пълна представа за това твърдение, да си представим че хвърляме едновременно 4 монети. Всяко микросъстояние на системата се

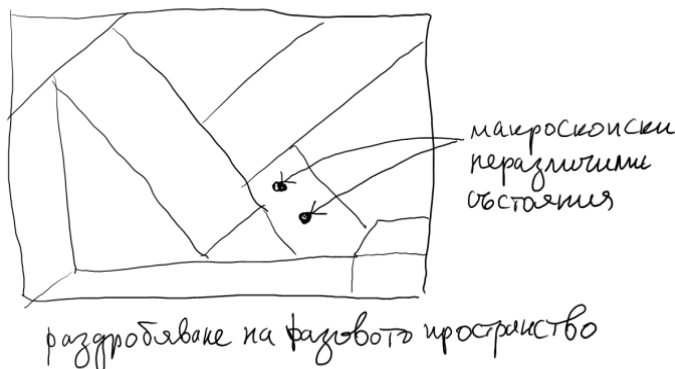
макросъст.	възможности	бр. микросъст.
4e	e e e e	1
3e 1t	eeet, eete, etee, teee	4
→ 2e 2t	ttee, eett, etet, teet, ette, tete	6
3t 1e		4
4t		1

Фиг. 1. Дадени са всички равновероятни микросъстояния, определящи всяко макросъстояние. Тук „e“ и „t“ означават „ези“ и „тура“.

определя от вариацията на „ези“ и „тура“ при падането всички монети. В резултат могат да се паднат следните комбинации [1]:

От табличката виждаме, че най-вероятното макросъстояние е определено от най-голям брой микросъстояния 6 от общо 16 за всички 5 възможни макросъстояния и вероятността то да се реализира е $6/16$ или 38%. Ако в подобен експеримент едновременно хвърлим 100 монети, тогава общия брой микросъстояния ще е 10^{30} , а общата вероятност за реализация на някое от 3-те най-вероятни макросъстояния ще е 90%.

По-нататък ще проектираме концепцията, предложена от Болцман, като използваме понятието за фазово пространство P с $6n$ измерения, представящо положенията и импулсите на n частици. Ще раздробим фазовото пространство P на подобласти, които ще наричаме кутии [2]. Във всяка кутия ще поставим отбелязани като точки всички неразличими едно от друго макросъстояния. Във формула (1) величината V по интуитивен начин ще свържем с големината (или обема) на кутията, т.е. на по-голяма кутия съответства по-голяма вероятност за реализация на макросъстояние или съответно на по-голяма кутия съответства по-голяма ентропия.



Фиг. 2. Раздробяване на фазовото пространство [2]

2. Стандартни космологични модели и ентропия

Ще разгледаме стандартните космологични модели на Фридман-Льоветър-Робертсън-Уокър (FLRW) за еволюцията на една пространствено хомогенна и изотропна вселена [2]. Изотропна вселена означава, че тя изглежда еднакво във всички направления в крупно-машабната си структура, а хомогенна означава че е еднаква и като свойства във всяка точка от пространството и времето. Според наличните данни FLRW моделите представляват добро приближение на структурата на наблюдаемата вселена. Според всички тези модели вселената се появява от сингулярност с безкрайна кривина на пространство-времето K след събитие наречено Голям взрив за достоверността на който имаме безспорни доказателства, свързани с откриването на микровълновото реликтов лъчение в гигахерцовия обхват - описвано като топлинно излъчване на абсолютно черно тяло с температура 2.7 K и смятано за „отблясък“ от Големия взрив.

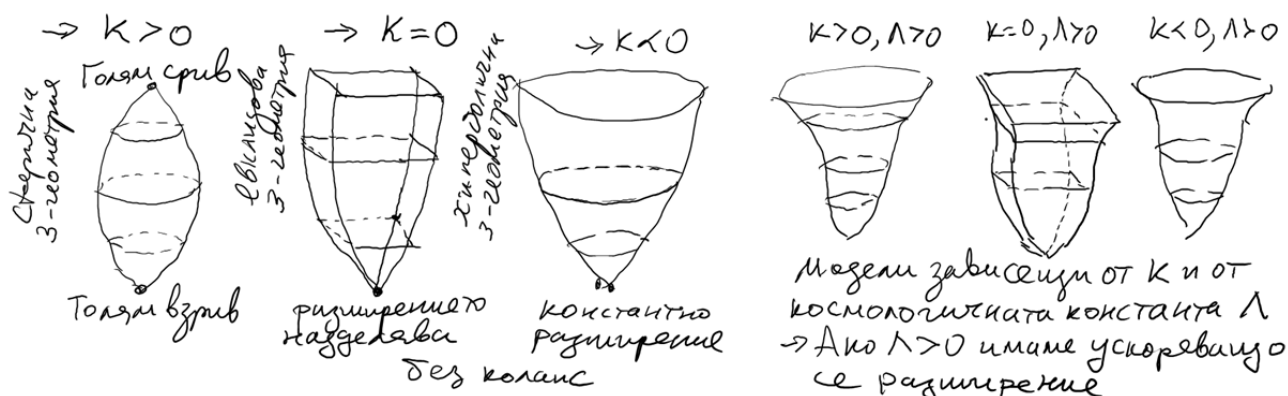
След Големия взрив Вселената бързо се разширява. Моделите на еволюцията след първоначалното разширение както и геометрията на пространство-времето зависят от това дали кривината на пространство-времето е положителна т.е. $K > 0$, нулева $K = 0$ или отрицателна $K < 0$. Ако кривината е

положителна, геометрията е сферична, а разширението преминава в свиване докато Вселената се срина в сингулярност - т.нар. Голям свив – огледален образ на Големия взрив. Ако кривината е нула, геометрията е евклидова (плоска вселена), разширението надделява и не се стига до колапс. Ако кривината е отрицателна, геометрията е хиперболична и разширението е с постоянна скорост. Влиянието на кривината K можем да си представим и чрез следната аналогия. Ако хвърлим камък вертикално нагоре, но скоростта на избягване не е достатъчно голяма ($K > 0$), камъкът се връща. Ако скоростта на камъка е равна на скоростта на избягване ($K = 0$), камъкът не пада. Ако скоростта му е по-голяма от скоростта на избягване ($K < 0$), той ще продължи да се отдалечава вечно, достигайки някаква константна скорост. Естествено в тези възможни сценарии е намесена масата и енергията на Вселената – определящи кривината.

Дотук представените модели, обаче, не отчитат т.нар. космологична константа Λ , предложена от Айнщайн през 1917 г. Ако тази константа бъде отчетена в Айнщайновото уравнение на полето като достатъчно голяма положителна величина, то всички модели в гореспоменатите случаи на кривината K водят до сценарии на експоненциално разширяваща се Вселена [2].

Въпросът, който стои, е положителна ли е все пак космологичната константа и кой от представените модели е най-достоверен. Той е тясно свързан с установената маса и енергия на Вселената. Тук е мястото и на въпроса за масата на тъмната материя. В тази връзка досега натрупаните космологични данни сочат, че е много вероятно космологичната константа да е положителна и при това достатъчно голяма. През 1998 г. екипи изследователи от Австралия и САЩ при наблюдение на отдалечени свръхнови стигат до заключението, че разширението на Вселената се ускорява експоненциално [3].

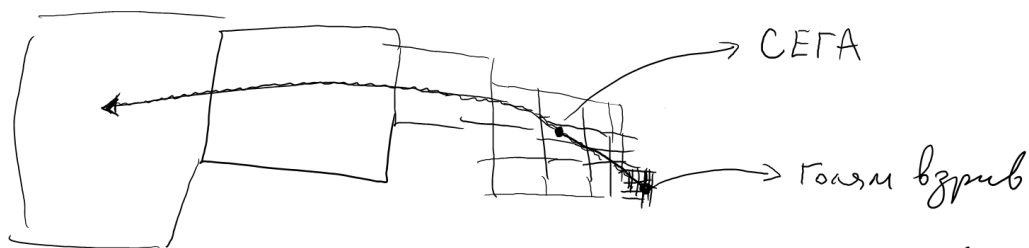
Нека сега се върнем в началото на изложението и да свържем космологичните сценарии с втория закон на термодинамиката и ентропията, започвайки с ролята на Големия взрив като точка с минимална ентропия. На фигурата по-долу е дадена стрелката на времето с начало близо до момента на Големия взрив. В таблицата е представена оценка на ентропията в три момента от време, а именно: близо до Големия взрив, Сега, и малко преди Големия свив. В последния случай подобна стойност на ентропията се получава и в моделите с положителна космологична константа на разширяваща се Вселена [2].



Фиг. 3 Сценарии за еволюция на Вселената според FLRW моделите [2].

Данните в таблицата са представени в т.нар. планкови единици.

Ролята на Големия взрив



→ Използвайки разумни оценки на обема на "кутията" във фазовото пр-во:

	След Големия взрив	Сега:	Ентропия през Големия сив
Ентропия	10^{88}	10^{101}	10^{123}

→ използвани са т.нар. планкови единици и $G=c=\hbar=k=1$

Фиг. 4 Стрелката на времето се движи от най-малката към все по-голяма кутия, т.е. във фазовото пространство ентропията нараства [2].

В табличката [2] е представена оценка на ентропията на Вселената скоро след Големия взрив, в момента Сега, и преди момента на Големия сив.

На стрелката на времето виждаме, че ентропията нараства от точката с най-ниска ентропия скоро след Големия взрив към момента Сега – извод, базиран на реалистична оценка на ентропията, направена въз основата на оценка за общия брой бариони в момента Сега. Въпросът, който изниква, е защо Вселената, съдържаща определено количество бариони, има различна ентропия след Големия взрив, Сега и преди Големия сив. На пръв поглед стрелката на времето минава към все по-големи кутии и вторият закон на термодинамиката се изпълнява безотказно. Хомогенната и изотропна Вселена се разширява, увеличавайки ентропията си, така както дадено количество газ в състояние на термодинамично равновесие при всяко свое разширение увеличава ентропията си. Обратното движение, т.е. намаляване на ентропията, представлява нещо като връщане във времето, за което съществува нищожна вероятност. Дотук бихме могли да кажем, че изпълнението на вторият закон на термодинамиката напълно доказва модела на разширяващата се вселената, но се оказва, че този анализ има един проблем. Да се запитае какво се случва в модела на Големия сив, разглеждан във времето като огледален образ на Големия взрив. Когато Вселената започне да колабира и да намалява обема си ентропията намалява ли и какво се случва с втория закон на термодинамиката? За да си изясним този въпрос, нека да първо да погледнем фиг. 5, в която са представени два сценария за нарастване на ентропията. Първият е при равновесно разширение на газ, хомогенно изпълващ даден обем, а вторият при гравитационен колапс. Кое е различното в тези сценарии? В първия гравитационните взаимодействия и свързаните с тях степени на свобода са пренебрежимо малки, докато във втория те са доминиращи. Оказва се, че гравитационните степени на свобода, дължащи

се на силите на гравитационно привличане, осигуряват огромен резервоар от ентропия, който не може да се пренебрегне във втория сценарий, а черните дупки се оказват обектите с максимална ентропия във Вселената. Тук е и обяснението на парадокса защо ентропията на Вселената скоро след Големия взрив когато гравитационните взаимодействия и степени на свобода все още не са били доминиращи е по-малка от момента преди Големия срыв.

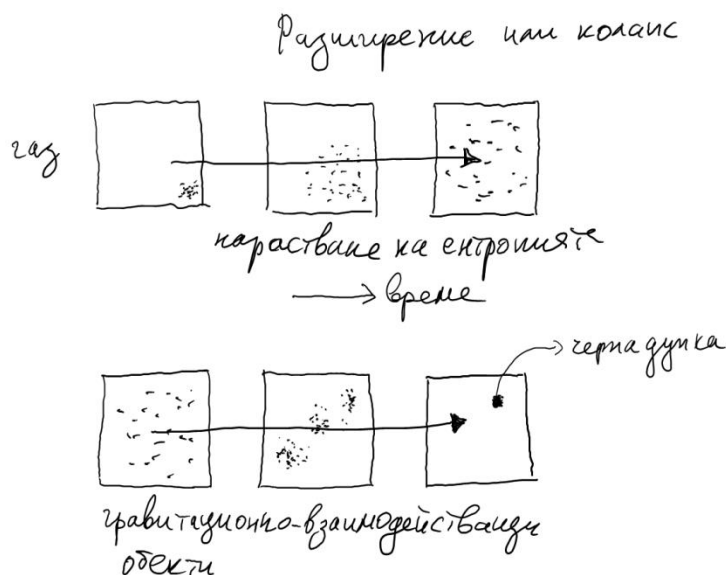
Да видим какво е известно за ентропията на черните дупки, тъй като според сценария за Големия срыв ще имаме една гигантска черна дупка, която в крайна сметка ще погълне цялата наблюдаема вселена, а в табличката пресметнахме ентропията точно според този сценарий. Оказва се, че и в моделите FLRW с експоненциално разширение ще имаме подобни стойности на ентропията [2]. Как пресметнахме тази ентропия?

Като начало да припомним, че черна дупка наричаме област от време-пространството, появила в резултат на колапс на свръхмасивна звезда, с безкрайна кривина на време-пространството, т.е. област в която гравитацията е толкова силна, че дори светлината не може да избяга. Повърхността около колабиращата звезда, при която скоростта на избягване става равна на скоростта на светлината, наричаме хоризонт на събитията [2, 4].

Максималната възможна ентропия на Вселената, а именно ентропията преди Големия срыв, е пресметната в съгласие със забележителната формула за ентропия черна дупка на Бекенщайн и Хокинг [2],

$$S_{BH} = \frac{kc^3 A}{4G\hbar},$$

където k е константата на Болцман, c – скоростта на светлината, A е площта на хоризонта на събитията. В тази формула за пръв път можем да отбележим едновременното участие на класическата гравитационна константа G от закона на Нютон за всемирното притегляне и константата на Планк $\hbar$, която обикновено участва в уравненията на квантовата механика. Другият интересен факт в тази формула е, че ентропията е пропорционална на хоризонта на събитията.



Фиг. 5 Ентропия на разширяващ се газ и черна дупка. Виждаме два сценария за увеличаване на ентропията: разширение на газ и гравитационен колапс [2].

3. Заключение

Разгледана е статистическата интерпретация на Болцман за ентропията. Представени са стандартните FLRW модели за еволюцията на Вселената и е направен опит те да бъдат анализирани от гледна точка на втория принцип на термодинамиката. Представени са някои оценки за ентропията на Вселената като е обърнато по-специално внимание на ентропията на черните дупки. Подчертана е ролята на гравитацията като резервоар на ентропия.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Douglas Giancoli, General Physics, vol. 1, Prentice-Hall, 1984
- [2] Роджър Пенроуз, Пътят към реалността, Изток-Запад, 2017
- [3] Perlmutter, S et al, Cosmology from type Ia Supernovae, Bull. Am. Astron. Soc, 29, 1998, [astro-ph/9812473]
- [4] Чарлз Мизнер, Кип Торн, Дж. Уилер, Гравитация, Мир, Москва, 1977

ТЪМНА ЕНЕРГИЯ И ЕВОЛЮЦИЯ НА ВСЕЛЕНАТА

Людмила Филипова

Научно-популярен писател и магистър астроном към ФзФ на СУ

e-mail: filipoval@yahoo.com

Резюме. Цели 95,5% от Вселената ни представлява т.н. „тъмна вселена“, съставена от 26,5% тъмна материя и 69% тъмна енергия. Едва 4,5% е т.нар. барионно вещество (видимата материя, от която сме съставени ние и видимата част от галактиките). Ще разгледам хипотези и теории за физиката на „тъмната част“ от Вселената, съотношението на макро компонентите ѝ, и как влияят на еволюцията на Вселената. Както кой и защо вероятно ще спечели „сърезнованието“ между гравитационната и антигравитационната сили в Космоса. Едва от 20 години учените опитват да обяснят една от най-новите концепции в астрофизиката, а именно тъмната енергия. Какво е тъмна енергия, кога и как се е появила и връзката ѝ със скаларните физични полета.

Ключови думи: тъмна енергия, тъмна материя; антиматерия; барионно вещество; скаларни полета; еволюция на Вселената; закон на Хабъл; червено отместване; свръхнови 1a.

1. Увод

Едно от изненадващите открития в астрономията от края на 20 век, е че Вселената не само не забавя разширението си, но даже увеличава размерите си все по-ускорено. А само до преди двайсетина години се предполагаше, че ако Вселената се разширява, то този процес трябва да се случва все по-бавно, заради гравитационното привличане между веществото. Тази тайнствена движеща сила днес е известна като *тъмна енергия (TE)* и е колкото важна, толкова и ново понятие в астрофизиката. Днес учените се опитват да обяснят мистериозно ѝ влияние в Космоса, което се изразява в ускорено „раздуване“ на пространство-времето. И то се случва по-бързо, отколкото гравитацията може да противодейства. Идеята за тъмната енергия се потвърждава през 1998г., когато астрономи установяват, че по-далечните от наблюдаваните свръхнови тип Ia са по-тъмни от очакваното и Вселената реално се разширява ускоряващо.

2. Състав

През 2003г. в астрофизиката се приема твърдението за съществуването на така наречените тъмна материя/вещество и тъмна енергия (TE). Чрез математически методи на теоретичната астрофизика са пресметнати процентите, с които те участват в общата маса на нашата Вселена. Оказа се, че тъмната материя (ТМ) и TE определят структурата на галактиките,

взаимодействията между тях и влияят съществено на тяхната съдба. ТМ, заедно с черните дупки и огромните междузвездни облаци от газ и прах, има гравитационно влияние върху материя, пространство и време; докато ТЕ – има антигравитационно.



Фиг. 1. Различните компоненти, допринасящи към съдържанието на Вселената. Източник: адаптирана от <https://spaceplace.nasa.gov/dark-matter/en/>

За днешната Вселена астрофизиците предлагат схема, която включва:

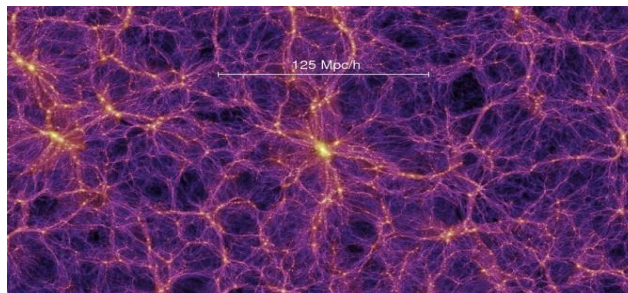
- Барионното (обикновено) вещество или материя, изпълва едва около 4-5% от Вселената;

- Тъмното вещество (материя) (наричано по-долу ТМ) е около 26% плътността ѝ. То е каквото е необходимо, за да съществува Вселената и да се движат компонентите ѝ по начина, по който я/ги наблюдаваме. Тя обикновено се обяснява с нови частици WIMPs (Слабо взаимодействащи масивни частици); или с аксиони и обикновени и тежки неутрина; или с MACHOs (масивни космически обекти, които не излъчват светлина). Това е материя, която не можем да наблюдаваме със съвременните ни методи (доколкото е ясно, тя не излъчва и не отразява достатъчно електромагнитни вълни) и е с неизвестен състав. Можем да съдим за нея чрез методи за индиректно засичане, основаващо се на гравитационните ѝ въздействия върху видимата материя и светлината. Иначе казано, във Вселената има нещо, което не се вижда с нашите телескопи, но е с много голяма маса. Именно ТМ е тази така наречена "липсваща маса". Според Стандартния модел на космологията, ТМ е значителна част от масата на наблюдаемия Космос - до 90% от масата на галактиките. Наблюдаемите явления, потвърждаващи наличието ѝ, са: скоростите на собственото въртене на галактиките; орбиталните скорости на галактиките в куповете от галактики; гравитационните лещи от галактически купове; температурното разпределение на горещия газ в галактиките и куповете. Те всички говорят, че галактиките, куповете от галактики, а и цялата Вселена съдържат много повече материя от непосредствено наблюдаваната. ТМ играе съществена роля в структурирането на Вселената и формирането на вещество в нея след Големия взрив (формирането на галактики например не би било възможно без натрупвания на масивни хала от ТМ, която в последствие да привлича и натрупва гравитационно барионно вещество). Също така, тя влияе и

върху анизотропията на Реликтовото микровълново излъчване. Съществуването на ТМ решава и много проблеми в теорията за Големия взрив. Много от информацията за ТМ се получава от изучаването на движенията на галактиките, а също така и на звездите в тях. Тези мащабни обекти изглеждат с еднородно разпределение на масата, което ни дава право да използваме някои теореми от механиката като например вириалната теорема. Тя гласи, че кинетичната енергия на купа трябва да е равна на половината от потенциалната енергия на взаимодействие на галактиките. Откривателят на ТМ, швейцарският астроном Фриц Цвики, е роден в България.

В ненаучните среди **ТМ** се бърка с някои други понятия и поради тази причина ще ги отбележа. Например, с **ТЕ**, която следва да разгледаме. Също и с **антиматерията**, която обаче е част от Стандартния модел на елементарните частици и барионното вещество (докато ТМ е небарионно вещество). Всяка частица има своя античастица – със същата маса, но с обратен заряд. Антиматерията е материя, съставена от античастици: антикварки, антилептоли, електроните имат антиматериален аналог наречен позитрон (всъщност електронът е античастицата), антипротони, антинеутрони, и т.н. Ако частица и античастица влязат в контакт, те се анихилират, генерирайки мощна енергия. Антиматерията е многократно създавана в ЦЕРН. Освен споменатите категории има и така наречената **екзотична материя**, от която е част и **материята с отрицателна маса** (причина например за хипотетичните червейните дупки). Както и недоказаните още частици **таххионите**, които на теория трябва да са по-бързи от скоростта на светлината.

- Допълнителните 69-70% трябва да бъдат съставени от енергиен компонент с голямо отрицателно налягане. Именно това е въпросната тъмна енергия (наричана по-долу ТЕ). Природата ѝ остава една от най-големите загадки на Вселената ни засега.



Фиг. 2. Как изглежда едромасщабната структура на веществото във Вселената. Разпределение на тъмната материя, получено от компютърни симулации. Източник:

<http://www.extremetech.com/extreme/212601-what-is-dark-matter>

Излиза, че 96% от Вселената е *тъмна*. ТМ е най-вече виновна за гравитационните сили във време-пространството (както и за образуване на галактики в халата от концентрация на ТМ; за задържане на структурите на галактиките и движението на материя в тях). А ТЕ е виновна за

антигравитационните сили във Вселената, които ние най-вече отчитаме като разбягване на галактиките една от друга, заради ускорено разширяващото се пространството. Днес плътността на барионното вещество и фотони във Вселената се оценява като еквивалентна на 1 водороден атом на кубически метър пространство.

3. Тъмна енергия.

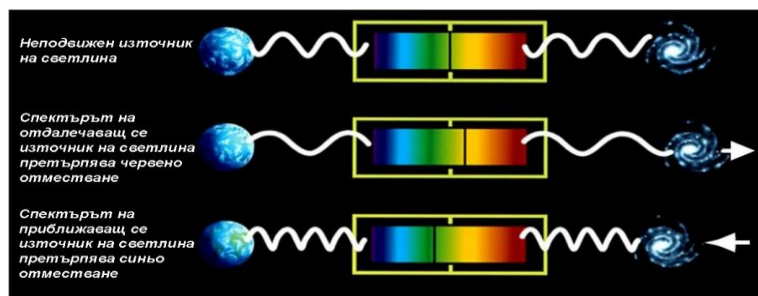
От години учените се опитват да обяснят мистериозното ѝ влияние, което разширява пространство-времето по-бързо, отколкото гравитацията (за която работи ТМ, галактиките и черните дупки) може да го събере. ТЕ е предполагаем вид енергия, чрез която се обясняват неочакваните резултати от наблюдения на свръхнови тип Ia, които свидетелстват за ускорено „разбягване” на обектите в Космоса. Един от първите учени, които предлагат нов член в уравнението, описващо еволюцията на Вселената, е Алберт Айнщайн. Той добавя т. нар. *космологична константа*. Въвеждането на тази константата дава възможност решението на Айнщайновите уравнения да е независимо от времето, но резултатът описва състояние на неустойчиво равновесие (а той е твърдял, че Вселената е статична). Въпреки това, предположението на Айнщайн за статичността на Вселената се е приемало за смислено до откритието през 1929г. на Едуин Хабъл, че Вселената се разширява. Дълго време след това разширението се приемало за естествено, дори очаквано. Считало се е, че скоростта на раздалечаване на обектите във Вселената намалява с течение на времето и напълно се е описвало с уравненията на Айнщайн без нуждата от друга константа. И така до 1998г., когато екип на проекта „High-Z Supernova Search Team“ публикува данни от наблюденията на свръхнови тип Ia. С тях идеята за Айнщайновата космологична константа възкръсна от пепелта и се превърна в ключов фактор за съвременното ни разбиране за Вселената.

3.1. Доказателствата. За ТЕ доказателствата са индиректни и идват от три различни източника: измервания на космически разстояния и връзката им с червеното отместване; теоретичната нужда от вид допълнително съдържимо, което да не е нито барионно, нито тъмно вещество и да обясни наблюдаемата плоска вселена; крупномасштабната структура и плътност на масата във Вселената. Но може би ключовата роля изиграва изследването на един специфичен тип обекти – свръхновите от *тип Ia*. И по-конкретно на червеното им отместване.

3.2. Червено отместване. Разширението на Вселената се описва от уравнение, известно като „закон на Хабъл“ (вече Закон на Хабъл-Люметър). Съгласно него наблюдаемата скорост V , с която една галактика се отдалечава от наблюдателя, зависи от отдалечеността ѝ D . Връзката между скоростта на отдалечаване и разстоянието е линейна и коефициентът на пропорционалност е

известен като Хабълова константа **H**. Законът се изразява със следната формулата: $v = H \times d$ и ни показва, че галактики, които са на два пъти по-голямо разстояние от нас, се отдалечават два пъти по-бързо. Тези пък, които са три пъти по-далеч, се движат три пъти по-бързо и т.н. Хабъл публикува закона си през 1929г. и той придобива голяма популярност и се приема като революционен. Истината е, че две години по-рано, през 1927г., белгийският професор Жорж Люметър вече е описал същия закон, но за съжаление на белгийски език и трудът му остава почти непознат.

Хабъл достига до закона си след като изследва спектрите на редица галактики. Методът, който използва, се нарича спектроскопия. Тя се базира на факта, че светлината от дадена галактика съдържа лъчи с различна дължина на вълна. На техния фон се появяват и изпъкващи ивици, наречени емисионни линии. Светлина с такава дължина се отделя от газовете, съдържащи се в различни космически обекти при прескачането на електрони в различни енергийни нива. Когато Хабъл получил емисионните линии от много галактики и ги сравнил с тяхното очаквано местонахождение, останал учуден от факта, че се получавали разминавания. Спектрите почти винаги били изместени червената област на спектъра, където са вълните с по-голяма дължина. Хабъл интерпретирал това явление като Доплеров ефект. Всички ние познаваме този ефект, но най-често го асоциираме със звук на приближаващ се и отдалечаващ се обект. В астрономията той важи за светлината. Светлината от приближаващите се към нас източници я наблюдаваме с по-малка дължина на вълната (т.е. в синята област), а от онези, които се отдалечават, я наблюдаваме с по-голяма дължина (т.е. в червената област на спектъра). И именно благодарение на този ефект, а също и на множеството наблюдателни данни, Хабъл не само успял да анализира, че почти всички галактики се отдалечават от нас, но и че го правят все по-бързо на по-големи разстояния.



Фиг. 3. *Отместване на наблюдаемата дължина на вълната при движението на източника*

3.3. Свръхновите Ia. Това са обекти, особено подходящи при измервания на космически разстояния, защото те са хомогенни по природа, наричани още „стандартни свещи“. Позволяват ни да наблюдаваме историята на разширение на Вселената благодарение на взаимовръзката между разстояние до обекта и червеното му отместване. Или с други думи – между разстояние и скорост на отдалечаване от нас. Това е възможно, защото светимостта на тези обекти е

еднаква в максимума им на блясък. А този блясък е причинен от взрив - толкова мощен, че може да се достигне блясъкът на цяла галактика. Избухването им може да трае до 2 седмици. Какво са всъщност тези свръхнови? Те са резултат от натрупването на вещество върху повърхността на бяло джудже в двойна звездна система - най-често от червен гигант и бяло джудже. Гравитацията и плътността на джуджето привличат материал от червения гигант до достигането на точно определена граница на маса, наречена граница на Чандрасекар. След това се случва зрелищна експлозия, способна да съперничи на излъчването от цяла галактика. Това дава възможност да наблюдаваме катаклизмичното събитие, което се е случило дори много надалеч във времето. Сравнявайки блясъка на свръхновите от тип Ia и техните червени отмествания, през 1998 и 1999г. екипите на проектите „High-Z Supernova Search Team“ и „Космология свръхнова“ достигат до изненадващия извод, че разширението на Вселената е ускорително – т.е. че Вселената днес се раздува с по-голяма скорост отколкото преди 5 милиарда години. През 2011г. Нобеловата награда по физика била дадена на Сал Перлмутер, Браян Шмит и Адам Рис за техния научен принос за проблематиката. Оттогава насам всички наблюдения потвърждават ускоряващото се разширение на Вселената като: измервания на микровълновото космическо лъчение, гравитационните лещи, крупномасщабната структура и новите данни от свръхнови тип Ia.

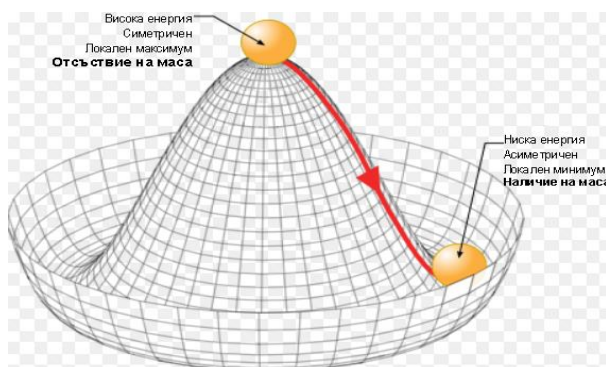
3.4. Същност на тъмната енергия: Плътността на ТЕ ($\sim 7 \times 10^{-30} \text{ g/cm}^3$) е много ниска - много по-малка от плътността на барионното или тъмното вещество в галактиките. Въпреки това, тя доминира съдържанието във Вселената в този момент, защото я изпълва. Възможно е тъмната енергия да е



Фиг. 4. Визуализация на еволюцията на Вселената и доминацията на тъмна енергия през последните 5 милиарда години. Базирана на илюстрация от discovermagazine.com

резултат от поведението на виртуални частици, които се създават непрестанно във вакуума по двойки (частица и нейната анти-частица) и впоследствие анихилират, генерирайки голяма енергия. Тези виртуални частици са породени от флуктуации на вакуума във Вселената. Вакуумното пространство има удивителни свойства, част от които едва започваме да разбираме. Например, че е възможна появата на повече пространство. С въвеждането на „космологичната константа“ вакуумът придобива още едно ново свойство – оказва се, че празното пространство може да притежава своя собствена енергия. Тъй като тази енергия е свойство на самото пространство, то тя не се разрежда с неговото разширение. С появата на повече ново пространство, повече от тази енергия на пространството ще се появява. Като резултат това ще кара Вселената да се разширява все по-бързо и по-бързо.

3.4.1. А може би ни трябва още един феномен – така наречените **скаларни полета**. С тях във физиката се описват частици, които нямат спин – един вид предварително зададена предпочитана посока. **За да разберем еволюцията на Вселената до момента се оказва, че са ни необходими поне 3 скаларни полета, а именно Хигс, Инфлатон и Тъмно** (въведено тук от автора). Впечатляващо е, че първото фундаментално скаларно поле е било експериментално открито едва през 2012г. Днес е наречено Хигс поле с частица преносител Хигс бозон. Неговата роля е да поражда маса на преносителите на слабото взаимодействие, а също така и на познатите ни частици, изграждащи света около нас (в това число на електрона, мюона, кварките и т.н.). Това се постига чрез специфичен вид на потенциалната му енергия, която има формата на мексиканска шапка, показана на фиг. 5.



Фиг. 5. Форма на потенциала на Хигс полето. Базирана на източник от: astronomicamens.wordpress.com

За да навлезем още по-дълбоко в обяснението на ТЕ, тук ще ни е необходимо да въведем още един термин, а именно **Инфлацията**. Ускоряващото се разширение, което наблюдаваме днес, може да се окаже, че не е изолиран случай в еволюцията на Вселената. Подобен сценарий като че ли се е случил още в зората на нейното съществуване. Това е така нареченият *Инфлационен период* или период на експоненциално разширение на Вселената. Инфлацията като понятие за Ранната вселена била първо предложена от учения

Алън Гут през 1979г. Станало ясно и че такова разширение би решило някои наболели проблеми. Например, че за да изглежда Вселената така, както я виждаме днес, то тя е трябвало да започне в точно определени условия по време на Големия взрив. Предполага се, че процесът на разширение се е захванал от енергия, запасена във физично поле, което е хомогенно и скаларно (т.е. поле независимо от точката в пространството). То би генерирало отрицателно налягане в ранната Вселена водещо до експлозивно разширение на Вселената. А субатомната частица, свързана с него, е наречена *инфлатон*. Инфлацията обяснява как всички регионални космически особености, които наблюдаваме днес, идват от една ранна ера на Вселената с голяма вакуумна енергия или космологична константа. И как пространството може да се разширява експоненциално заради допусканото скаларно поле. Разширението продължава дотогава, докато плътността на енергията в обема на Вселената остава по-голяма от масата на скаларното поле, след което то се разпада до по-леки частици. Инфлацията днес е основната теоретична рамка, която едновременно обяснява ранната Вселена и днешните наблюдателни данни. За трийсет години съществуване тя оцелява до ден днешен и я подкрепят данните от все по-добрите нови наблюдателни методи и измервания.

Инфлацията е трябвало да спре в ранната Вселена (до 10^{-36} s след Големия взрив), за да отстъпи място на космологична фаза, доминирана от радиация, а после и от материя. Микровълновото фоново лъчение (СМВ), макар и да не е свързано пряко с инфлационния период, ни носи важна информация за разпределението на веществото и неговите характеристики в момента, в който то започва свободното си разпространение. От него научаваме, че относителните разлики в температурите на сравнително отдалечени една от друга области, които не са били в причинно-следствена връзка в момента на отделянето на СМВ, са много сходни. Това може да бъде постигнато само ако тези области са произлезли от близки (и в причинно-следствена връзка) области преди инфлацията, които са се раздалечили при настъпването ѝ.

3.5. Тъмно поле. Аналогично на инфлационния модел, можем да предположим, че и съвременното ускоряващо се разширение на Вселената се дължи на съществуването на скаларно поле, което тук наричаме *тъмно*. То следва да е с много малка маса, така че да съществува при съвременната плътност на енергията във Вселената. Отново, както и инфлатонът, то трябва да е хомогенно разпределено в пространството и да не се изменя с времето. Тъмното поле също така може и да не е единственото, което да отговаря за разширението на Вселената днес, а да е просто един представител на цяло семейство от скаларни полета, създаващи отрицателното налягане в различните етапи от нейното развитие. Нито инфлатонът, обаче, нито тъмното поле са наблюдавани все още и тяхното съществуване е обект на съвременните изследвания, като само науката ще покаже дали те имат място в бъдещата космология.

Има няколко възможности за произхода на енергията за разширение на Вселената. Едната се изразява в това, че докато тъмното поле се разпада на други квантови частици, то следва да отдава енергията си във формата на разширяване на пространство-времето, както и в раждането на други нови частици, така както при инфлатона. Друг вариант е, енергията на полето да се запазва от вакуумно поле, генерирано от външен за Вселената и/или за наблюдаваната система източник. Такъв би могъл да е т. нар. „фалшив вакуум“, в който вероятно се намираме и ние в момента. Има не малко теории, предполагащи наличието на по-високо енергиен локален минимум - фалшив вакуум и по-ниско енергиен - истински вакуум. Фалшивият, обаче, заради по-високата си енергийна плътност е далеч по-нестабилен. Дори при минимални флуктуации в него може да се получават преходи и да се появяват области в пространството, където тъмното поле е с по-малка плътност на енергията. От тях може да се зараждат „мехури“ на нови вселени с по-ниско енергиен вакуум. При такъв сценарий енергията от фалшивия високо енергиен вакуум ще се „изсипва“ ускорено в мехурите с по-ниска енергийна плътност и ще ги раздува инфлационно. Един такъв балон би могъл да е и мехурът на нашата Вселена, част дори и от мултивселенна система. Ако това е така, то тогава избягваме неудобството от обяснението на естеството на Големият взрив и сингулярността преди него, а също и откъде се е взела енергията на инфлатона, и на тъмното поле, ако системата на Вселената ни е затворена.

Така че, тъмното и инфлационното полета може би повече си приличат, като основната разлика е в скоростта и мащабите, с които двете разширяват пространството. Възможно е, енергията на тъмното поле да се зарежда и от квантови реакции, генерирани от новосъздаващи се тъмни и барионни частици по аналогия на инфлатона. Можем да споменем също, че ако ТЕ се зарежда от непрекъснато раждащи се и анихилиращи се частици в пространството, то има предположения, че част от тях водят до образуване на следващи нови частици, които оцеляват и се превръщат в материя. На тази идея се базира и едно от обясненията защо след първоначалната аниhilация в ранната Вселена, материята надделява над антиматерията (макар да са били равни части). Ако това е така, то би означавало, че и инфлационното поле, и „тъмното“ генерират нови барионни и тъмни частици, които играят роля за масата и гравитацията. Според наблюдателните данни и казаното дотук, бихме могли да търсим обяснение и израз на тъмното поле, чрез физиката и еволюцията на описаното по-горе инфлационно поле. Те твърде си приличат по параметри и резултати, като основната разлика е скоростта, с която двете губят кинетична енергия и съответно мащабите на пространството, което разширяват – инфлатона в първите секунди на Вселената, а ТЕ е с доминация отпреди 5 милиарда години. Но това съвсем логично се обяснява с обема и плътността, с които двете се случват.

4. Еволюция на Вселената, бъдеще и тъмна енергия.

В различните еволюционни етапи на Вселената, различни са и доминиращите сили. Комбинацията от тях води до поведението на разширение на Вселената, което е показано на фиг. 4. В началото ѝ наблюдаваме т. нар. инфлационно разширение под действието на инфлационното поле. След изчерпването на енергията му започва почти постоянно неускорено разширение на Вселената. И така до преди 5 милиарда години, когато плътността на веществото достатъчно е намаляла, за да надделее силата на ТЕ. Съответно, с последвалия спад в плътността на веществото разширението започнало да се ускорява. Тук трябва да отбележим, че погрешно се говори понякога, че ТЕ се е появила преди 5 милиарда години. Полето, което я хранва, би следвало да съществува от началото на Вселената, но не е доминирало спрямо веществото. В титаничната битка между гравитация и анти-гравитация, първата и материята започват да губят. Но докога?

Според много астрофизици „разбягването“, заради ТЕ на галактиките една от друга, в един момент ще достигне скоростта на светлината и всички галактики около нас, ще преминат космологичния хоризонт на събитията, след който до нас няма да достига никакво електромагнитно излъчване. А до момента, в който това се случи, светлината, която достига до нас от все още видимите обекти, ще има все по-голямо червено отместване. Земята и Млечният път ще се задържат в локалната група от галактики, с които са гравитационно свързани. Ще останат необезпокоявани от външни обекти, но също така ще изгубят и всякакви допълнителни източници на енергия, докато всички звезди и черни дупки в тези галактики изчерпат енергийните си ресурси.



Фиг. 6. Сценарии за еволюция на Вселената.

Този сценарий е известен като „Голямото разбягване“. По аналогичен начин на инфлационното поле обаче може да очакваме, че енергията и на тъмното поле също ще се изчерпи в един момент. Ако това наистина се случи, то ще доведе до нов период на забавяне. Тогава разширението на Вселената може както след инфлацията, да се забави и даже може да спре. От този сценарий следва, че разширението може и да не е вечно, а да бъде последвано дори от период на

свиване. Този сценарий е известен като „Голямото свиване“. Последният сценарий е свързан с възможната цикличност в еволюцията на Вселената. След като енергията на тъмното поле се изчерпи, Вселената вероятно ще започне да се свива. Но не просто да се свива, а в един момент може да достигне първоначалните си размери и отново да настъпи Голям взрив. И така отново, и отново.

5. Заключение

Изучаването на ТЕ е важно. Както се вижда еволюцията на Вселената е пряко свързана с ефектите от действието на тази все още непозната сила. Но изследването ѝ ще ни позволи по-достоверно да можем да предскажем как ще се развие Вселената и по кой от всички сценарии, показани на фиг. 7 ще поеме. За да научим повече и за нашия път. Ще можем също така по-добре да разберем и защо време-пространството изглежда по начина, по който ние го „виждаме“ днес.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Brian. Koberlein, <https://briankoberlein.com/2014/10/24/missed-connections/ancient-astronomy/>;
- [2] B.P. Abbott et al. (LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration), Phys. Rev. Lett. 116, 061102.;
- [3] P. J. E. Peebles and B. Ratra, “The Cosmological constant and dark energy,” Rev. Mod. Phys. 75, 559 (2003) doi:10.1103/RevModPhys.75.559 [astro-ph/0207347].;
- [4] D. N. Spergel et al. [WMAP Collaboration], Astrophys. J. Suppl. 170 (2007) 377 doi:10.1086/513700;
- [5] A. G. Riess et al. [Supernova Search Team], Astron. J. 116, 1009 (1998) doi:10.1086/300499 [astro-ph/9805201];
- [6] C. Blake et al., Mon. Not. R. Astron. Soc. 395, 240–254 (2009);
- [7] C. L. Bennett et al., APJ Supplement 0049/208/2/20Series, 208:20 (2013) doi:10.1088/0067- ;
- [8] David Langlois, “Dark energy and Dark Matter”, NASA (<https://science.nasa.gov/astrophysics/focus-areas/what-is-dark-energy> 467. “Lectures on inflation and cosmological perturbations”;
- [9] S. Tsujikawa, “Introductory review of cosmic inflation,” hep-ph/0304257;
- [10] Питър Коулс, „Космология“ (2001), ISBN 9547397214;
- [11] A. H. Guth, The Inflationary Universe: A Possible Solution to the Horizon and Flatness Problems, Phys. Rev. D23 , 347 (1981);
- [12] A. Linde, Chaotic inflation, Phys. Lett. 129B , 177 (1983);
- [13] G. Aad et al. [ATLAS Collaboration] Phys. Lett. B 716 2012 1; S. Chatrchyan et al. [CMS Collaboration] Phys. Lett. B 716 2012 30.

„ЗДРАВЕЙТЕ, ПРОФЕСОРЕ, ТУК Е СТОКХОЛМ. ТОКУ-ЩО СПЕЧЕЛИХТЕ НОБЕЛОВАТА НАГРАДА”

ШЕГИТЕ НА НОБЕЛОВИТЕ ЛАУРЕАТИ

Сашка Александрова

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

***Резюме.** Нобеловата награда е най-престижната награда за един учен. Според правилата на Нобеловия комитет всяка година в началото на октомври Кралската шведска академия на науките избира Нобеловите лауреати чрез мнозинство и се обявяват всяка година в началото на октомври. Минутни преди обявяването на наградата за съответната дисциплина от Нобеловия комитет се обаждат на Нобеловите лауреати и им съобщават, че са получили наградата. Тези обаждания могат да дойдат в неочаквани моменти и да стигнат до лауреатите на неочаквани места. Тук са представени спомени на някои учени как са научили за техните Нобелови награди, как са реагирали в онези специални моменти, когато идва „вълшебното обаждане“.*

Ключови думи: Нобелова награда, физика, лауреати.

1. Увод

В завещанието на Нобел през 1895 г. наградата по физика е посочена на първо място сред петте учредени награди и е „за този, който е направил най-важно откритие или изобретение в областта на физиката“ през изминалата година. Това е най-престижната награда за един учен. От 1901 до 2019 г. наградата за физика е връчвана 113 пъти на 213 учени.

Връчването на Нобеловата награда има широк отзвук сред учените по цял свят, също така и сред широката общественост. Лауреатите стават пример за подражание и вдъхновение за младите учени. Интересът не се изчерпва с информацията за постиженията на лауреатите. След обявяването им се дискутират житейския път на лауреатите как са реагирали на постиженията и неуспехите им, как са успели да постигнат това, което се е удало на малцина. Това не е просто любопитство. Подробености и събития от живота им показват чисто човешкия им облик, непокрит от славата и известността.

Обявяването на Нобеловите награди става в началото на октомври всяка година около обяд Шведско време на съответната дата. Минутни преди обявяването от Нобеловия комитет се обаждат Нобеловите лауреати и им съобщават, че са получили Нобелова награда. Съобщенията достигат до наградените по различно време места. Някои са заети с конкретни задачи, на

конференции или, ако се намират на друг континент, поради часовите разлики, за тях все още е нощ. Някои са безкрайно изненадани, някои безкрайно щастливи, други отдавна са престанали да мислят за награди и похвали, някои таят обида. При всички случаи наградата променя живота им за дълго време. Ето как някои учени реагират в онези специални моменти, когато идва „вълшебното обаждане“ и научават, че са станали лауреати на Нобелова награда.

Дидие Кело (*Didier Queloz*), Университет в Женева и Университет в Кеймбридж, Нобелова награда по физика за 2019 г. „за откриването на екзопланета, обикаляща звезда от слънчев тип“.



Дидие Кело

Когато Дидие Кело получава новината, всъщност е очаквал обаждане за грант, върху който работи и обсъжда с колеги. В първия момент смята, че това е лега. „Едва можех да дишам“, казва Кело. Изобщо не можех да мисля, имах пълно атъмнение, защото емоцията беше изключително интензивна“, казва той. До редата на следобед той все още не успява да се свърже по телефона с бившия си ръководител и колега-лауреат Мишел Майор (*Michel Mayor*), което както казва, е „типично Мишел“.

Реагирайки на новината, проф. Кело казва пред BBC News: „Невероятно е. От откриването преди 25 години всички постоянно ми казваха: „Това е откритие за Нобелова награда“. И аз казвах: „О, да, да, може би, както и да е“. Но през последните години той повече или по-малко „забравя“ за откритието: „Дори не мисля за това, така честно казано, да, беше изненада. Разбирам въздействието на откритието, но в света се правят толкова големи неща във физиката. Помислих си, че не е за нас, никога няма да я имаме“. В момента съм малко шокиран. Все още се опитвам схвана какво означава“.

Мишел Майор (*Michel Mayor*), Университета в Женева, Нобелова награда по физика за 2019 г. заедно с Дидие Кело „за откриването на екзопланета, обикаляща звезда от слънчев тип“.



Мишел Майор

Мишел Майор е на лекционна обиколка в Испания и разказва, че е научил, че е един от победителите случайно, когато влиза в компютъра си, след като напуска хотела си в Сан Себастиан в северната част на Испания. Макар да знае, че е бил номиниран няколко пъти преди това, швейцарският професор заявява, че „изобщо не го е очаквал“. След пристигането си на летището в Мадрид,

той казва пред репортери, че наградата е резултат на „дълъг, дълъг период на работа, с колеги. Това е огромна чест. "

Джеймс Пийбълс (James Peebles), Принстънски университет, Нобелова награда по физика за 2019 г. „за теоретични открития във физическата космология“.



Джеймс Пийбълс

бъда нескромен, но изглежда логично да ми връчат наградата. Бях в темата и видях как тя израства от много малка наука до огромна наука и постига огромен напредък“.

Дона Стрикланд (Donna Strickland) става нобелов лауреат по физика за 2018 г. (заедно с Жерар Муру (Gérard Mourou)) „за техния метод за генериране на високоинтензивни, ултра къси оптични импулси“.



Дона Стрикланд

много приятно събуждане“, казва тя в телефонно интервю. След като новината е потвърдена, Дона изпраща съобщения на членовете на семейството си, но дъщеря ѝ не вярва на съобщението. „Тя си помислила, че телефонът на мама е хакнат“, разказва Стрикланд.

Рано сутринта във вторник, на 8 октомври, Джеймс Пийбълс получава обаждане от Нобеловия комитет в Швеция. Първата му мисъл е: „Когато получите рано сутрин обаждане по телефона, обикновено това е или нещо ужасно или нещо прекрасно!“

На въпроса в интервю на следващата сутрин за това как се чувства, когато е научил, че получава наградата, Пийбълс той е откровен: „Аз работя в космологията от 1964 г.“, казва той. „Това са 55 години. Не искам да

„Плашещо е, когато телефонът зазвъни по това време“, казва Дона Стрикланд, спомняйки си октомврийската сутрин, която променя живота ѝ занапред. Часът е 5 местно време във Ватерло, Канада, Дона още не е станала, когато глас по телефона ѝ казва „Важно обаждане от Швеция“, да стои на линията, но странно телефонът замлъква. Тя чака, с едната ръка държи телефона, с другата стиска ръката на съпруга си. „Мисля, че това е Нобеловата награда“, казва му тя. „Не мога да повярвам“. Знае, че всяка година на една и съща дата Нобеловият комитет уведомява едновременно получателите на наградта по физика. „Нещо се обърка. Очевидно технически проблем. Тогава видях имейл, в който се казва, че отчаяно се опитват да ми се обаждат“, си спомня Стрикланд. „Беше

Другият лауреат **Жерар Муру** (Gérard Mourou), колега и ментор на Дона Стрикланд, казва пред пресата, че му е трудно да опише емоциите си, когато научава за наградата. "Просто не очакваме това. Може човек да си го представя, но когато се случи, е различно". Той научава за наградата половин час, преди



Жерар Муру

да обявят лауреатите. Тъкмо се е приготвил да отиде до плувния басейн, както всеки ден по обед, когато звънят от Стокхолм и трябва да приеме обаждането. Денят е толкова напреднат, че той не успява да се свърже с Дона Стрикланд. „Радостта ми е двойна. Получавам Нобеловата награда за своята работата и я споделям с Дона, човек, когото много ценя и която е моя студентка“. Проф. Жерар Муру разказа тази история и пред

българската публика при удостояването му с титлата „Доктор хонорис кауза“ на Софийския университет.



Артур Ашкин

Третият лауреат за 2018 г. - **Артур Ашкин** (Arthur Ashkin), който на 96 години, е най-възрастният носител Нобелова награда, той казва на Комитета, че няма да може да даде интервюта, тъй като е „много зает“ с последната си научна статия. Той смята, че е могъл да спечели Нобеловата награда още преди няколко десетилетия. Бил е пренебрегнат през 1997 г., когато друг изследовател, американският физик

Стивън Чу, получава наградата за лазерно охлаждане и залавяне на атомите. Престанал е да се притеснява за подобни неща преди много време.

Константи Новоселов, става лауреат по физика за 2010 г. „за новаторски експерименти по отношение на двумерния материал графен“. Адам Смит от



Константи Новоселов

Прессекретариата на Нобеловия комитет е провел много телефонни разговори, променящи живота на учените, но обаждането на Константин Новоселов е може би най-веселото. Когато Смит му се обаждат, за да му предаде новината, той тъкмо прави измервания и не е обзет от желанието да го безпокоят. „Искате да кажете, че трябва да спра експериментите си сега?“, казва Новоселов. Отговорът на

Адам Смит е „Боя се, че да“.

Мартин Чалфи (Martin Chalfie), Колумбийски университет, Нобелова награда по химия за 2008 г.

„Беше нелепа ситуация, по-скоро смешна. Е, тази нощ чух телефон да звъни отдалеко, предположих, че е телефонът на съседа ми. Събудих се в 6 и 10 на сутринта, сетих се, че вече трябва да са обявили Нобеловата награда по химия и предположих, че наградата е отишла при някой друг. След това отворих лаптопа си и влязох на Nobelprize.org, за да видя кой е глупакът, който е получил наградата. И там видях името си заедно с това на Озаму Шимомура (Osamu Shimomura) и Роджър Циен (Roger Tsien). Глупакът бях аз! Казах на жена си „Ето на, че стана“. А тя отговори „Какво? Да не сме се успали да заведем дъщеря ни на училище?“.

Карол Грейдър (Carol Greider), Медицински университет „Джонс Хопкинс“, Нобелова награда за физиология или медицина за 2009 г.



Карол Грейдър

Тя сгъва пране когато в 5 ч. ѝ се обаждат по телефона. „Обикновено не се занимавам с прането толкова рано сутрин, но вече бях станала и цялото това пране се беше вторачило в мен. По-късно трябваше да се срещна с две приятелки за нашия сутрешен клас по спенинг. За Нобеловата награда се говореше, че някъде през следващите пет години може да ни се случи нещо подобно. И миналата година хората казваха: „Може би тази година“, но не стана така. Ройтерс направи предсказание, че този път може да я получим. Но наистина нямах никаква представа. Може би никога няма да се случи. Има важни фундаментални открития, които никога не получават награди. След като получих обаждането, изпратих имейл: „Съжалявам, няма не мога да въртя колелото в момента. Спечелих Нобеловата награда“. Карол буди децата си с думите „Между другото спечелих Нобелова награда“. Следва въпрос „Ще ходим ли на училище?“. „Разбира се“, „О не, няма“ и децата отиват с нея на работа.

Питър Агре (Peter Agre), Изследователски институт за маларията „Джон Хопкинс“, носител на Нобелова награда по химия за 2003 г.

„Имаше някои намеци, че това може да се случи. Като да бъдеш поканен в Швеция да изнасяш лекции. Но в 5:30 часа сутринта на октомврийската сутрин телефонът иззвъня. „Здравейте, професор Агре, тук е Стокхолм. Току-що спечелихте Нобеловата награда по химия. След около 10 минути имаме пресконференция и целият свят ще разбере – така че спокойно можете да продължите деня си“. Аз скочих под душа, съпругата ми Мери се обади на майка ми, а тя каза: "Това е много хубаво, но не го оставяйте да му се завърти главата".

Пол Грийнгард (Paul Greengard), Университет Рокфелер, Нобелова награда за физиология или медицина за 2000 г.

„Аз спях. Обадиха ми се в 5:15 ч. Преди не са уведомявали директно лауреатите и хората са чували от новинарски съобщения или от други хора, че са спечелили. Джули Акселрод веднъж ми каза, че е чул, докато седи на зъболекарския стол! Малко преди да спечеля, комитетът за Нобелова награда беше решил, че ще се обалят на лауреатите около 45 минути преди съобщението, за да ги уведомят. Имаше истории, когато хората понякога си правеха тъпи шеги с потенциални победители, като им се обаждаха и казваха: „Здравей, току-що спечели Нобелова награда“. И така, в 5:15 по наше време, те ми се обадиха. Чух телефона да звъни. Дъщеря ни го вдигна. Чух я да казва: „Той спи дълбоко. Наистина ли искате да го събудя?“. И чух някой да казва: „Казвам се Ханс Йорнвал и съм секретар на Нобеловия комитет.“ Извиках „Не затваряй!“.

Карл Вийман (Carl Wieman), Станфордски университет, Нобелова награда по физика по 2001 г.

„Бях в леглото и спях, разбира се! Всъщност ме събуди не обаждане от Швеция, а брат ми. Шведите не успяха да научат моя телефонен номер, но безумно оптимистичният ми брат станал посред нощ, за да провери обявяването на наградата по физика в интернет и ме събуди, за да ме поздрави. Тъй като това беше брат ми, първата ми реакция беше да отида да проверя в интернет, за да се уверя, че той не си прави някоя тъпа шега“.

Ерик Бециг (Eric Betzig), Медицински институт „Хауърд Хюз“, Нобелова награда по химия за 2014 г.

„Бях в Мюнхен, за да изнеса лекция на конференция, когато от Комитета се обади да ми кажат за наградата. Нобеловата награда беше последното нещо, за което мислех. Когато мобилният ми телефон звънна, се зачудих кой по дяволите ще ми се обади в 5:30 сутринта на Източното крайбрежие и веднага се притесних да няма проблем въкъси. Всъщност, първо се бяха обадили по телефона на бившата ми жена, но 16-годишното ми хлапе им казало къде да ме намерят. След около 20 секунди объркване и още 20 секунди, за да им кажа „да“, затворих в шок. Най-близката аналогия, която мога да направя е, че се чувствам като ударен от автобус. Разбирате, че току-що сте преживявали напълно неочаквано и променящо живота събитие и нямате никаква представа как ще се отрази на вас и вашите планове за бъдещето“.

Пол Ромър (Paul Romer), Нюйоркски университет, Нобелова награда по икономика за 2018 г.

Когато от Шведската кралска академия на науките рано сутринта се обаждат, за да го информират, че е носител на тазгодишната Нобелова награда по икономика, професорът пуска обаждането до гласовата поща, мислейки, че може да е само телемаркетинг в такъв ранен час. „Не отговорих на телефона, защото получавах толкова много спам обаждания“, казва Ромер пред ABC

News. „Просто предположих, че е още едно такова“. Мисли си, че наградите ще бъдат присъдени следващата седмица.

Световноизвестният икономист си лежи в леглото, мисли си колко странно е да получи две последователни телефонни обаждания толкова рано и се опитва пак да заспи. „Но не можах да заспя и отидох да проверя обажданията да видя дали е от някое от децата ми или нещо подобно“, казва той. Разпознава номера като идващ от Швеция.

„Така че, помислих си, по-добре да се върна обаждането. Никога не съм си мислил, че може да спечеля наградата“.

Мей-Брит (May-Britt) и **Едуард Мозер** (Edvard Moser), Нобелова награда по физиология или медицина за 2014 г.

Наричат ги норвежката двойка „Кюри“. Когато научават за наградата, те са на стотици километри един от друг.



Мей-Брит

Мей-Брит е на семинар, обсъжда данни с колеги, когато пристига обаждането от Стокхолм. „Без малко да не вдигна телефона, дискусията беше толкова интересна. По принцип не отговарям, ако не знам номера, но реших да се обадя, не съм се и замисляла кой ден е. Заключих се в кабинета си и от шведския Нобелов институт ми казаха за какво става въпрос. Започнах да плача, бях в шок“. По-късно Мей-Брит Мозер е показана по норвежката телевизия, като танцува с чаша шампанско на парти в Трондхейм, докато нейните колеги пеят „Честит Нобел за теб“ на

мелодията на „Честит рожден ден“.

Съпругът ѝ Едуард не научава веднага новината. Той се намира в самолет на път за Германия. Въпреки, че е получава около 150 имейла по време на полета Осло-Мюнхен, той не разбира, че е станал Нобелов лауреат, докато представител на летището и член на Института Макс Планк го посрещат тържествено.

Бари Маршал (Barry Marshall), Университет на Западна Австралия, и **Робин Уорън** (Robin Warren), Кралската болница в Аделаида, Нобелова награда за физиология и медицина за 2005 г.



Бари Маршал

Бари Маршал получава обаждането в австралийска кръчма с колегата си Робин Уорън, където ходят всяка година в деня, когато се съобщават наградите. „Искам да кажа, че разбира се, винаги сме мечтали да спечелим Нобелова награда, но всъщност никога не сме мислили, че ще стане.“ Известни са с шегата си, когато публикуват статията си през 1983 г., че ще спечелят Нобеловата награда през 1986 г. Това всъщност се случва след 19 години! Дори след и като получават Нобеловата награда за 2005 г., те продължават с годишното си посещение в кръчмата.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] <https://www.nobelprize.org/prizes/themes/the-nobel-call>
[www.nytimes.com › science › where-where-you-nobel-prize-call-stories](https://www.nytimes.com/science/where-where-you-nobel-prize-call-stories)
- [2] <https://apnews.com/4c6b4449846e47db85d1c6511bd3add3>
- [3] <https://www.princeton.edu/news/2019/10/08/joy-ride-career-peebles-wins-nobel-prize-physics-tackling-big-questions-about>
- [4] <https://edition.cnn.com/2009/HEALTH/12/07/nobel.prize.mom.telomeres/index.html>
<https://www.nobelprize.org/womenwhochangedscience/stories/donna-strickland>

ИЗИСКВАНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКА И ПРЕДСТАВЯНЕ НА ПРЕЗЕНТАЦИЯ С POWERPOINT

Елена Халова и Невена Кожухарова

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

***Резюме.** Настоящият доклад представя някои задължителни изисквания относно информационното съдържание, които трябва да се спазват при подготовка на презентация с PowerPoint, представена със съвременни технически средства като лаптоп и мултимедиен проектор. В доклада са изложени и определени изисквания по отношение на самото представяне на дадена презентация.*

Ключови думи: презентации с PowerPoint, изисквания към подготовката и презентиране.

I. Изисквания при подготовката на презентация с PowerPoint

Използването на информационни технологии издига на качествено ново равнище процеса на презентиране на конференции, семинари, лекции и различни фирмени събития. За оптимално организиране на презентации с използване на мултимедийни технологии се изисква, първо да се познават възможностите, които те предоставят и второ – умения за рационалното им използване [1-3]. Това изисква време и усилия при подготовката на презентациите с мултимедийни технологии, например с PowerPoint, както и непрекъснато им усъвършенстване. Тези технологии предизвикват повишен интерес и позволяват да се задържа вниманието и активността на аудиторията по време на презентациите и лекциите.

Презентациите с PowerPoint предоставят на лектора широки възможности като анимации, видео и филмов материал, например за илюстриране на дадени физични явления и процеси, които няма как да се демонстрират на живо в лекционна зала. Могат да се изброят и редица други предимства, особено на лекциите с PowerPoint, в преподаването на курса по физика [4].

Въпреки всички достойнства, мултимедийното представяне крие и определени трудности, свързани с необходимостта от коренна промяна на подхода при подготовката и провеждането на презентации с PowerPoint [5].

При подготовката на една презентация на дадено информационно съдържание, в това число и лекционен материал, представян със съвременни технически средства, като лаптоп и мултимедиен проектор, е наложително да се спазват някои основни изисквания, които се разглеждат в тази публикация.

1. Придържане към основните най-важни моменти от съдържанието на представения материал в презентацията.

Слайдовете не трябва да са препълнени с информация или пълни с онова, което Едуард Тафт [6] нарича „**графичен боклук**”. Трябва да се **избягват** логота, инициали или атрактивен фон, които не са подходящи пред студентска аудитория, макар че са от значение при представяне на конференции или фирмени събития. Пред студентска аудитория те отвличат вниманието и затрудняват по-доброто разбиране и усвояване на лекционния материал. Препоръчително е да се **избягват** прекалено много графики или твърде много текст. По-силно ще бъде визуалното послание, което се отправя към аудиторията, ако слайдовете не са прекалено претрупани с информация.

2. Ограничаване до минимум булети и текст.

Слайдовете трябва да съдържат възможно най-малко булети и текст, а дори могат изобщо да не съдържат текст. Използването на булет след булет след булет ще отекчи аудиторията и **предразполага към заспиване**. Въпреки това малко булети са за предпочитане пред подробен текст (фиг. 1). Смисълът на булетите е не да заместят лектора, а да улеснят аудиторията при проследяването на изложението и воденето на записки.

Първият човек стъпил на Луната

Първият пилотиран космически кораб от програмата „Аполо” на НАСА, „Аполо 11” излита на 16 юли 1969г. от космическия център Кейп Кенеди щата Флорида в 15 ч. 32 м. българско време с екипаж командир Нийл Армстронг, Майкъл Колинс и Едуин Олдрин. „Аполо 11” се състои от три части: Команден модул („Колумбия”), Лунен модул „Ййгъл” (Орел) и сервисен модул. Общото му тегло е 44 тона.



Н. О. Армстронг М. Колинс Е. Олдрин

Първият човек стъпил на Луната

❖ на 16.07.1969г. в 15 h и 32 min б.в. излита „Аполо 11”



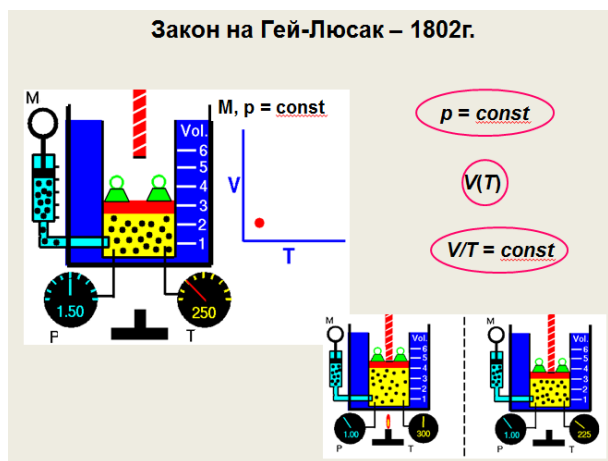
Н. О. Армстронг М. Колинс Е. Олдрин

❖ „Аполо 11” - Команден модул („Колумбия”), Лунен модул „Ййгъл” (Орел) и сервисен модул; тегло е 44 t

Фиг. 1. Слайдове с подробен текст и с булети

3. Ограничаване преходите и анимациите.

Преходите между слайдовете и анимациите в PowerPoint трябва да са малко и по предназначение. Използването на “Wipe” е добре за анимиране на булети. В много презентации, въпреки че са прекомерно дълги и бавни, могат да се използват “Float” или например “Fly”. Препоръчително е да се използват не повече от 2-3 типа ефекта за преход и то не между всички слайдове. Анимациите да се прилагат само там, където е необходимо представяне на процес или явление в развитие (фиг. 2).



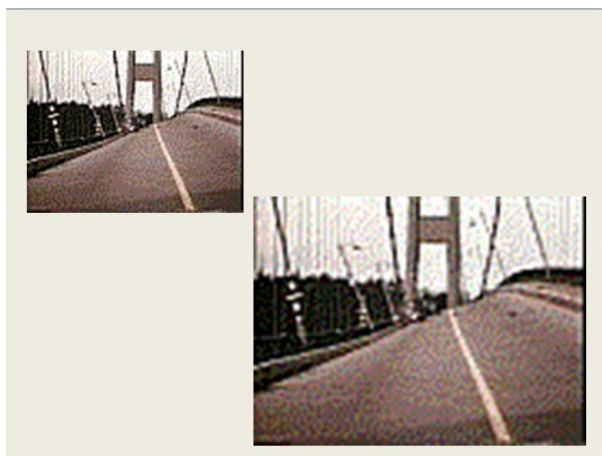
Фиг. 2а. Изотермен процес.



Фиг. 2б. Интерференция на светлината

4. Използване на висококачествени снимки.

Необходимо е използването на висококачествени снимки с висока резолюция за постигане на подходяща яркост и контрастност при представянето им върху слайда. Не се препоръчва разпъване на малка снимка с ниска резолюция с цел да заеме по-голямо място в слайда, т.к. още повече се влошава резолюцията (фиг. 3).



Фиг. 3. Снимка с влошена резолюция



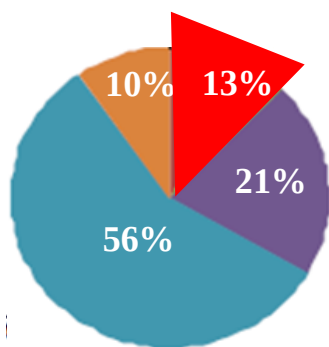
Фиг. 4. Слайд с „комикси“

Не трябва да се използва Clip Art-а на PowerPoint или други изображения тип “комикси” (фиг. 4). Възможни са и изключения, разбира се, но трябва да се прилагат внимателно, не прекомерно и според конкретната аудитория.

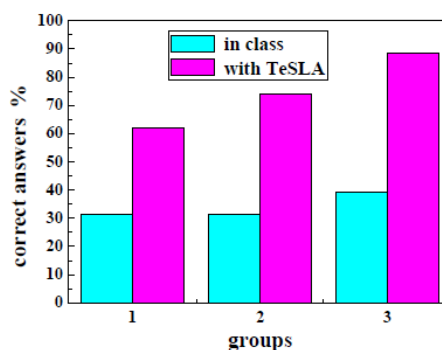
5. Използване на подходящи графики и таблици.

С цел намаляване до минимум информационното съдържание върху слайдовете, при възможност то се представя под формата на графики или таблици. Една информация може да се изобрази в графичен вид по редица начини. При *кръгови диаграми* информацията се представя в проценти като се

препоръчва секторите да са до 4-6, а най-важното е да се открие чрез контрастен цвят или чрез изпъкналост (фиг. 5а).



Фиг. 5а. Кръгови диаграми



Фиг. 5б. Вертикални графики

При представяне на промени в количествените показатели с течение на времето или тяхното сравняване се използват *графики с вертикални или хоризонтални стълбове* – около 4-8 на брой (фиг. 5б). Препоръчва се *линейните графики* да се използват с цел демонстриране тенденцията в развитието на дадено явление, теория, раздел или процес. На един слайд не бива да се поставят повече от 2 графики и то при необходимост от сравняването им.

Използването на **таблицы** е подходящо за непосредствено сравнение на величини, характеристики и др. (фиг. 6). При сравняване на данни в повечето случаи, при тях липсва акцент върху най-важното и е трудно за възприемане особено при много редове и колони. Това е причината да се препоръчва тази информация да се представя графично (фиг. 7).

корпускулярни свойства	вълнови свойства (вълната на дьо Бройл)
Скорост $\vec{v}$	Дължина на вълната $\lambda_B = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$
Импулс $\vec{p} = m\vec{v}$	Честота $\nu = \frac{E}{h} = \frac{mc^2}{h}$
Енергия на свободна микрочастица $E = \frac{p^2}{2m} = mc^2$	Групова скорост $v_{gr} = v$ Фазова скорост $u = \frac{c^2}{v}$

Фиг. 6. Сравнителна таблица

Елемент	1869г.	1871г.	1971г.
Ербий	56	170	167,26
Итрий	60	89	89,91
Церий	92	140	140,12
Торий	118	231	232,03
Осмий	199	193	190,2
Иридий	198	195	192,22

Фиг. 7. Таблица

6. Използване на стандартните PowerPoint темплейти.

Не се препоръчва да се използват стандартните темплейти, включени в пакета PowerPoint Design Template. При възможност си създайте собствени

темплейти с фонове, които са по-близки до вашите слушатели. При това е желателно всяка презентация да е с различен темплейт, което няма да отегчи аудиторията Ви.

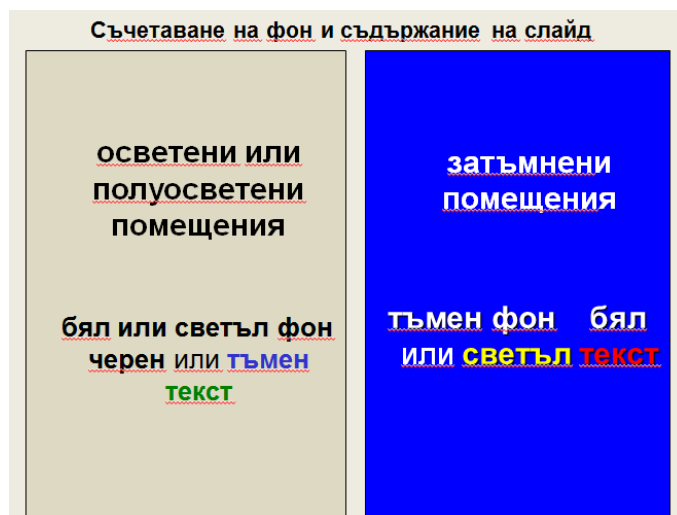
7. Правилно използване на цветовете.

Използването на правилният цвят играе огромна роля при представяне на информационното съдържание. Подходящият цвят ще убеди и мотивира аудиторията, ще повиши интереса и осигури по-доброто разбиране, например на лекционен материал. Не е необходимо всеки да е експерт в теорията на цветовете, но някои основни моменти от теорията е желателно да се прилагат.

Според теорията на цветовете те се делят на две групи: студени (като синьо и зелено) и топли (като оранжево и червено). Студените цветове са най-подходящи за фонове. По този начин се намалява акцентът върху фона, което осигурава „отдалечаване” на фона. За да се акцентира върху същността, например в дадена лекция върху дадена физична величина или закон, най-подходящи са топлите цветове, които създават илюзията, че „идват” към нас и засилват визуалното му възприятие.

Фонът и съдържанието на даден слайд също трябва правилно да се съчетават. Например светлият фон и светлите цветове за текст затруднява аудиторията да възприеме съдържанието на слайда. Между фонът и текстът винаги трябва да има силен контраст.

Подбора на цветове за фона и текста зависи от залата, в която ще се извършва презентацията. Като правило при осветени или полуосветени зали, а те са силно препоръчителни, фонът трябва да е бял или много светъл с черен или тъмен текст. Когато залата е затъмнена, обратно фонът трябва да е тъмен (тъмно синьо, тъмносиво, черно и др.) с бял или светъл и ярък текст (фиг. 8). Тези две комбинации, в зависимост от конкретната зала, ще повиши степента на усвояване на презентирания материал.



Фиг. 8. Съчетание на фон и съдържание

8. Избиране на правилни шрифтове.

Правилно подобрания шрифтове също, макар и косвено, оказват влияние върху степента на усвояване на презентирания материал. За тази цел е необходимо известно познание за видовете шрифтове. Те се делят на два вида: **серифни** шрифтове (например Times New Roman) и **несерифни** шрифтове (Arial или Helvetica).

Серифните шрифтове се използват в материали, като доклади, статии, книги и др., които съдържат много текст и са лесни за четене при по-малки размери на буквите. При проектиране на презентацията на екран тези шрифтове не се виждат ясно, не са лесни за четене и не се препоръчат. За презентиране на голям екран се използват несерифните шрифтове (фиг. 9).

Може да се използва и междинен шрифт между серифен и несерифен, какъвто е напремер Gill Sans, който от една страна е професионален, но от друга намалява дистанцията между лектора и аудитория която го слуша.

Препоръчително е използването на **един и същи** шрифт за цялата презентация – Arial и до 2 разновидности – Arial Italic и Arial Bold.

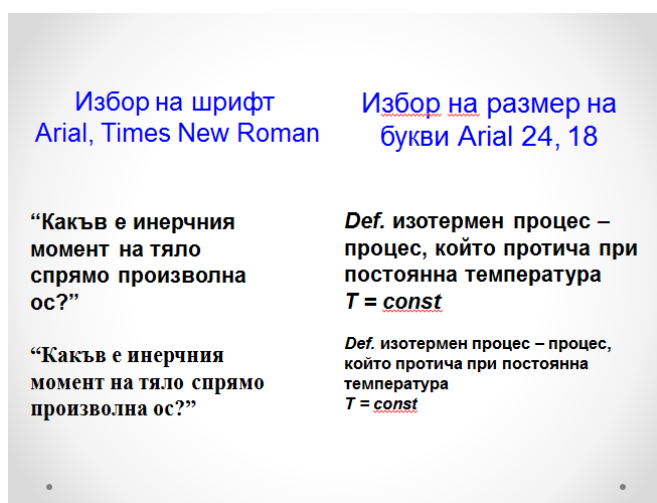
Не трябва да се забравя, че какъвто и шрифт да се използва е необходимо да се проверява дали той се чете добре и от най-отдалечената точка на залата.

Подходящ размер на използваните шрифтове е 22-26 пункта, а за заглавия и значително по-голям (фиг. 9). За да се подбере подходящата големина на буквите при разнородна аудитория, например конференции или семинари се използва следния алгоритъм: възрастта на най-възрастния от слушателите разделена на две.

9. Използване видео и аудио.

Използването на видео клипове, свързани с даден материал засилват когнитивният процес, който е и естествения начин за усвояване на информацията. Използването на видео клип илюстрира по-добре обсъждания материал, променя ритъма на презентацията и това съдейства за повишаване интереса на аудиторията и задържане на вниманието им (фиг. 10).

В презентации с PowerPoint могат да се използват и аудио клипове като се избягват евтини звукови ефекти, особено при преход между отделните слайдове.



Фиг. 9. Сравнения за шрифтове и размер на букви



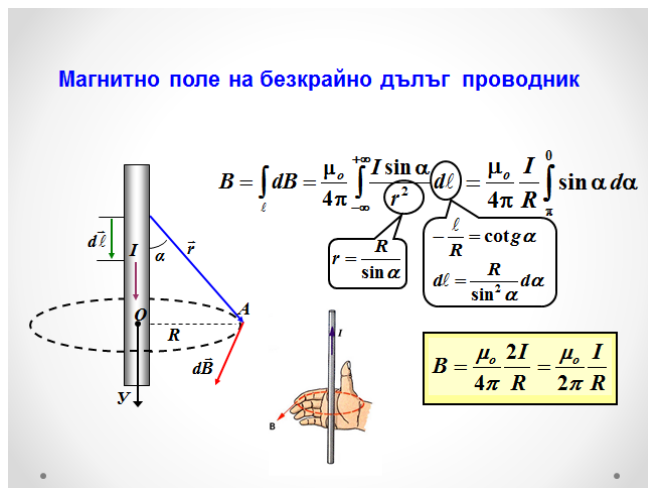
Фиг. 10. Използване на видео клипове

Всяко използване на видео и аудио трябва да е добре премерено, за да не се намали сериозността и значимостта на представяния материал.

10. Отделяне време за подреждане на слайдовете.

Съществен фактор при подготовка на една презентация, особено лекция пред студентска аудитория, е правилното подреждане на отделните слайдове. Според Принципа на Сегментацията [7] в мултимедийната теория за учене, аудиторията разбира и усвоява по-добре информацията когато се поднася на малки порции (сегменти) (фиг. 11).

Когато се влезе в режим Slide Sorter View може да се прецени как върви логическото развитие на лекцията, да се прецени дали не е по-добре даден слайд да се раздели например на 2-3 слайда, с цел тя да стане по-логична и по-лесно разбираема. В този режим може да се забележат някои трудно разбираеми детайли от представения материал, наличието на твърде подробна информация, която е по-добре да бъде намалена, за да се повиши визуалната яснота.



Фиг. 11. Сегментиране на съдържание

II. Изисквания към начина на презентиране

Позицията на лектора също е от съществено значение. Възможни са няколко положения, които са подходящи за различни случаи (фиг. 12).

Лекторът **стои вдясно на екрана**. Това е позицията на лектора когато акцентът е върху информационното съдържание на слайдовете, а не върху самия него. Тази позиция е препоръчителна когато дадената информация е много съществена, със строга логическа последователност и изисква повишена концентрация. В този случай се наслагват слуховото и визуалното възприятие, което ще повиши способността за възприемане на предоставеното информационно съдържание от аудиторията.



Фиг. 12. Позиции на лектор

Лекторът **стои вляво на екрана**. Това е препоръчителната позиция на лектора в случаите, когато иска *самият той да е акцент на презентацията*, а не съдържанието на слайдовете. Така лекторът има възможност да акцентира или обобщи важните моменти, дори при необходимост да повтори най-същественото. Обяснетието на това твърдение е просто. Повечето хора четат отляво-надясно, с изключение на арабите, и са свикнали да следят с поглед даден текст, фигура, графика и т.н. също отляво-надясно.

При презентация пред аудитория с помощта на PowerPoint, *не трябва да се произнасят същите думи, които са изписани на екрана*, тъй като това няма да е ефективно, а само ще натовари прекалено много мозъците на слушателите и ще намали способността им да разбират какво се презентира. Когато аудиторията разбере, че лекторът четете текста, тя също започва да чете, но го чете преди лектора, тъй като аудиторията чете по-бързо, отколкото лекторът успявате да изговори същия текст. В резултат на това се нарушава синхронът между лектора и аудиторията. По-ефективно би било, ако на екрана се показва едно съдържание, а да се изговаря друго.

Напълно *погрешно е през повечето време лекторът да гледа към екрана с презентацията*, а не към аудиторията, а още *по-недопустимо е да чете написаното от екрана "едно към едно"*.

Не е задължително лекторът да стои през цялата презентация или само отляво или само отдясно на екрана, но и не трябва лекторът *да се движи непрекъснато*, защото неговото движение затруднява видимостта на аудиторията към слайдовете, а също така я разконцентрира поради непрекъснатото следене на лектора и на слайдовете. Лекторът би могъл да се движи само в случаите, когато разказва например историята на някое научно откритие, биографията на виден учен или когато дава пример, т.е. когато слайдовете не се сменят на екрана.

Лекторът никога не трябва за забравя още едно основно правило при презентиране с PowerPoint на голям екран, а именно, никога лекторът да *не обръща гръб* към аудиторията.

III. Заключение

Презентирането пред различна аудитория в настоящия момент през XXI век е немислимо без използването на съвременните методи за представяне, сред които е и мултимедийното. Доброто усвояване на информацията би могло да се осъществи само при спазване на определени основни правила, голяма част от които са представени тук. В последните месеци със създалата се извънредна ситуация в целия свят с възникналата пандемия все по-осезаемо и необходимо стана използването на презентации, включително и с **PowerPoint**, което е представено от авторите. Тази статия има за основна цел подпомагане на лекторите и всички, които трябва да представят резултатите от работата си, да го направят по-успешно и разбираемо от аудиторията. Авторите се надяват

поне част от представените препоръки към презентиращите да подобрят качеството на представяното съдържание, както и да помогнат на настоящите слушатели, които ще станат лектори, да придобият някои основни умения при подготовката на бъдещите им представяния пред голяма или не толкова голяма аудитория.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Byrne, D.. "Learning to Love PowerPoint." Available online (2003)
<<http://www.wired.com/wired/archive/11.09/ppt1.html>>
- [2] Workshop "Multimedia in Lehre und Studium" Universität Kassel (2000)
- [3] Mayer, R. E., R. Moreno. "Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning." Educational Psychologist 38 (1): 43-52 (2003)
- [4] Александрова, С. и Е. Халова, „Предимства на мултимедията при провеждане на лекционен курс по физика”, сп. „ИЗВЕСТИЯ на Съюза на учените – Сливен”, 11 (4): 16-19 (2006)
- [5] Mayer, R. Learning and Instruction ", book (2003)
- [6] Tufte, E. R. "The cognitive style of PowerPoint: Pitching out Corrupts Within", book (2006)
- [7] Mayer, R. "Multimedia Learning.", book (2001)

TOWARDS THE INFLUENCE OF THE INTRAPULSE RAMAN SCATTERING ON THE SOLUTIONS OF THE COMPLEX CUBIC GINZBURG – LANDAU EQUATION

Ivan M. Uzunov¹ and Svetoslav G. Nikolov^{2,3}

¹Department of Applied Physics, Technical University Sofia, 8 Kl. Ohridski Blvd., Sofia 1000, Bulgaria

²Institute of Mechanics, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev Str., Bl. 4, 1113 Sofia, Bulgaria

³University of Transport, Geo Milev Str., 158, 1574 Sofia, Bulgaria

Corresponding author: ivan_uzunov@tu-sofia.bg

Abstract. *The influence of intrapulse Raman scattering (IRS) on the solutions of the complex cubic Ginzburg - Landau equation (CCGLE) is studied by means of the dynamical model proposed in [17]. It is shown that results obtained by means of this dynamical model confirms recent numerical results of [16] for the vanishing of stable pulses in the presence of perturbed with IRS CCGLE when the magnitude of the IRS coefficient goes to zero.*

Keywords: Nonlinear fiber optics, complex cubic Ginzburg-Landau equation, dissipative solitons, intrapulse Raman scattering, mode locked lasers

1. Introduction

In optics the complex cubic-quintic Ginzburg - Landau equation (CCQGLE) and the complex cubic Ginzburg - Landau equation (CCGLE) have been used to describe a passive mode-locked solid state and fiber lasers as well as soliton transmission lines [1-2]. The numerical solutions of the CCQGLE have revealed the existence of localized pulsating solutions in the negative dispersion region: plain pulsating, creeping, and erupting (exploding) solutions [3-4]. Finite-dimensional dynamical models for solutions of the CCQGLE have been derived through the method of moments [5-7] and the variation method in [8]. For the study of ultra-short optical pulses it is necessary to include higher-order effects (HOE): third-order of dispersion (TOD), self-steepening (SS) and intrapulse Raman scattering (IRS) [2,9-10]. Attention has been paid to the investigation of the influence of HOE on the exploding solutions numerically [11-13] and analytically [14-16]. In a recent study the role of IRS as a feedback mechanism for the existence of stable propagating dissipative solitons with uniquely determined velocity in the complex cubic Ginzburg-Landau equation (CCGLE) has been studied through a semi-analytical approach [16]. It has been shown that the limit of vanishing magnitude of the IRS coefficient is singular. Scaling relations for the velocity, pulse amplitude, frequency and full-width at half-

maximum of the pulse have been proposed and through numerical solution of CCGLE verified [16].

Using the method of momentum [5] we have developed the finite degree of a freedom model for the analysis of the influence of HOE on the solutions of the CCQGLE in the anomalous dispersion regime [17]. The aim of this report is to apply the finite-dimensional model of [17] in the investigation of the existence of stable propagating dissipative solitons in the complex cubic Ginzburg-Landau equation in the presence of IRS.

2. Модел

The dynamical behavior is described by the following CCGLE perturbed with HOE [2-3]:

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

where U is the normalized envelope of the electric field, t and x are the evolutionary and spatial variables, δ is the linear loss-gain coefficient, β describes the spectral filtering, ε is the nonlinear gain or absorption coefficient (the nonlinear gain arises from saturable absorption). In this equation we have implied that the group-velocity dispersion is anomalous. Parameter γ takes into account the effect of IRS in the simplest quasi – instantaneous description. To derive the dynamical model of [17] for the CCQGLE we use the trial function in the form [5-7]:

$$U(x,t) = \eta(x) \operatorname{sech} \left[\frac{t - k(x)}{\sigma(x)} \right] \exp \left[i\omega(x)(t - k(x)) + ic(x)(t - k(x))^2 \right], \quad (2)$$

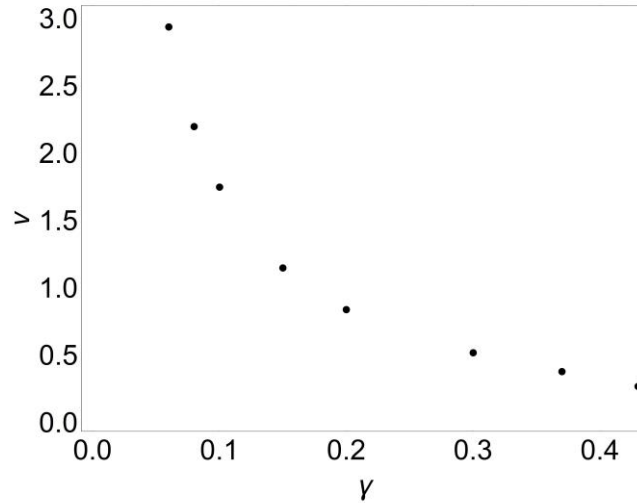
where $\eta(x)$, $\sigma(x)$ and $k(x)$ are respectively the amplitude, width, and position of the pulse maximum, $\omega(x)$ is the frequency, and $c(x)$ is the chirp parameter. The dynamical model (DM) of [17] reduced for the case CCGLE perturbed only by IRS has the form:

$$\begin{aligned}
\frac{d\eta}{dx} &= (\delta - c)\eta + \beta \left(\frac{\eta(-60 - 5\pi^2 + 3\pi^4 c^2 \sigma^4)}{15\pi^2 \sigma^2} - \eta\omega^2 \right) + \varepsilon \frac{2(3 + \pi^2)}{3\pi^2} \eta^3, \\
\frac{d\omega}{dx} &= -4\beta \frac{(1 + \pi^2 c^2 \sigma^4)\omega}{3\sigma^2} + \frac{8}{15} \gamma \frac{\eta^2}{\sigma^2}, \\
\frac{dk}{dx} &= \omega - \frac{2\pi^2}{3} \beta c \omega \sigma^2, \\
\frac{d\sigma}{dx} &= 2c\sigma + \beta \left(\frac{8}{\pi^2 \sigma} - \frac{16}{15} \pi^2 c^2 \sigma^3 \right) - \frac{4}{\pi^2} \varepsilon \sigma \eta^2, \\
\frac{dc}{dx} &= \left(-2c^2 + \frac{2}{\pi^2 \sigma^4} - \frac{2\eta^2}{\pi^2 \sigma^2} \right) - \beta \frac{4(3 + \pi^2)c}{3\pi^2 \sigma^2}.
\end{aligned} \tag{3}$$

The essential point in the derivation of this equation is the relation between the width and chirp of the pulse [5]. The evolution of numerical solution of Eq. 1 into a solution with a sech-like form given by Eq. (2) is decisive for the successive application of DM (3). The numerical results presented here have been obtained by means of Wolfram Mathematica [18].

3. Резултати

In a recent study the role of IRS as a feedback mechanism for the existence of stable propagating dissipative solitons with uniquely determined velocity (see Fig. 1 there) in the complex cubic Ginzburg-Landau equation (CCGLE) has been studied through a semi-analytical approach [16]. Firstly, it has been shown that the value of velocity of dissipative solutions reduce with the increase of the parameter γ (see Fig. 1 in [16]). We apply here DM (3) in the study of this dependence. As in [16], the following values of physical parameters have been used: $\delta = -0.012$; $\beta = 0.6$; $\varepsilon = 0.3$. Note that the parameter of IRS is γ . Initial condition for DM (3) is: $\eta(0)=1$; $\sigma(0)=\frac{1}{\eta(0)}$; $c(0)=0$ and $\omega(0)=0$. Distance of calculation is: $x_{MAX} = 200$. In order to compare our results with the results obtained by numerical solution of Eq. (1) in [16] we should mention that the velocity v of [16] corresponds to $k(x_{max})/x_{max}$ of DM(3).



Фиг. 1. Results obtained by the numerical solution of DM (3) for the dependence of the velocity of dissipative solution vs the parameter of IRS γ at $\delta = -0.012$; $\beta = 0.6$; $\varepsilon = 0.3$. The initial condition is $\eta(0)=1$; $\sigma(0)=1/\eta(0)$; $c(0)=0$; $\omega(0)=0$. The propagation distance is $x_{\max} = 200$.

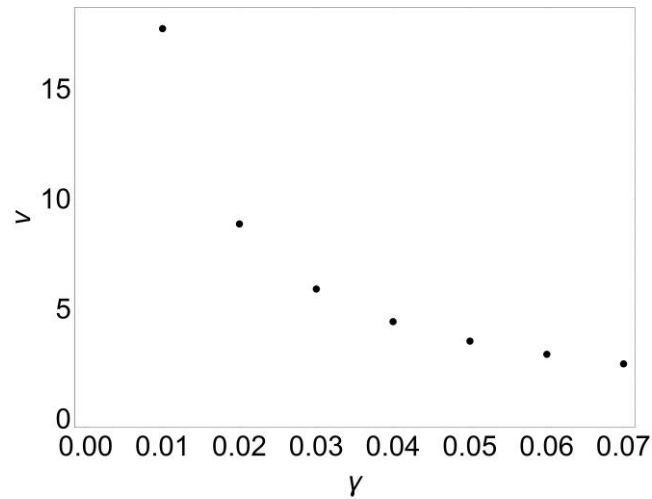
As seen in Fig. 1, the magnitude of velocity of the dissipative solution reduces with the increase of the parameter of IRS γ . The shape of this hyperbola - type curve should be compared with the shape of the curve of numerical results presented in Fig. 1 of [16]. Excellent agreement between both curves should be mentioned.

It has been shown also that the limit of vanishing magnitude of the IRS coefficient is singular. Following scaling relations for the velocity, pulse amplitude, and full-width at half-maximum of the pulse have been proposed and numerically (through numerical solution of Eq. (1)) verified in [16] (see Eq. (11) and Fig. 10, Fig.11, Fig.12, and Fig. 13 in [16]).

In terms of notations of the quantities which describe our trial function given by Eq.(2) some of these scaling relations take the form:

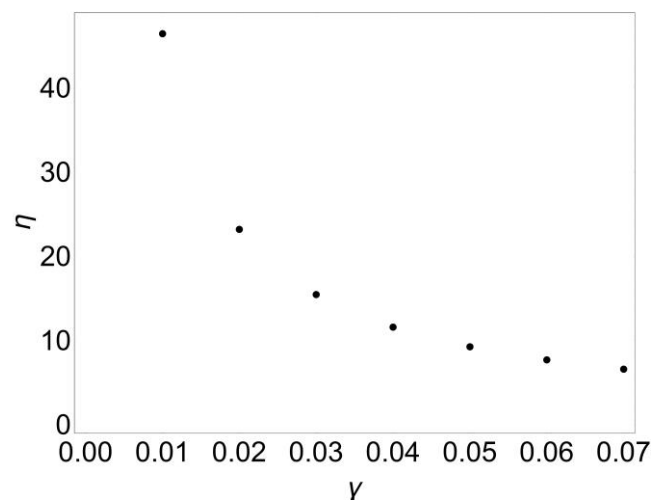
$$v = k(x_{\max})/x_{\max} \sim 1/\gamma; \eta \sim 1/\gamma; w = 2(\ln 2 + \sqrt{3})\sigma(x_{\max}) \sim \gamma \quad (4)$$

In the next Fig.2, the velocity v as a function of γ (in the limit of small γ demonstrating the first scaling relation of Eq. (4)) is shown.



Фиг. 2. Results obtained by the numerical solution of DM (3) for the dependence of the velocity of dissipative solution vs the parameter of IRS at $\delta = -0.012$; $\beta = 0.6$; $\varepsilon = 0.3$. The initial condition is $\eta(0)=1$; $\sigma(0)=1/\eta(0)$; $c(0)=0$; $\omega(0)=0$. The propagation distance is $x_{\max} = 200$.

It can be seen that the magnitude of velocity of the dissipative solution reduces with the increase of the parameter of IRS γ (as in Fig. 1 but now for a small values of γ). Note here that the magnitude of velocity of dissipative soliton diverges. The shape of this curve is a hyperbola which could be expected from the first relation of Eq.(4). The curve of Fig. 2 should be compared with the shape of the curve of numerical results presented in Fig. 10 of [16]. A very good agreement between both curves could be observed. In the next Fig.3, the amplitude of dissipative soliton η as a function of γ (in the limit of small γ demonstrating the second scaling relation of Eq. (4)) is shown.



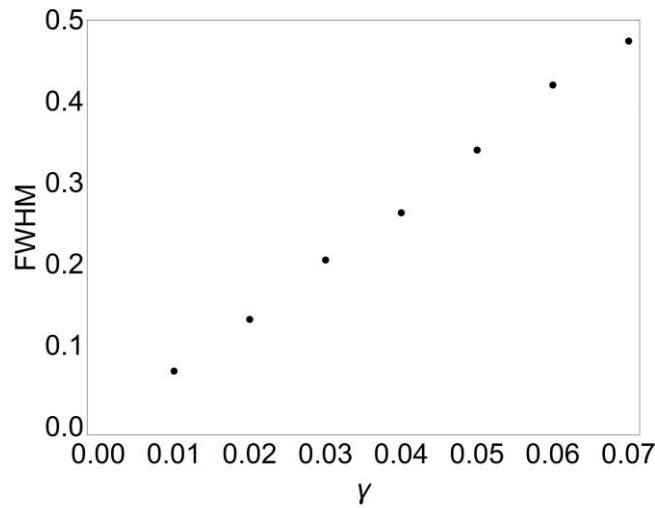
Фиг. 3. Results obtained by the numerical solution of DM

(3) for the dependence of the amplitude of the dissipative solution η vs the parameter of IRS γ at $\delta = -0.012$; $\beta = 0.6$; $\varepsilon = 0.3$. The initial condition is $\eta(0)=1$; $\sigma(0)=1/\eta(0)$; $c(0)=0$; $\omega(0)=0$. The propagation distance is $x_{\max} = 200$.

As can be seen from Fig. 3 the value of the amplitude of the dissipative solution reduces with the increase of the parameter of IRS γ . We note here that the magnitude of the amplitude of dissipative soliton diverges. The shape of this curve is a hyperbola which could be expected from the second relation of Eq.(4). The curve of Fig. 3 should be compared with the shape of the curve of numerical results presented in Fig. 11 of [16]. A good agreement between both curves could be observed.

In the last Fig.4 the full width at half maximum (FWHM) of dissipative soliton as a function of γ (in the limit of small γ demonstrating the third scaling relation of Eq. (4)) is shown. We should mention that the FWHM of [16] corresponds to $2(\ln 2 + \sqrt{3})\sigma(x_{\max})$ of DM(3).

As can be seen from Fig. 4 the magnitude of the FWHM of the dissipative solution increases with the increase of the parameter of IRS γ in a way which could be expected from the third scaling relation of Eq.(4). The way in which the magnitude of the FWHM of stationary solution increases with the increase of the parameter of IRS γ should be compared with numerical results presented in Fig. 13



Фиг. 4. Results obtained by the numerical solution of DM (3) for the dependence of the FWHM of dissipative solution vs the parameter of IRS γ at $\delta = -0.012$; $\beta = 0.6$; $\varepsilon = 0.3$. The initial condition is $\eta(0)=1$; $\sigma(0)=1/\eta(0)$; $c(0)=0$; $\omega(0)=0$. The propagation distance is $x_{\max} = 200$.

of [16]. Excellent agreement of results presented in Fig. 4 with those of Fig. 13 of [16] could be found.

4. Conclusions

The influence of intrapulse Raman scattering (IRS) on the solutions of the complex cubic Ginzburg - Landau equation (CCGLE) is studied by means of the dynamical model given by Eq. (3) proposed in [17]. Applying this dynamical model for the parameters used in [16] we have obtained results for the amplitude, velocity and FWHM of the dissipative solitons as a function of the parameter of IRS γ which are in excellent agreement with results obtained by the numerical solution of Eq. (1) presented in [16]. These results of ours show that the DM(3) confirms the scaling relations reported in [16] and therefore properly describes vanishing of stable pulses in the presence of perturbed with IRS CCGLE when the magnitude of the IRS coefficient goes to zero.

We should mention in the end that similar tendencies in the change of the amplitude, velocity and width of dissipative solitons with extreme spikes (DSES) of complex cubic-quintic Ginzburg-Landau equation with increase of the parameter of IRS γ have been observed recently in [19]. It has been found there that the transformation of the single spike DSES into Raman dissipative solitons exists. It has been shown that reduction of the amplitude and velocity as well as the increase of width of the Raman dissipative solitons with the increase of the magnitude of the IRS coefficient appear. More over these features have been successfully described by means of the dynamical model proposed in [17].

REFERENCES

- [1] N. N. Akhmediev and A. Ankiewicz, *Solitons: Nonlinear Pulses and Beams*, (Chapman and Hall, London, 1997).
- [2] G. P. Agrawal, *Applications of Nonlinear Fibre optics* (Academic Press, 2001).
- [3] J. M. Soto-Crespo, N. Akhmediev, and A. Ankiewicz, Phys. Rev. Lett. 85, 2937 (2000).
- [4] N. N. Akhmediev, J. M. Soto-Crespo, and G. Town, Phys. Rev. E 63, 056602 (2001).
- [5] A. I. Maimistov, J. Exp. Theor. Phys. 77, 727 (1993).
- [6] E. Tsoy, and N. N. Akhmediev, Phys. Lett. A 343, 417 (2005).
- [7] E. Tsoy, A. Ankiewicz and N. N. Akhmediev, Phys. Rev. E 73, 036621 (2006).
- [8] S.C. Mancas, [S. R. Choudhury](#), Chaos, Solitons and Fractals, 40, 91 (2009).
- [9] L. Song, L. Li, Z. Li and G. Zhou, Opt. Commun. 249, 301 (2005).
- [10] P. -A. Bélanger, Opt. Express 14, 12174 (2006).
- [11] S. C. Latas, M. F. S. Ferreira, and M. V. Facao, Appl. Phys. B 104, 131 (2011).
- [12] S. C. Latas, M. F. S. Ferreira, Opt. Lett. 37, 3897 (2012).
- [13] C. Cartes and O. Descalzi, Phil. Trans. R. Soc. A 373: 20150114 (2015).

- [14] M. V. Facao and M. I. Carvalho, Phys. Letters A 375, 2327 (2011).
- [15] M. V. Facao and M. I. Carvalho, Phys. Lett. A 376, 950 (2012).
- [16] O. Descalzi, J. Cisternas and H. R. Rand, Phys. Rev. E 100, 052218 (2019).
- [17] I. M. Uzunov, T. N. Arabadzhiev, and Zh. D. Georgiev, Opt. Fiber Technol. 24, 15 (2015).
- [18] Wolfram Mathematica 8, 2010 Wolfram Research, Inc.
- [19] I.M. Uzunov, and T.N. Arabadzhiev, Applied Physics B 125(11), 221 (2019).

НЯКОИ ОСНОВНИ РЕЖИМИ НА ДИНАМИКАТА НА СВРЪХИНТЕНЗИВНИ СВРЪХКЪСИ СВЕТЛИННИ ИМПУЛСИ

М. Е. Тодорова¹, Т. П. Тодоров², М. Д. Тодоров³, И. Г. Копринков²

¹Обединен технически колеж, ТУ-София, бул. "Кл. Охридски" 8, София 1000

²Катедра "Приложна физика", ФПМИ, ТУ-София, бул. "Кл. Охридски" 8, София 1000

³Катедра "Математическо моделиране и числени методи", ФПМИ, ТУ-София,
бул. "Кл. Охридски" 8, София 1000

Резюме. Установени са няколко основни режима на пространствено-временната динамика на свръхинтензивни свръхкъси светлинни импулси в обемни нелинейни среди, базирани на нелинейното уравнение на Шрьодингер и на нелинейното уравнение на обвивката. Установена е ролята на йонизацията на средата върху степента на самокомпресия на импулса и на стабилността на разпространението на импулса.

Ключови думи: светлинни импулси, свръхинтензивни, свръхкъси, основни режими.

2. Увод

Пространствено-временната динамика на свръхинтензивни свръхкъси светлинни импулси (СССИ) в материална среда е предизвикателна задача, която трудно може да бъде систематизирана и представена в рамките на общо заключение. Това се дължи на големия брой линейни и нелинейни процеси, които са едновременно интензивни поради силната локализация на импулса във времето и пространството (в резултат на самофокусировка) и на високия му интензитет. С увеличаване на интензитета, количеството на нелинейните процеси силно нараства, а тяхното взаимно влияние се засилва. Това води до голямо разнообразие в поведението на СССИ при различни условия.

Ранните изследвания върху разпространението на СССИ доведоха до заключението, че импулсът се разширява и разцепва в среда с положителна дисперсия на груповата скорост [1-3], а съществуването на пространствено-временен солитон е предсказано теоретично в среда с отрицателна дисперсия на груповата скорост [4]. Това разбиране беше ревизирано с откриване на явлениято *самокомпресия* на СССИ в различни среди с положителна дисперсия на груповата скорост (атомни и молекулни газове и аморфен кварц) и експерименталното наблюдаване на стабилизация на импулса в рамките на определен пространствен интервал [5, 6]. Последвалите изследвания разкриха големия потенциал на самокомпресията, позволяващ да се генерират СССИ с продължителност от няколко оптични цикъла до единичен цикъл на носещата

честота ($2,5 \text{ fs/цикл}$) [7, 8]. Самокомпресията е единственият известен засега процес в среда с положителна дисперсия, който може да противостои на разширяването и на разцепването на свръхкъсите импулси във времето.

Целта на настоящата работа е да систематизира някои базисни режими на пространствено-временната динамика на СССИ, генерирани от основния лазерен източник на такива импулси – лазерът на титан-сапфир.

2. Режими на разпространение, физични модели и основни резултати

Въпреки големия брой физични процеси и вариации на параметрите на импулса и средата, ще бъдат разграничени някои основни физични модели и на тази база ще бъде направен опит за систематизиране на поведението на СССИ и свързаните с тях условия. Ще бъдат разгледани следните физични модели базирани на: **(3+1)D нелинейно уравнение на Шрьодингер без йонизация на средата; (3+1)D нелинейно уравнение на обвивката без йонизация на средата;**

(3+1)D нелинейно уравнение на обвивката с йонизация на средата.

2.1 (3+1)D нелинейно уравнение на Шрьодингер без йонизация на средата

Разглежданият физичен модел включва *обемна, хомогенна и изотропна нелинейна среда* с високо лежащо първо възбудено ниво и висок йонизационен потенциал, както и СССИ с относително нисък интензитетът, така че процеси като еднофотонно или многофотонно поглъщане, директна или каскадна йонизация, и нерезонансни нелинейни процеси, по-високи от кубични, могат да се пренебрегнат. Като най-добра реална среда удовлетворяваща тези изисквания се явяват инертните газове. В рамките на този модел се разглеждат базисните линейни процеси, дифракция и дисперсия на груповата скорост, и нелинеен процес от най-нисък порядък - кубична (Кер) нелинейност. Този модел ще бъде означен като *минимален модел* (ММ) [9].

Разпространението на СССИ в рамките на ММ се описва с (3+1)D *нелинейно уравнение на Шрьодингер* за комплексната амплитуда на полето $\tilde{E}(r, z, \tau)$, което в локално време τ има вида (в стандартни означения):

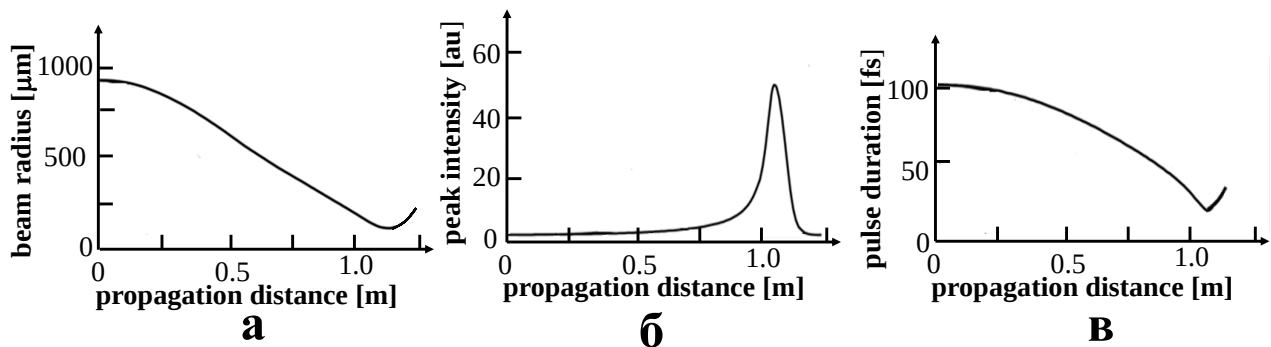
$$\frac{\partial \tilde{E}}{\partial z} - \frac{i}{2k} \nabla_{\perp}^2 \tilde{E} + \frac{i\beta_2}{2} \frac{\partial^2 \tilde{E}}{\partial \tau^2} - \frac{ikn_2}{n_0} |\tilde{E}|^2 \tilde{E} = 0 \quad (1)$$

Полето се описва в рамките на концепцията *носеща честота-обвивка* и се представя във вида $E(t) = \tilde{E}_0(t) \exp(-i\omega_0 t + i\varphi) + \text{с.с.}$ Липсата на необратими загуби в модела означава, че е приложимо условието за запазване на енергията на импулса $W(z)$, т.е.,

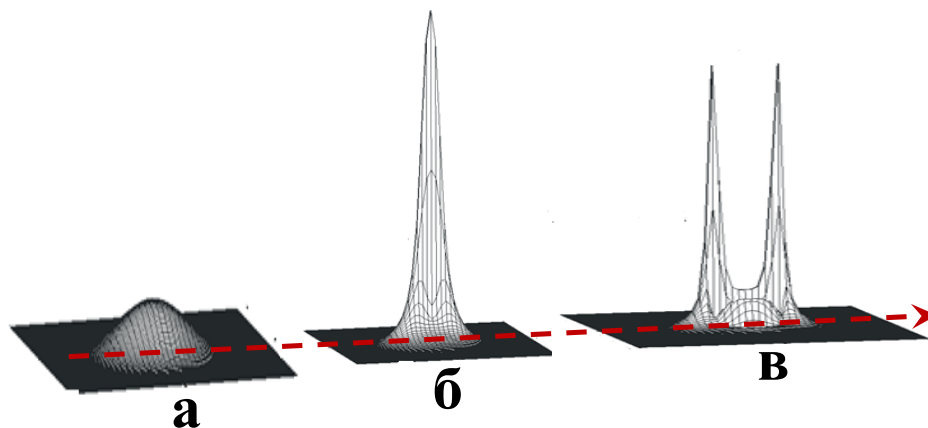
$$W(z) = \int \int_{S_\infty}^{\infty} |\tilde{E}(r, z, \tau)|^2 ds d\tau = W_0 = \text{const} , \quad (2)$$

където интегрирането е върху напречното сечение на импулса и локалното време τ . Условие (2) може да се използва и като условие за нормировка на полето.

Началният импулс се приема за линейно поляризиран с продължителност 100 fs , без чирп, с Гаусова форма в напречно направление r и във времето τ , $\tilde{E}(r, z=0, \tau) = E_0 \exp(-r^2/2r_0^2 - \tau^2/2\tau_0^2)$, и дължина на вълната 800 nm . Резултатите от числените симулации за еволюцията на импулса в рамките на ММ са показани на фиг. 1 и 2.



Фиг. 1. Еволюция на радиуса на импулса (а), пиковия интензитет (б) и продължителността на импулса (в) от разстоянието



Фиг. 2. Пространствено-временна форма на началния импулс (а), компресирания импулс (б) и на разцепения импулс (в)

В рамките на ММ добре се възпроизвеждат самофокусировката на импулса, фиг. 1а; нарастването на интензитета, фиг. 1б и фиг. 2б; самокомпресията на импулса фиг. 1в и фиг. 2б; и разцепването на импулса, фиг. 2в. В рамките на ММ за първи път е показано, че самокомпресия на импулса може да се наблюдава само на базата на трите основни процеса - дифракция, дисперсия и

кубична нелинейност. Основен недостатък на ММ е, че не е в състояние да опише т.н. филаментация на импулса и стабилното солитоноподобно поведение в рамките на определено разстояние на разпространение.

Недостатъците на ММ могат да се преодолеят, по принцип, в рамките на следващите два подхода. При тях, за разлика от ММ, включените физични процеси са такива, че на всеки интензивен процес, действащ в определена посока по отношение на еволюцията на СССИ, има поне един интензивен процес действащ в противоположна посока. Такъв един модел ще бъде означен като *минимален достатъчен модел* (МДМ) [10].

минимален достатъчен модел

Основно уравнение на разпространение в МДМ е *нелинейното уравнение на обвивката* (НУО) $A(r, z, \tau)$, което има вида (в стандартни означения) [11, 12]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial A}{\partial z} = & \frac{i}{2k_0} \hat{T}^{-1} \nabla_{\perp}^2 A + i \hat{D} A + i \frac{\omega_0}{c} n_2 \hat{T} |A|^2 A - i \frac{\omega_0}{c} n_4 \hat{T} |A|^4 A \\ & - i \frac{k_0}{2n_0^2 \rho_c} \hat{T}^{-1} \rho A - \frac{\sigma}{2} \rho A - \frac{\beta_{MPI}(A)}{2} A \end{aligned} \quad (3)$$

НУО съдържа явно трета и пета нелинейност, които са с противоположен знак, както и членове описващи йонизацията на средата. Концентрацията на електроните ρ се описва с кинетично уравнение (в стандартни означения) [12]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = W(I)(\rho_n - \rho) + \frac{\sigma(\omega_0)}{I_p} |A|^2 \rho - f(\rho) \quad (4)$$

Разглежда се многофотонен режим на йонизация със скорост, пропорционална на κ -та степен на интензитета, $W = \sigma_{\kappa} I^{\kappa}$, където κ е броят фотони за йонизация.

Йонизацията оказва влияние и върху дисперсията на груповата скорост, чийто аналитичен израз има вида (в стандартни означения) [13]:

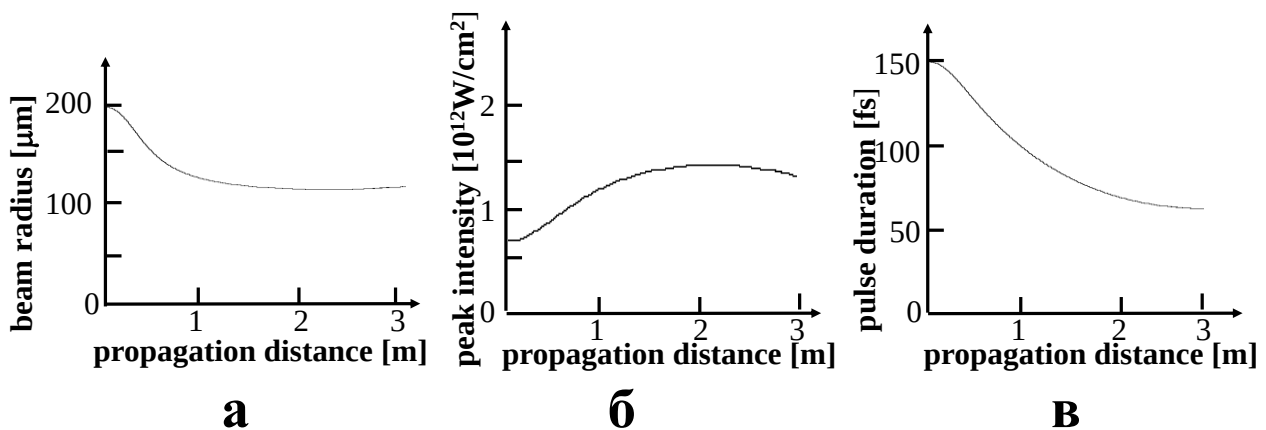
$$\beta_i^{(2)} = - \frac{e^2 \lambda^3 \rho}{2\pi^2 m_e c^4 \left(1 - \frac{e^2 \lambda^2 \rho}{\pi m_e c^2} \right)^{3/2}} \quad (5)$$

Отрицателният принос на йонизацията $\beta_i^{(2)}$ към дисперсията на груповата скорост, $\beta^{(2)} = \beta_n^{(2)} + \beta_i^{(2)}$, е единственият процес, който директно противостои на дисперсията на груповата скорост на неутралите, $\beta_n^{(2)}$, която е положителна при обичайни условия. С включването на последния процес, МДМ може да се счита за завършен. На базата на МДМ ще разгледаме следните два подхода.

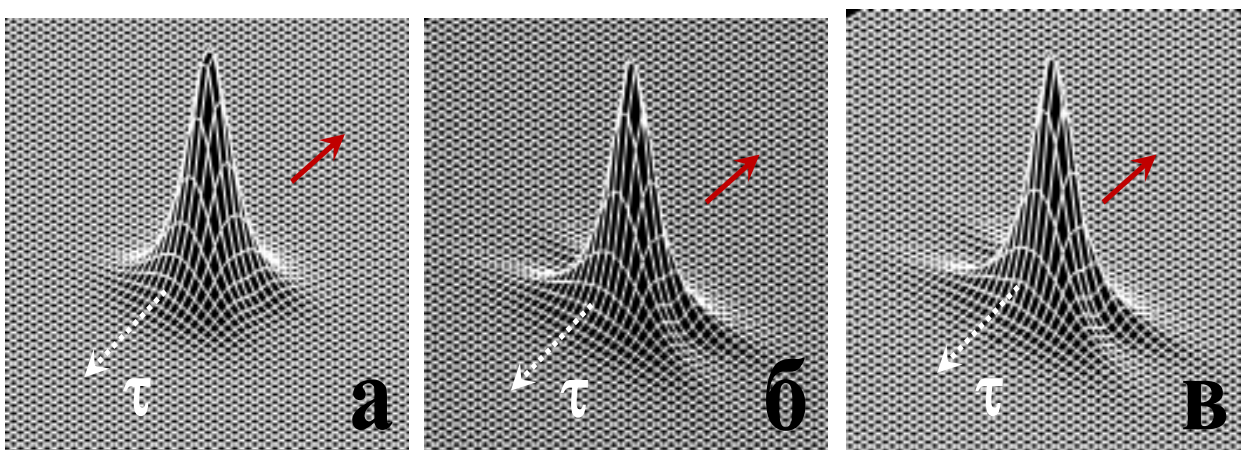
2.2 (3+1)D нелинейно уравнение на обвивката без йонизация на средата

Обичайният подход в такива случаи предполага елиминиране на всичко свързано с въпросния процес, в случая – йонизацията. В МДМ това означава да се анулират изцяло уравнения (4) и (5), както и всички членове в (3), свързани с йонизацията на средата. Тук е следван по-различен подход – търсим такива параметри на импулса и средата, при които йонизацията на средата е пренебрежима. Предимствата при този подход са: (i) намиране на реални условия, при които двата режима могат да се наблюдават, и (ii) наблюдаване на плавен преход от единия режим към другия.

В рамките на МДМ беше установено, че йонизацията е пренебрежима (концентрацията на електроните $\rho \leq 4\text{ cm}^{-3}$) при импулс с енергия 0.5 mJ , начална продължителност $\tau = 150\text{ fs}$ (Гаусова пространствено-временна форма) и среда аргон при налягане 3 atm . Резултатите от числените симулации за еволюцията на импулса при тези условия са показани на фиг. 3 и 4.



Фиг. 3. Еволюция на радиуса на импулса (а), пиковия интензитет (б) и продължителността на импулса (в) от разстоянието.

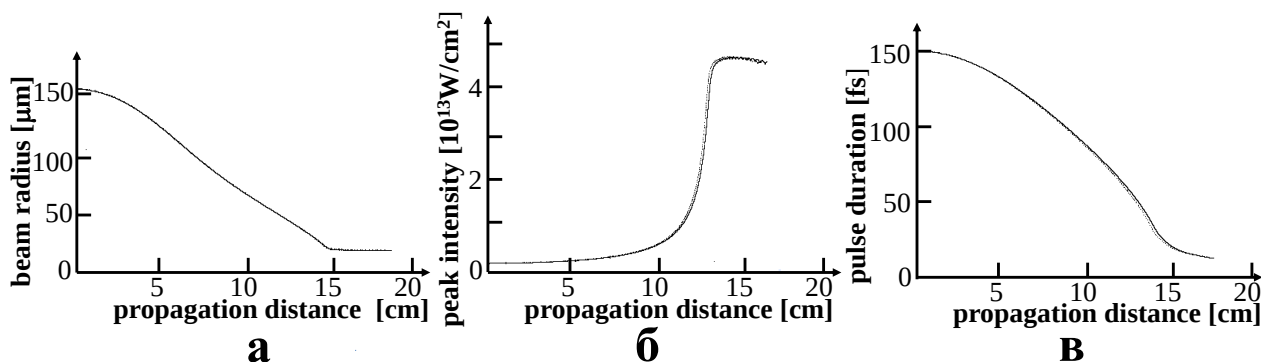


Фиг. 4. Пространствено-временна форма на компресирания импулс на разстояния, приблизително, 1m (а), 2m (б), 3m (в)

От получените резултати, фиг. 3 и 4, се вижда, че в рамките на МДМ с пренебрежима йонизация на средата се възпроизвеждат всички основни експериментални характеристики на разпространението на СССИ. По-специално, освен тези, които възпроизвежда ММ, МДМ възпроизвежда филаментацията, фиг. 3а, и, което е особено важно, стабилно солитоноподобно разпространение в рамките на определено разстояние, фиг. 3 и фиг. 4б и 4в.

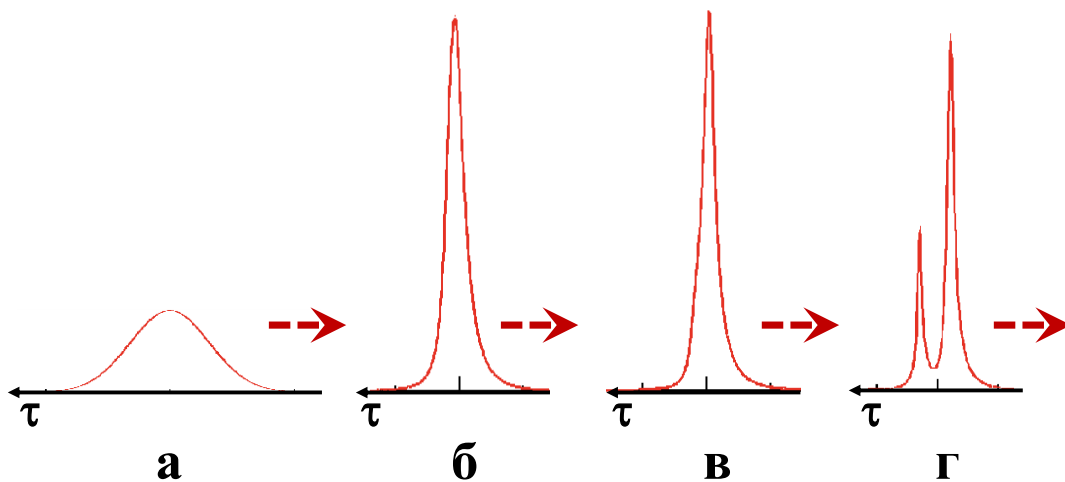
2.3 (3+1)D нелинейно уравнение на обвивката с йонизация на средата

В рамките на МДМ беше установено, че режим със значителна йонизация на средата се получава при импулс с енергия $0.5mJ$, начална продължителност $\tau = 150 fs$ (Гаусова пространствено-временна форма) и среда аргон при налягане $18 atm$. Резултатите от числените симулации за еволюцията на импулса при тези условия са показани на фиг. 5 и фиг. 6. За сравнение с предходния случай, концентрацията на електроните, в малък участък от траекторията, достига до $\rho \approx 5 \cdot 10^{17} cm^{-3}$. Огромното нарастване на концентрацията на електроните при тези условия се дължи на голямото налягане, водещо до по-силна самофокусировка, нарастване на интензитета до почти $5 \cdot 10^{13} W/cm^2$, фиг. 5б, (срещу $1.5 \cdot 10^{12} W/cm^2$, фиг. 3б) и много силната зависимост на многофотонната йонизация от интензитета – за йонизация на Ag атом трябва да се погълнат едновременно 11 лазерни фотона (на 800 nm), което е нелинеен процес от 21-ви порядък, $\chi^{(21)}$.



Фиг. 5. Еволюция на радиуса на импулса (а), пиковия интензитет (б) и продължителността на импулса (в) от разстоянието

От получените резултати, фиг. 5 и 6 е видно, че в рамките на МДМ с йонизация на средата се възпроизвеждат всички основни експериментални характеристики на разпространението на СССИ, включително филаментацията и относително стабилното солитоноподобно разпространение в рамките на определено разстояние, фиг. 6б и фиг. 6в. Основната разлика със случая с пренебрежима йонизация е, че сега разстоянието на което се наблюдава стабилизация на импулса е значително по-късо, отстоянието между импулсите



Фиг. 6. *Еволюция на временния профил на импулса: начален импулс (а), компресиран импулс в две различни положения (б) и (в), и разцепен импулс (г)*

на фиг. 6б и фиг. 6в е около 10 см. От друга страна, йонизацията води до много по-силна самокомпресия на импулса: от около 3 пъти, в случай с пренебрежима йонизация, до над 10 пъти, в този случай с йонизация.

4. Заключение

Предложен е *минимален достатъчен модел*, в рамките на който могат да се опишат всички основни елементи от динамиката на *свръхинтензивни свръхкъси светлинни импулси* в обемни нелинейни среди. Изяснена е ролята на йонизацията върху динамиката на тези импулси, като е показано, че йонизацията води до по-голяма самокомпресия на импулса, като същевременно затруднява постигането на стабилизация на импулса при разпространение.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Chernev P. Petrov V., 1992, *Opt. Lett.* **17**, 172
- [2] Ranka J. K., Schirmer R. W., Gaeta A. L., 1996, *Phys. Rev. Lett.* **77**, 3783
- [3] Zozulya A. A., Diddams S. A., Van Engen A. G., Clement T. S., 1999, *Phys. Rev. Lett.* **82**, 1430
- [4] Silberberg Y., 1990, *Opt. Lett.* **15**, 1282
- [5] Koprinkov I. G., Suda A., Wang P., Midorikawa K., 1999, *Jap. J. Appl. Phys.* **38**, L 978
- [6] Koprinkov I. G., Suda A., Wang P., Midorikawa K., 2000, *Phys. Rev. Lett.* **84**, 3847
- [7] Hauri C. P., Kornelis W., Helbing F. W., Heinrich A., Couairon A., Mysyrowicz A., Biegert J., Keller U. 2004, *Appl. Phys.* **B79**, 673

- [8] Couairon A., Francko M., Mysyrowicz A., Biegert J., Keller U. 2005, *Opt. Lett.* **30**, 2657
- [9] Koprinkov I. G., Todorov M. D., Todorova M. E., Todorov T. P., 2007 *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **40**, F231
- [10] Todorov T. P., Todorova M. E., Todorov M. D., Koprinkov I. G., 2014, *Opt. Commun.* **323**, 128
- [11] Brabec T., Krausz F., 1997, *Phys. Rev. Lett.* **78**, 3282.
- [12] Berge L., Skupin S., Nuter R., Casparian J., Wolf J.-P., 2007, *Rep. Prog. Phys.* **70**, 1633
- [13] Koprinkov I. G., 2004, *Appl. Phys. B - Lasers and Optics* **79**, 359

X-RAY QUASI-PERIODIC OSCILLATIONS AND ESTIMATES OF THE MASS AND THE SPIN OF THE NUTRON STAR IN 4U 1728-34

Ivan Zhivkov Stefanov

Department of Applied Physics, Faculty of Applied Mathematics and Informatics,
Technical University of Sofia,
8, Snt. Kliment Ohridski Blvd., 1000 Sofia, Bulgaria
e-mail: izhivkov@tu-sofia.bg:

Abstract: *Three of the averaged light curves from the X-ray spectrum of the neutron star binary 4U 1728-34 contain triads of quasi-periodic oscillations – two kHz, an upper and a lower one, and one low-frequency. In the present work, with the assumption that the triads occur simultaneously and with the application of the relativistic precession model the mass and the spin of the neutron star in the atoll source 4U 1728-34 is obtained. The consistency of the three independent estimates of the mass and the spin is also tested. According to the obtained results, the studied neutron star has relatively high mass and moderate spin.*

Key words: low mass X-ray binaries, quasi-periodic oscillations, neutron stars, relativistic precession model, individuals: 4U 1728-34.

1. Introduction

According to the modern understanding, the quasi-periodic oscillations (QPOs) present in the power density spectra of many low-mass X-ray binaries (LMXBs) are manifestations of physical processes from the immediate vicinity of the compact objects located in them – neutron stars or black holes. Hence, QPOs provide invaluable information about strong field gravity and its sources. Moreover, it appears that QPOs, especially kHz QPOs, are one of the few currently available methods for the measurement of the spin of compact objects.

Motta et al. [1] demonstrated that the presence of a simultaneous triad of QPOs in the power density spectrum of a black hole, consisting of one low-frequency quasi-periodic oscillation and a pair of kHz QPOs – a lower and an upper, allow us to obtain very precise estimates on the mass and the spin of the central black hole. They applied the relativistic precession model (RP) [2, 3] and assumed Kerr metric for the description of the spacetime of the black hole in the microquasar GRO J1655-40. In order to evaluate the uncertainties of the estimated parameters, mass and spin, they used a Monte Carlo technique.

In a later work, using the same model and metric, Bambi [4] reanalyzed the simultaneous triad of QPOs displayed by GRO J1655-40 and proposed an alternative, numerically much more efficient method for the obtaining of estimates and confidence limits on the black hole parameters.

In both of these studies an assessment of the adequacy of the model, in the sense of goodness of fit test, is missing.

The current work aims at an application of the RP model for the estimation of the mass and the spin of the neutron star in the LMXB 4U 1728-34 through the method proposed by Bambi [4]. As a byproduct, with this object we have the possibility to test the adequacy of the model (or the metric). The power density spectrum of 4U 1728-34 contains not one but three supposedly simultaneous triads of QPOs. Each one of them can be used for the estimation of the parameters of the neutron star, so we have three independent measurements. A natural question in this situation is whether these three independent measurements comply with each-other. A possible conflict between them could be attributed to a wrong choice of either a model, or a metric, or both.

2. Observational data

The X-ray spectrum of the atoll source 4U 1728-34 was analyzed in [5] and [6]. The light curve which presents the X-ray variability of 4U 1728-34 is divided into 256-s long segments, observations. The power density spectra of these segments are grouped in 19 intervals according to the state of the source which is determined by its position on the color-color diagram. Each interval contains 10 to 134 spectra, which are averaged at the end. According to [5], the change of the selection criteria, which determine the inclusion of a given observation in one or another interval, does not significantly change the averaged light curves.

Three of the 19 intervals contain triads of QPOs consisting of one low-frequency quasi-periodic oscillation and a pair of twin kHz QPOs. They are reproduced here in Table 1.

Table 1 *Observed values of the QPOs of 4U 1728-34, given in reference [6]*

interval	LF, (Hz)	L, (Hz)	U, (Hz)
10	42.14 ± 0.77	513 ± 18	849.5 ± 2.0
11	45.52 ± 0.66	561 ± 11	875.7 ± 1.6
12	46.70 ± 0.91	604 ± 14	907.6 ± 2.5

3. Relativistic precession model

According to the RP model the X-ray emission is modulated by the motion of hot inhomogeneities dubbed hot spots in the accretion disk. The two kHz QPOs, the upper and the lower, and the low frequency QPOs are manifestations of the orbital ν_ϕ , the periastron $\nu_\phi - \nu_r$ and the nodal precession $\nu_\phi - \nu_\theta$ frequencies of the hot spot, respectively. The epicyclic frequencies for evaluated with Kerr metric are [7, 8]

$$v_{\phi} = \left(\frac{c^3}{2\pi GM} \right) \frac{1}{r^{3/2} \pm a}, \quad (1)$$

$$v_r^2 = v_{\phi}^2 \left(1 - \frac{6}{r} - \frac{3a^2}{r^2} \pm \frac{8a}{r^{3/2}} \right), \quad (2)$$

$$v_{\theta}^2 = v_{\phi}^2 \left(1 + \frac{3a^2}{r^2} \mp \frac{4a}{r^{3/2}} \right). \quad (3)$$

The upper (lower) sign corresponds to prograde (retrograde) direction of rotation of the hot spot. In this paper all the masses are scaled with the Solar mass $M_{\odot}$, the radii are scaled with the gravitational radius $r_g \equiv GM / c^2$, and the specific angular momentum $a \equiv cJ / GM^2$, where G is Newton's gravitational constant, c is the speed of light, J is the angular momentum of the star, is used.

4. Method

Bambi [4] defines the following merit function

$$\begin{aligned} \chi^2(a, M, r) = & \frac{\left(v_{LF}(a, M, r) - v_{LF}^{obs} \right)^2}{\sigma_{LF}^2} + \frac{\left(v_L(a, M, r) - v_L^{obs} \right)^2}{\sigma_L^2} \\ & + \frac{\left(v_U(a, M, r) - v_U^{obs} \right)^2}{\sigma_U^2} \end{aligned} \quad (4)$$

In order to obtain the best estimates of the parameters one usually minimizes the merit function with respect to them. In this case, however, the minimized merit function is not a chi-square variable since it is a function of three parameters, and has exactly three terms. If it was a chi-square variable it would have zero degrees of freedom which is meaningless. The value of χ^2 cannot be used for the evaluation of the goodness of the fit. It tells us nothing about the adequacy of the model. Besides, its value is zero whenever the algebraic system defined by the three observed frequencies has a solution, as mentioned in [4]. Nevertheless, we can use the merit function (4) to find the optimal values (point estimates) of the parameters of the model a , M and r , i.e. the values which minimize the merit function χ^2 .

In order to obtain a confidence level region in the plane determined by two of the parameters, e.g. a and M , we shift the parameters from their optimal values and minimize the quantity $\Delta\chi^2 = \chi^2 - \chi_{\min}^2$, where $\chi_{\min}^2$ is the minimum value of χ^2 , with respect to the third parameter, which in this case is r [9]. The minimization of $\Delta\chi^2$ with respect to one of the parameters is a constraint which reduces the number of degrees of freedom by one. The presence of three data points (three QPOs in each of the observational intervals) and one constraint means that in this case $\Delta\chi^2$ has two degrees of freedom $dof = 2$ and the values of $\Delta\chi^2$ which correspond to confidence levels 68.3%, 95.4% and 99.73% are 2.3, 6.17 and 11.8, respectively [9].

5. Estimations of the mass and the spin of 4U 1728-34

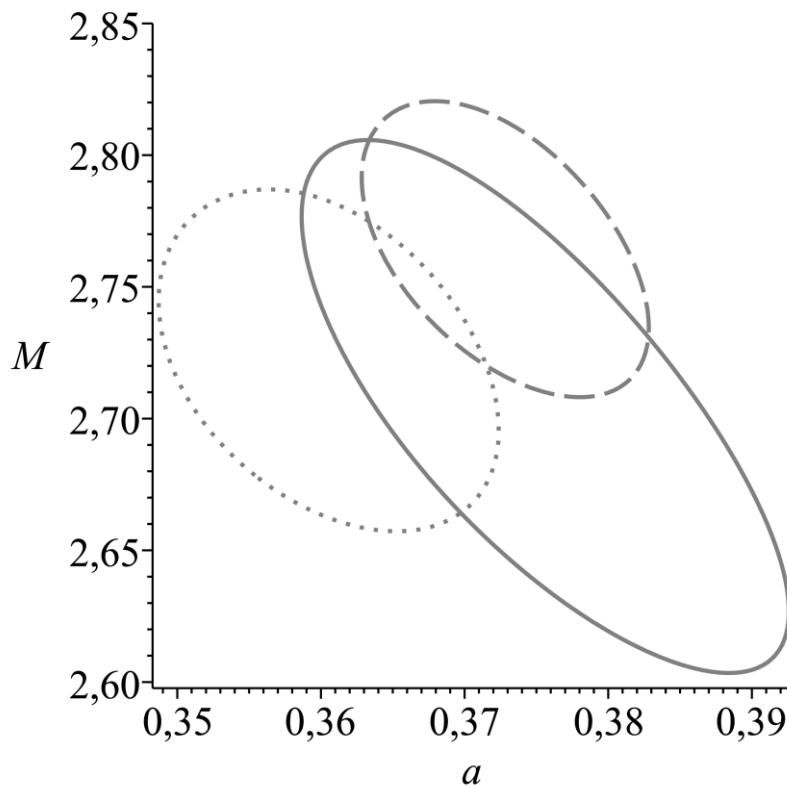


Figure.1 The 68.3% confidence regions obtained by the three intervals of observational data – 10 (solid), 11(dashed) and 12 (dotted).

The 68.3% 2D confidence regions that we obtain¹ are given in fig. 1. The contours which represent the confidence regions coming from the three intervals of observational data – 10, 11 and 12 are, respectively, solid, dashed and dotted².

¹ For an explanation on the obtaining of confidence limits on the fitted parameters in the case of nonlinear models we refer the reader to Section 15.6 of [9] but also Chapter 11.5 of [10]. For other pedagogical texts see also [11] and [12].

The optimal values of the fitted parameters a and M , and their standard errors, obtained for $\Delta\chi^2=1$ are given in Table 2.

Table 2 *Estimates on the mass and the spin of the neutron star in 4U 1728-34*

interval	a	M
10	$0.375^{+0.012}_{-0.011}$	2.70 ± 0.07
11	$0.373^{+0.007}_{-0.006}$	2.77 ± 0.04
12	$0.360^{+0.008}_{-0.008}$	2.72 ± 0.04

6. Consistency test

If we treat the different observation intervals as separate, independent measurements one might want to know whether the estimates coming from them are consistent with each other. Can they be represented by a single number such as their weighted mean? In order to answer this question we define the following chi-square variables³

$$\chi_M^2 = \sum_{i=1}^3 \left(\frac{\bar{M}_w - M_i}{\sigma_{M,i}} \right)^2, \quad (5)$$

$$\chi_a^2 = \sum_{i=1}^3 \left(\frac{\bar{a}_w - a_i}{\sigma_{a,i}} \right)^2, \quad (6)$$

$$\chi_{Ma}^2 = \chi_M^2 + \chi_a^2, \quad (7)$$

where $\bar{M}_w$ and $\bar{a}_w$ are the weighted mean values of the mass and spin, M_i and a_i denote the optimal values of mass and spin coming from the i -th observation group, and $\sigma_{M,i}$ and $\sigma_{a,i}$ are their uncertainties. See Table 2.

We use the first two of them to assess the consistency of the three mass estimates and the three spin estimates, respectively. The third one can be applied to test the hypothesis that both the masses and the spin are compatible with their weighted

² The boundaries of the confidence level regions in the $a - M$ plane are implicitly defined by the system $\Delta\chi^2 = 2.3$, $\Delta\chi_{,r}^2 = 0$. (Here the comma designates the derivative with respect to the parameter r .) This system has also geometric interpretation. It gives the projection of the 3D region defined by equation $\Delta\chi^2 = 2.3$ on the $a - M$ plane.

³ A wonderful example of the application of the chi-square test to assess the consistency of different measurements can be found in [11].

means. The values of χ_M^2 , χ_a^2 and χ_{Ma}^2 that we obtain, and the corresponding p -values evaluated with them are

$$\chi_M^2 = 0.865, \quad \text{dof} = 2, \quad p\text{-value} = 0.649$$

$$\chi_a^2 = 1.832, \quad \text{dof} = 2, \quad p\text{-value} = 0.400$$

$$\chi_{Ma}^2 = 2.697, \quad \text{dof} = 4, \quad p\text{-value} = 0.610$$

There is no reason to question the agreement between the three independent measurements since all the p -values are significantly greater than 0.05.

7. Conclusion

According to the obtained results, the studied neutron star has relatively high mass and moderate spin. As it can be seen, the three confidence regions partially overlap, i.e. we have no obvious reason to question the applicability of the relativistic precession model to the simultaneous triads of QPOs.

Had the obtained masses been lower than $2M_\odot$, the validity of the Kerr metric for the description of the space-time in the vicinity of the neutron star in 4U 1728-34 would have been questionable.

REFERENCES

- [1] Motta S. E., Belloni T. M., Stella L., Munoz-Darias T., Fender R., 2014, MNRAS 437, 2554.
- [2] Stella, L., Vietri, M., 1998, ApJ, 492, L59.
- [3] Stella, L., Vietri, M., Morsink, S., 1999, ApJ, 534, L63.
- [4] Bambi C., 2015, Eur. Phys. J. C 75, 162.
- [5] Di Salvo, T., Mendez, M., van der Klis, M., Ford, E., Robba, N. R., 2001, ApJ, 546, 1107.
- [6] van Straaten, S., van der Klis, M., Di Salvo, T., Belloni, T., 2002, ApJ, 568, 912.
- [7] Aliev A. N. and Gal'tsov D. V., 1981, Gen. Relat. Gravit. 13, 899.
- [8] Aliev A. N., Esmer G. D., Talazan P., 2013, Class. Quantum Grav. 30, 045010.
- [9] Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., Flannery, B. P., 2007, *Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing*, Third Edition, Cambridge University Press.
- [10] P. Bevington, D. K. Robinson, 2003, *Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences*, Third edition, McGraw-Hill.
- [11] Peter Scott, *Physics 133 Lab manual*, <http://scott.physics.ucsc.edu/>.
- [12] H. J. C. Berendsen, 2011, *A Student's Guide to Data and Error Analysis*, Cambridge University Press.

ПРИЛОЖЕНИЕ НА МОДЕЛИТЕ НА ИЗКРИВЕНИЯ ДИСК И ПРИЛИВНОТО РАЗКЪСВАНЕ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА АТОЛ ИЗТОЧНИКА 4U 1728-34

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: Корелацията между долната ν_L и горната ν_U от двете високи честоти на квазипериодични осцилации (QPO) в рентгеновия спектър на атोल източника 4U 1728-34 служи като основа за изследване на неговите характеристики. Прилагането на геодезичните модели на изкривения диск (WD) и на приливното разкъсване (TD) съвместно с χ^2 теста водят до приемливи стойности за оптималната маса на централната неутронна звезда, съчетано с големи стойности на минималното χ^2 .

Abstract: The correlation between the lower ν_L and the upper ν_U high frequencies of the quasiperiodic oscillations (QPOs) in the X-ray spectrum of the attol source 4U 1728-34 is a base for investigation of its characteristics. The application of geodesic models of warped disk(WD) and tidal disruption (TD) together with the χ^2 test leads to acceptable values of the optimal mass of the central neutron star along with large estimates for the minimal χ^2 .

Ключови думи: пулсари, квазипериодични осцилации, рентгенови спектри

1. Въведение

Неутронните звезди със слабо магнитно поле в състава на ярките маломасивни двойни системи често показват избухвания в рентгеновия спектър с приблизително повтарящ се ритъм, които могат да бъдат интерпретирани като квазипериодични осцилации (QPOs). Като се използва факта, че тези обекти в намиращи се в крайните стадии на звездната си еволюция са в състава на бинарни системи, могат да се направят, въз основа на законите за движението им, пресмятания за техните маси и ъглови моменти.

Отговорът на въпроса как възникват квазипериодичните осцилации е свързан със взаимодействието на звездите в системата. Прецесията на акреционните дискове, образувани около централната изключителна плътна неутронна звезда, е на практика невъзможна за наблюдение. Когато обаче голям облак от по-плътна гореща материя попадне от звездата компаньон върху диска, неговото движение може да предизвика избухвания на рентгеновия поток с приблизително периодичен характер, т.е. въпросните QPOs.

Възникналите QPOs осцилации са нискочестотни (LF) и високочестотни (HF). Макар нискочестотните (под 10Hz) да са с голям интензитет, те не

предоставят достатъчно надеждни данни поради силната си променливост. Двойките високи честоти от друга страна - горната ν_U и долната ν_L , особено ако възникват едновременно, могат да позволят оценки на параметрите на неутронната звезда. Тези честоти понякога достигат стотици, дори хиляда херца.

2. Atoll източника 4U 1728-34

Резултати за получени честоти на квазипериодичните осцилации на атол източника 4U 1728-34 се появяват в литературата за първи път в работата на van Straaten et. al. [1]. Те обработват с помощта на мулти лоренциани данни, получени през 1993 от Zhang et.al. [2]. Получените високи честоти са в диапазона на така наречените килохерцови честоти – в диапазона между 100 и 1000 Hz. На таблица 1 са представени горната ν_U и долната ν_L от високите честоти за осем интервала – от 10 до 17 включително, тъй като те съдържат и двете високи честоти. Общият брой на обработените времеви интервали е 19. Тъй като получените в изследването[1] светлинните криви са усреднени по блясък, не е съвсем ясно, че посочените в таблицата двойки високи честоти във всеки времеви интервал възникват едновременно, но за целите на нашата работа предполагахме че това условие е изпълнено.

Таблица 1. *Наблюдаеми честоти за atoll източника 4U 1728-34*

interval	Lower kHz QPOs, [Hz]	Upper kHz QPOs, [Hz]
10	513±18	849.5±2.0
11	561±11	875.7±1.6
12	604±14	907.6±2.5
13	680±10	951.0±3.7
14	754.0±3.7	1056.2±8.2
15	775.3±1.7	1107.5±7.2
16	819.9±4.1	1134±12
17	879.2±3.0	1161±16

3. Моделите на изкривения диск (WD) и приливното разкъсване (TD)

Геодезичните модели за обяснения на наблюдаваните осцилации в рентгеновия спектър на неутронните звезди и черните дупки се основават на предположението, че въртенето на акреционния диск и взаимодействието на неговия момент на импулса с този на масивния централен обект предизвикват движения на ясно проследими ярки части от диска, чиито периодични „проблясвания“ в рентгеновата част на спектъра се интерпретират като QPOs.

Моделът на „изкривения диск“ (warped disk, WD) [3] описва високочестотните осцилации като следствие от това, че осите на въртене на акреционния диск и централния обект не съвпадат. Пертурбациите които възникват са резултат от вътрешното триене и адиабатното свиване на

деформиращия се диск. За този модел долната от високите честоти е $\nu_L = 2(\nu_\phi - \nu_r)$, а горната $\nu_U = 2\nu_\phi - \nu_r$. Тук ν_ϕ и ν_r са съответно Кеплеровата и радиалната честота на въртене на предполагаема частица в акреционния диск по близка до елиптичната орбита във всеки момент.

Моделът на „приливното разкъсване“ (tidal disruption, TD) [4] се основава на въздействието на приливните сили на екстремалното гравитационно поле на еволюиралата звезда върху падащите от другата звезда уплътнения от горещ газ. Тъй като тези уплътнения се намират близо до вътрешната граница на акреционния газ, те биват буквално „разкъсани“ от приливните сили. За този модел долната висока честота е $\nu_L = \nu_\phi$, а горната - $\nu_U = \nu_\phi + \nu_r$.

4. χ^2 метода

Всяка от наблюдаваните честоти зависи от M - масата на звездата, a - ъгловия момент и r - радиусът на орбитата на която дадената честота възниква. За да могат да се извършат пресмятанията се предполага че орбитите на едновременно възникващите двойки честоти имат един и същи радиус $r_L = r_U$. Подбраните от нас модели имат още едно предимството – оптималната стойност на масата M_{opt} се получава, както показахме в [5], при стойности на момент на импулса $a = 0$ т.е. за този случай е приложима метриката на Швардшилд. Тя представлява решението на уравнението на Айнщайн от общата теория на относителността за случая на сферично тяло без заряд и момент на импулса.

Тогава:

$$\nu_L(M, r_L) = \nu_L^{obs} \quad (1)$$

$$\nu_U(M, r_U) = \nu_U^{obs} \quad (2)$$

Изключването на радиуса r от двойката уравнения позволява да се получи функционалната зависимост $\nu_L = f(\nu_U)$. С други думи, моделната функция е зададена в параметричен вид - факт, който затруднява прилагането на стандартен софтуер за статистически пресмятания.

Величината χ^2 се определя по формулата:

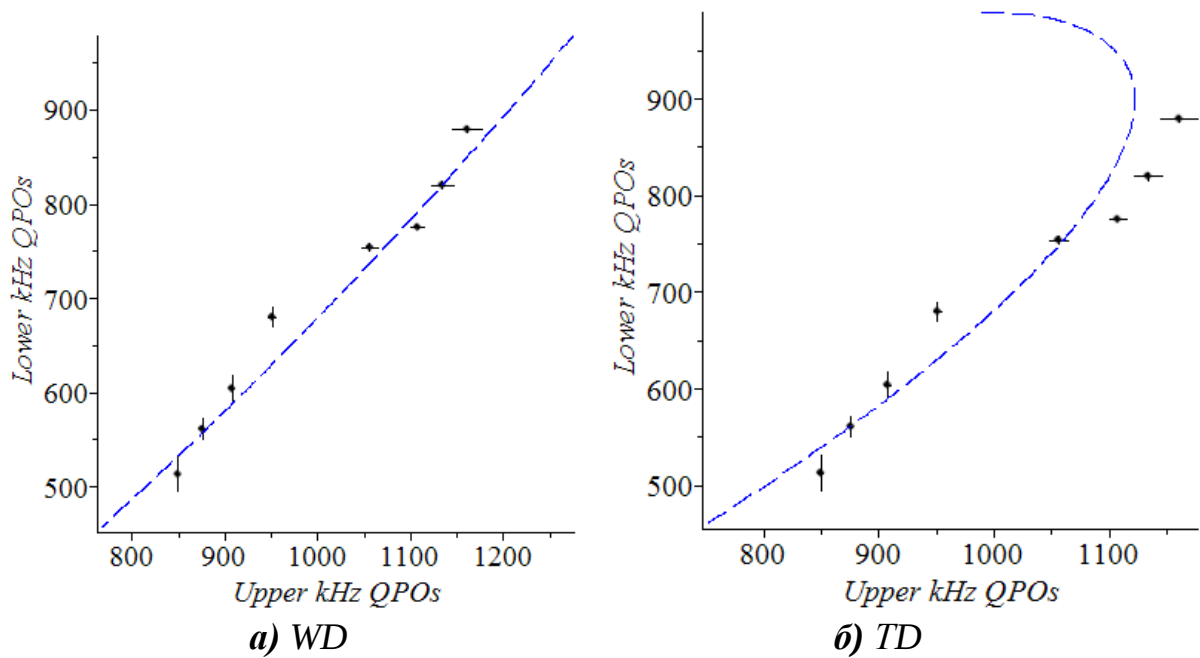
$$\chi_{U,L}^2(M) = \sum_{i=1}^N \frac{(\nu_L(M, \nu_U^{obs}) - \nu_{L,i}^{obs})^2}{\sigma_{L,i}^2} \quad (3)$$

Стандартното отклонение на зависимата променлива ν_L^{obs} е σ_L^2 , стандартното отклонение за наблюдаваните високи горни честоти ν_U^{obs} се пренебрегва и $i=1,2,3...7$. При $\chi^2 = \chi_{min}^2$ масата е оптимална – $M = M_{opt}$. За $N = 8$ двойки

честоти и един свободен параметър M , т.е. 7 степени на свобода, $\chi^2_{\min}$ трябва да бъде в границите $0 \leq \chi^2 \leq 12.02$ при 90% доверителен интервал.

5. Резултати и дискусия

χ^2 тестът е приложен за осем двойки високи честоти (виж Таблица 1) с помощта на всеки от двата избрани модела и е представена графично зависимостта на долната висока честота ν_L като функция на горната ν_U (фиг.1). При минимизирането на χ^2 , за определяне положението на кривата описваща експерименталните точки е използвана нелинейна регресия.



Фиг.1. Графика на зависимостта на долната честота ν_L като функция на горната ν_U за двата геодезични модела а) WD; б) TD

След прилагането на WD модела получаваме оценка за масата $M_{\text{opt}} = 2.217 M_{\odot}$. Тази оценка обаче е направена на базата на минималната стойност на редуцираното χ^2 , т.е. $\chi^2_{\min}$, разделено на броя на степените на свобода, които в нашия случай са $N = 7$. При прилагането на WD модела $\chi^2_{\min}/\text{d.o.f} = 33.7$ при очаквана стойност, близка до единица, т.е. на практика се наблюдава лошо съответствие между модела и експерименталните данни.

В случая на TD модела оценката за масата е отново напълно приемлива за неутронна звезда $M = 2,221 M_{\odot}$. За TD модела $\chi^2_{\min} = 70.0$.

Избраните от нас модели, макар да дават добри стойности за масите, може да не са подходящи за получаване на параметрите на обекта като цяло. Намек в тази посока е изследването на Lin et al. [6]. Те прилагат модела на деформирания диск WD за атолен обект 4U1636-536 и получават подобни високи стойности за редуцираните $\chi^2_{\min}/\text{d.o.f} = 31$

Може да съществуват и други причини за високите стойности на $\chi^2_{\min}$. Твърде е възможно избраната метрика на Швардшилд да не е подходяща. Бавно въртящи се неутронни звезди с маси близо до $3 M_{\odot}$ обикновено се описват по-добре с метриката на Кер. Неотчитането на стандартното отклонение на независимата променлива v_U при минимизиране на χ^2 също може да е източник на допълнителна грешка. Сложното поведение на тези реални обекти може да изисква прилагането на повече от един модел. Добро решение може да се окаже използването на switch resonance модела на Стухлик [7], при който се предполага съществуването на резонансна точка, при която става драстична промяна на условията за образуване на наблюдаваните QPOs, т.е става превключване от един модел към друг.

6. Заключение

Обект на изследване е атол източникът 4U 1728-34, за които са известни наблюдаемите стойности на 8 двойки долни и горни високи честоти в рентгеновия му спектър. Сравнението на зависимостите в параметричен вид, с който се изчисляват честотите на високите квазипериодични осцилации според модела на изкривения диск WD и на приливното разкъсване TD с наблюдаваните честоти, води до изводи за масата на централната неутронна звезда при предположение за нулева стойност на ъгловия му момент.

Оценките за масата според двата модела са много близки $\approx 2,2 M_{\odot}$ и приемливи за неутронна звезда. Минималните стойности на $\chi^2_{\min}/\text{d.o.f.}$, въз основа на които са направени тези оценки обаче, са твърде високи $\chi^2_{\min}/\text{d.o.f.} = 33.7$ за WD и $\chi^2_{\min}/\text{d.o.f.} = 70.0$ за TD съответно. Причините за това могат да са свързани с неотчитане стандартното отклонение на независимата променлива, неправилен избор на метрика, неправилен избор на модел и т.н. Едно от възможните решения може да се крие в прилагането на switch resonance модела на Стухлик [6], който да осигури адекватно описване на поведението на обекта в различни моменти от неговото развитие.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] van Straaten S., van der Klis M., Salvo T, Belloni T, 2003 <https://arxiv.org/abs/astro-ph/0107562>
- [2] Zhang, W., Giles, A. B., Jahoda, K., Soong, Y., Swank, J. H., & Morgan, E. H. 1993, Proc. SPIE, 2006, 324.
- [3] Kato S., 2005, PASJ, 57, 679
- [4] Cadez A., Galvani H., Kostic U., 2008, A&A, 487, 527
- [5] Ташева Р., Стефанов И, 17-20 април, 2019, Дни на физиката
- [6] Lin, Y. , Boutelier M., Barret D., Zhang Sh., 2011, ApJ, 726:74
- [7] Stuchlik Z., Kotrlova A., Torok G., 2013, A&A, 2013, 552, A10

ENIGMATIC INDIAN OCEAN

Boyko Rangelov

Geophysics Department, Mining and Geology University, e-mail: brangelov@gmail.com

Resume. *The Indian Ocean demonstrates many unusual and strange facts related to the geomorphology, natural geophysical fields' anomalies, natural hazards density, multihazards early warning systems, etc. All these phenomena are described, supported by the visual materials, and possible explanations from the recent geophysical point of view. Some of the phenomena require additional research and investigations to reveal the specifics and correct interpretation.*

Key words: Indian Ocean, unusual observations and phenomena, scientific interpretation.

1. Introduction

The Indian Ocean has a lot of specifics from many points of view. The geomorphology as a result of the geotectonic development and recent geodynamics reveal two major units of the oceanic plate – the west part (with very high geodynamic activity) and eastern part – much more calm, but separated by other continental and oceanic plates with the highest geotectonic activity in the world. This frame constructed almost all peculiarities' of the Indian Ocean bottom bathymetry, margins, contemporary depths structures and continental elevations development. Anomalous negative gravity field in the geoid of the planet, highest seismic and volcanic activity, geographical configuration provoking active influence from tsunamis, typhoons, heavy rain and droughts, forest fires and sand storms and many other natural hazards presented to the most populated coastal areas in the world. The needs to protect the population and infrastructure after several major disasters (M9.1 Sumatra earthquake of 2004, followed by the most deadly tsunami in the whole human history, heavy floods in India, Sri Lanka, Indonesia, Myanmar, typhoons and volcanic eruptions during the last decades) reveal the need of the modern multihazards early warning systems at local and regional level.

These observed phenomena are under the extended scientific research by many specialists trying to discover the deeper understanding about the reasons, development and unusual peculiarities – why, where and when these phenomena exist, what is their influence to the population, economics and ecology problems and how they can be solved? The paper presents many of the observed phenomena, their geophysical peculiarities' and focused to some unsolved problems related to them.

2. Data and materials

Most data and used materials are extracted from the public sources and many of them have been collected and presented in different publications during the execution of the Erasmus+ CABARET Project (2016-2020). Data for the geodynamics, geophysics, seismicity, gravity field and the origin of Maldives [1], [2], [3], have been processed during the investigations of the Maldives and Indian Ocean geotectonic development and geodynamics and reflected in [4], [5].

The data and information about the natural hazards and early warning systems have been collected, interpreted and presented in [7] and [8].

Geomorphology and Geodynamic features

The movement of the India subcontinent since the Cretaceous to the present position lasts about 71 My and according all reconstructions is following the straight line. This is strange because the driving force keeps the direction relatively constant for so long time interval – fig. 1.

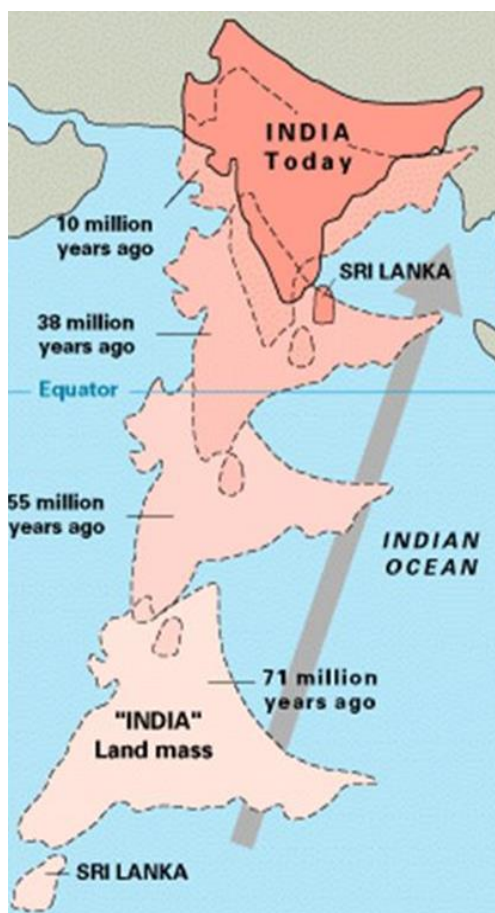


Fig. 1. *Movement of the Indian subcontinent with Sri Lanka during the last 70 My*

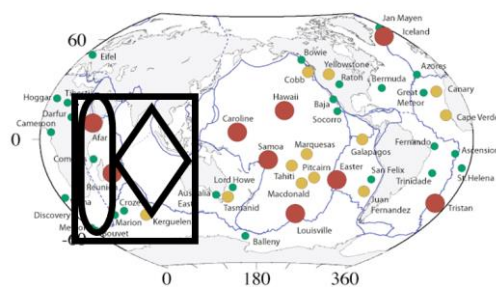


Fig. 2. *The position of the Indian ocean plate (IOP) – west part (ellipse) and east part (diamond).*

The west and east part of the IOP are completely different in their geodynamic characteristics – the east part is calm with no significant number of earthquakes. The west part is much more seismically active, contains hot spots, active volcanoes and active fault structures – fig. 2.

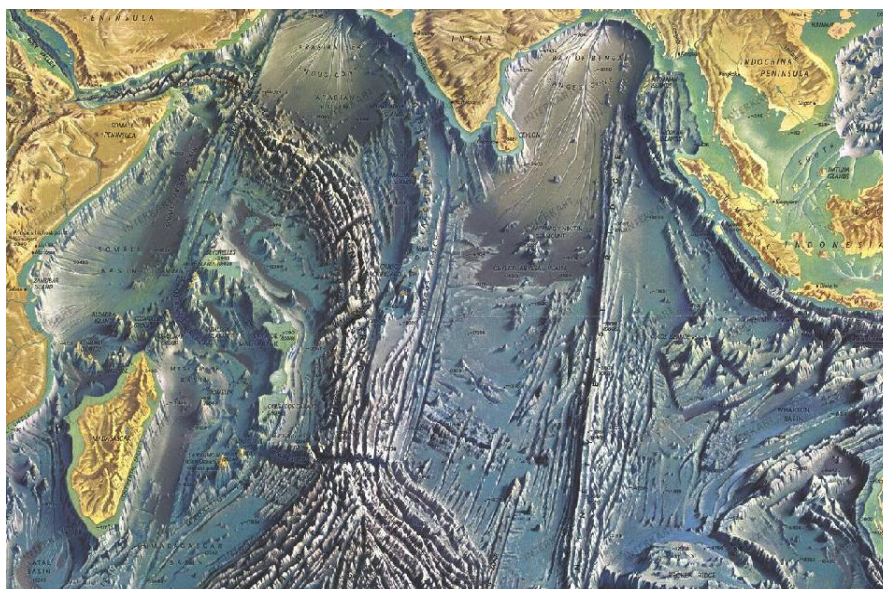


Fig. 3. *Bottom features of the Indian Ocean. Note the straight structure from Antarctica to the Bengal bay – so called "90E ridge" in the east part of the IOP.*

The strange straight line structure called "90E ridge" is a linear feature longer than 7 000 km. This is the only bottom mountain of such shape and size in the world. There is not a clear explanation about the origin and geodynamics of this geodynamical calm and not presently active structure – fig. 3.

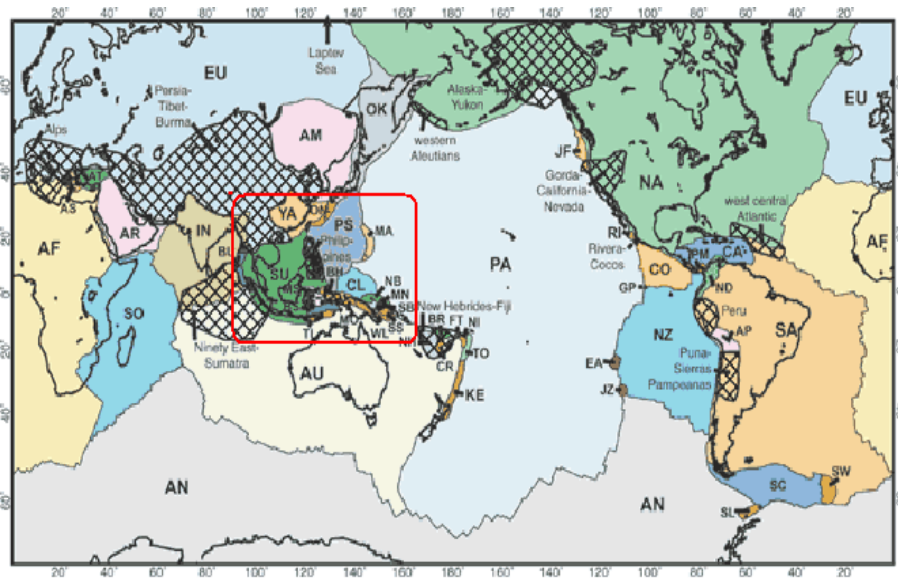


Fig. 4. Map of east boundary of the IOP. Note the anomalous number of plates and microplates contained in the red quadrangle.

The east boundary of the IOP is a great paradox of concentration of several major plates and many microplates. This is the only place of the globe where such phenomena exist. No clear explanation is obtained up to now – fig. 4. The collision zone eastward is one of the most geodynamical active zone in the world.

Geophysics and Geophysical fields

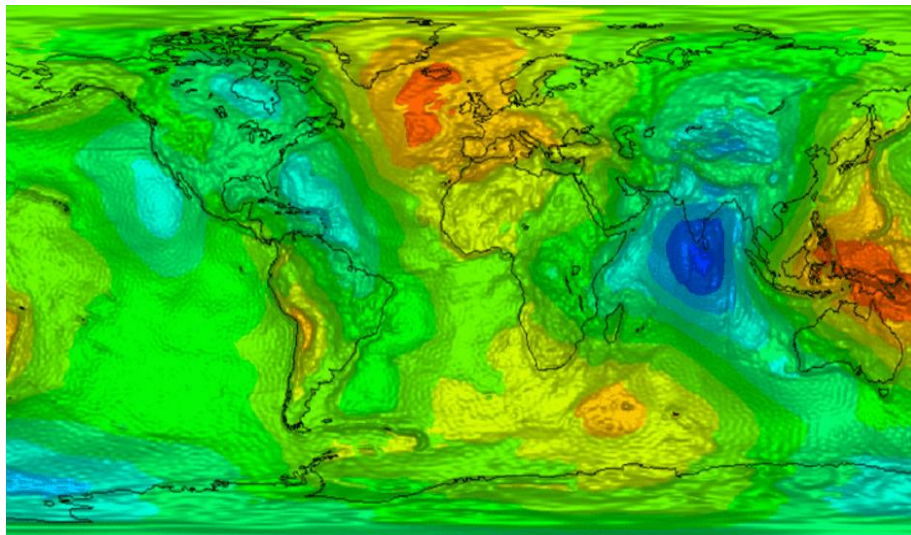


Fig. 5. Map of the geoid gravity field by the GOCE mission.

The most intensive geoid gravity anomaly reaches more than – 40 mGal. There is no clear explanation about the intensity and the position of this large anomaly – fig.5.

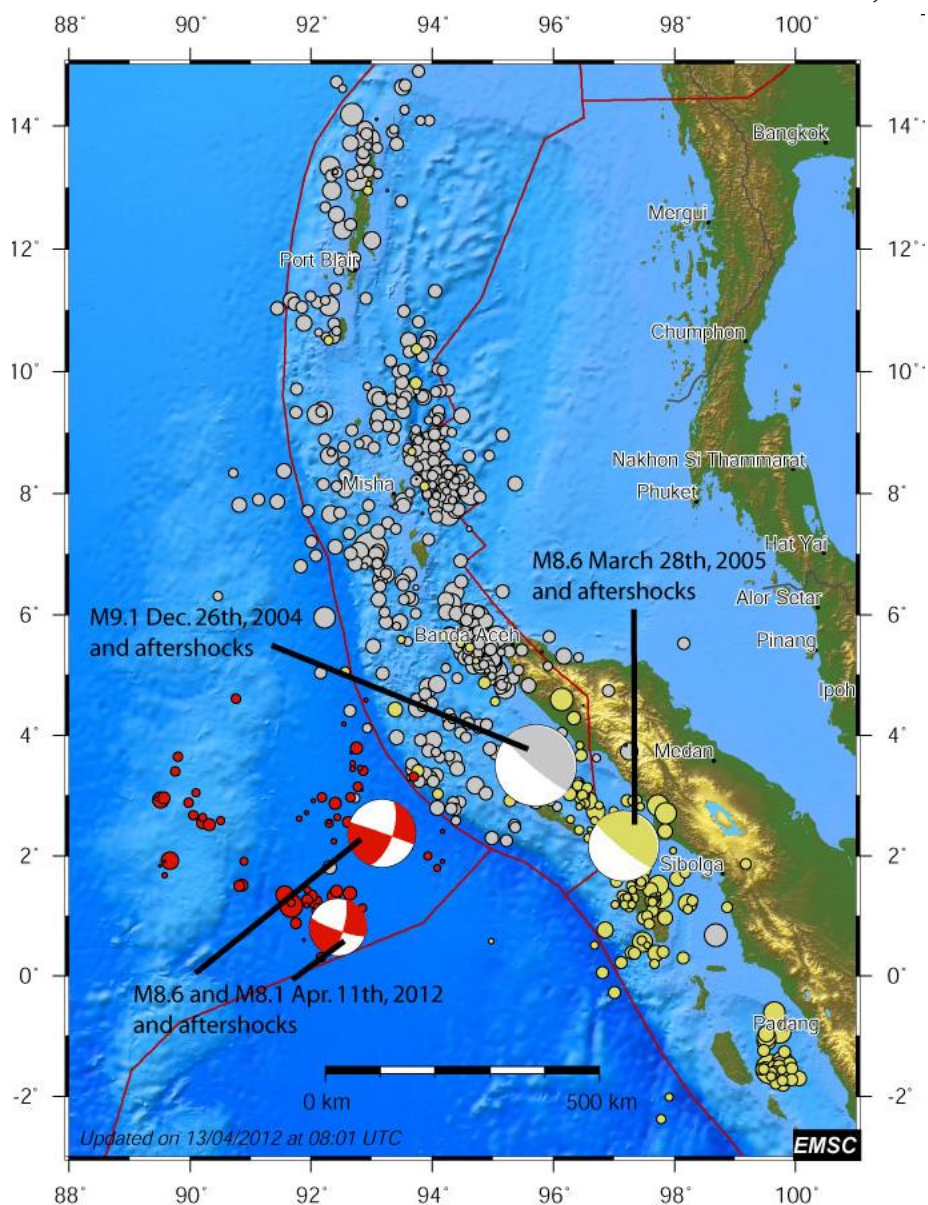


Fig. 6. Map of the devastating M9.1 and M8.6 earthquakes (2004-2005). The M8.1 and M8.6 of 2012 indicating the probable origin of new tectonic boundary in IOP.

For the first time in the history of Geology the creation of the possible new tectonic boundary was expressed by the scientists related to the two very strong earthquakes occurred on 11th April 2012 – fig. 6. (for examp. Yue H, Lay T, Koper KD. En échelon and orthogonal fault ruptures of the 11 April 2012 great intraplate earthquakes. Nature. 490: 245-9.)

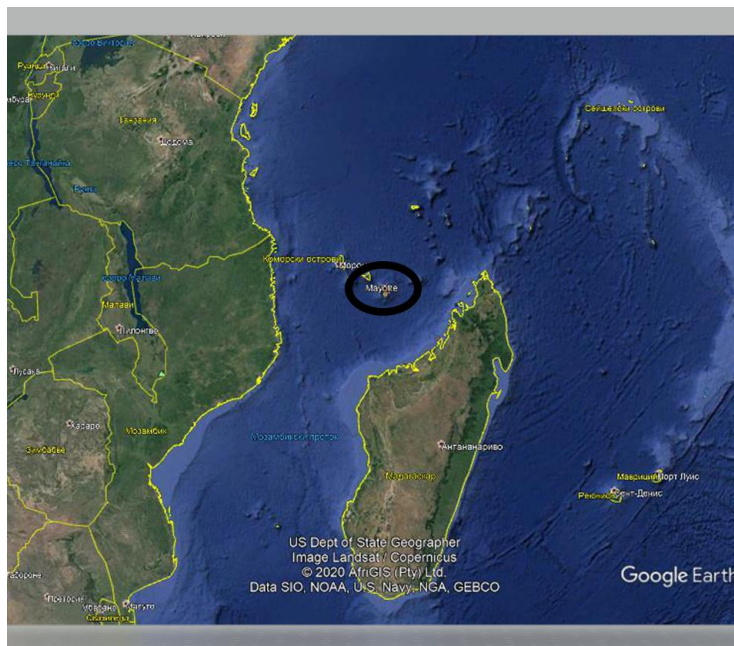


Fig. 7. *Location of the Mayote island.*

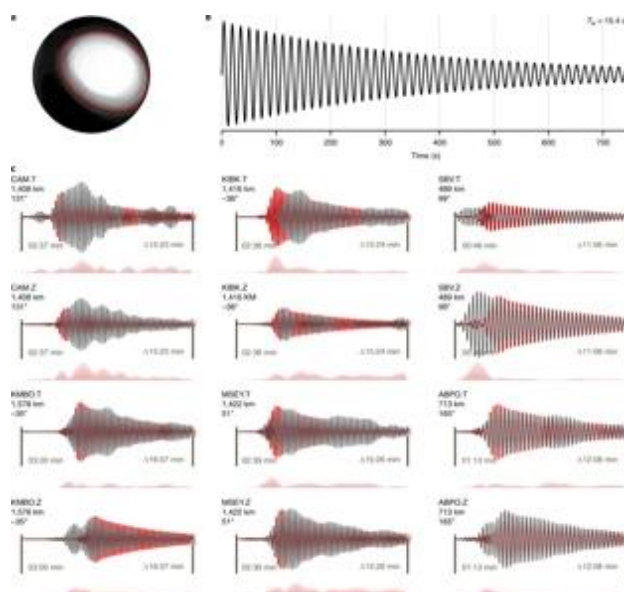


Fig. 8. *Harmonic signals generated by the Mayote phenomena, registered to several seismic station.*

The location of the Mayote Island – fig. 7. The very harmonic signals registered by the world seismic network are presented to fig. 8. The generation mechanism of these signals remain unknown several months after 11th November 2020, until the idealized model was created in [9] – fig. 9. This model has difficulties to explain all observations.

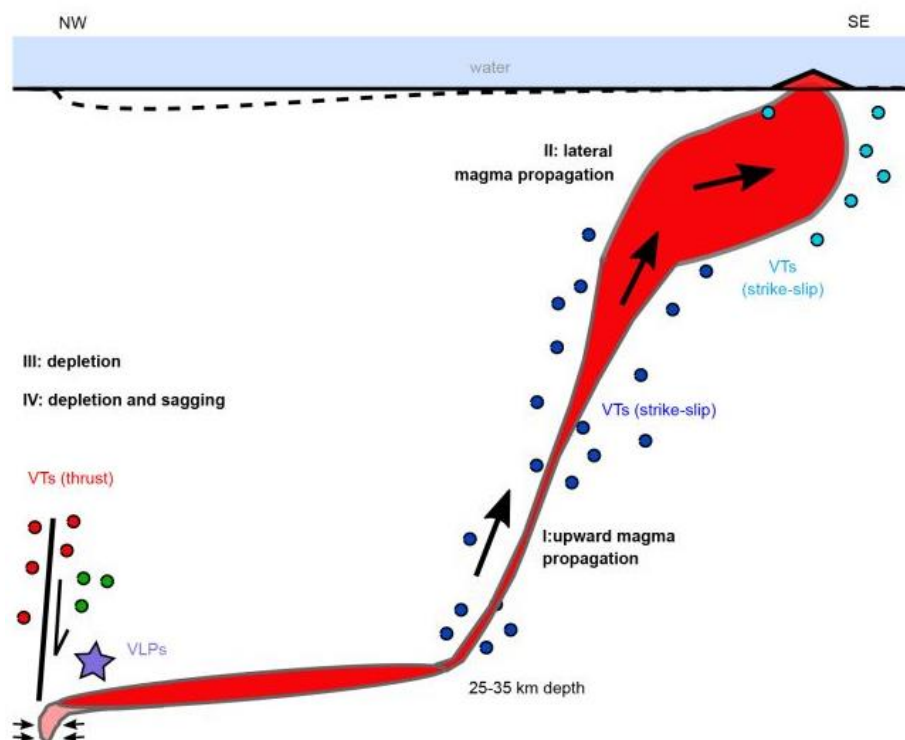


Fig. 9. *The idealized model trying to explain the observations of the possible volcanic hum generated by the movement of the magma in the channel connecting the magma chambers – deep (at depth about 20-25 km) and shallow (depth 2-3 km) below the underwater volcano*

Natural hazards and early warning systems

In general the eastern part of the Indian Ocean is one of the most prone areas to the natural hazards. The highest seismic and volcanic activity, geographical configuration and bottom depths provoked active influence from tsunami, floods, typhoons, heavy rain and droughts, forest fires and sand storms and many other natural hazards. They are presented to the most populated coastal areas in the world and investigations show that several of the intensively populated cities and industrial areas – ports, NPP's, other facilities are the most prone sites in the world. For example Indonesian's Padang city is the most dangerous city in the world. This city has about 1 000 000 inhabitants. The expressed risks are from floods, landslides, earthquakes, tsunamis, rainfalls, forest fires, storms, active volcanoes. This formulate the highest complex risk – about two times more than every city in the World. What is very important is also the high frequency of occurrence. All these elements need the development and correct functionality of the multihazards early warning systems. As typical example is taken Indonesia – fig. 10.

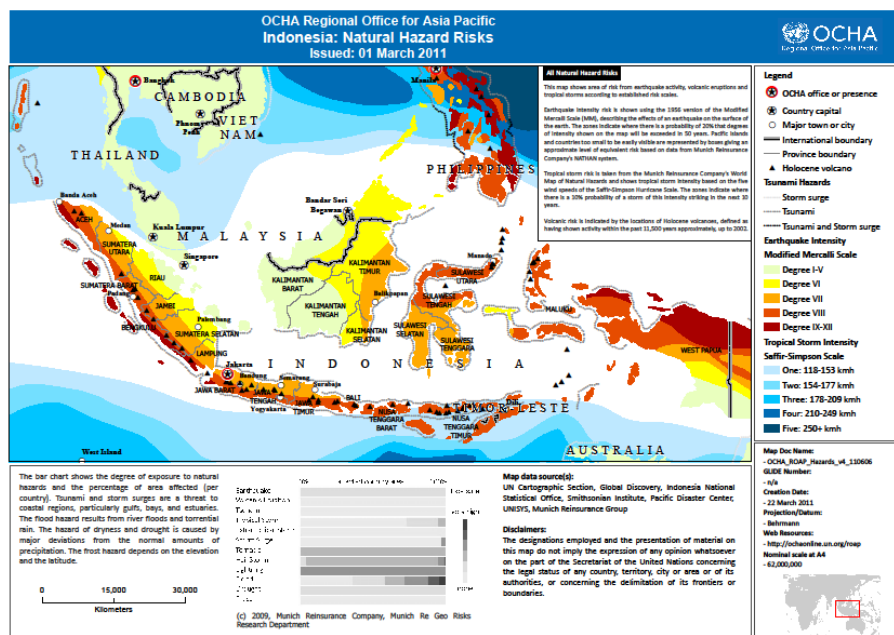


Fig. 10. Map of the Indonesia Natural Hazards Risks (2011).

Indonesia is a typical example of the very prone country to the natural hazards and risks. The most populated Islamic country is spread over 17 000 islands with high concentration of people and infrastructure. After the Boxing Day (26th December, 2004) M9.1 earthquake and the following tsunami the country experienced the most deadly disaster after the Krakatau eruption in 1883. A lot of foreign tourists also lost their lives. With the intensive help of Germany the Indian Ocean Tsunami Early Warning System was created and started functioning after 2 years. Simultaneously the Indonesian early warning multihazards system was established. Two main administrative units are acting to mitigate the negative effects to the people in Indonesia – BMPB (the local Civil defense governmental agency) and BMKG (the local EWS administration under the direct presidency control). These two units reach high professionalism and effectiveness. The equipment is at the best level. Seismology broad band stations network control the local and regional seismicity – fig. 11. The system of “DART” stations are responsible for the detection and data emissions about the tsunami generated by earthquakes - fig. 12. There are also additional systems for GNSS, satellite communications, etc. All this equipment is connected with the International Indian Ocean Tsunami Early Warning System (IOTEWS) and provides and receive information about earthquakes and tsunamis covering the entire Indian Ocean.

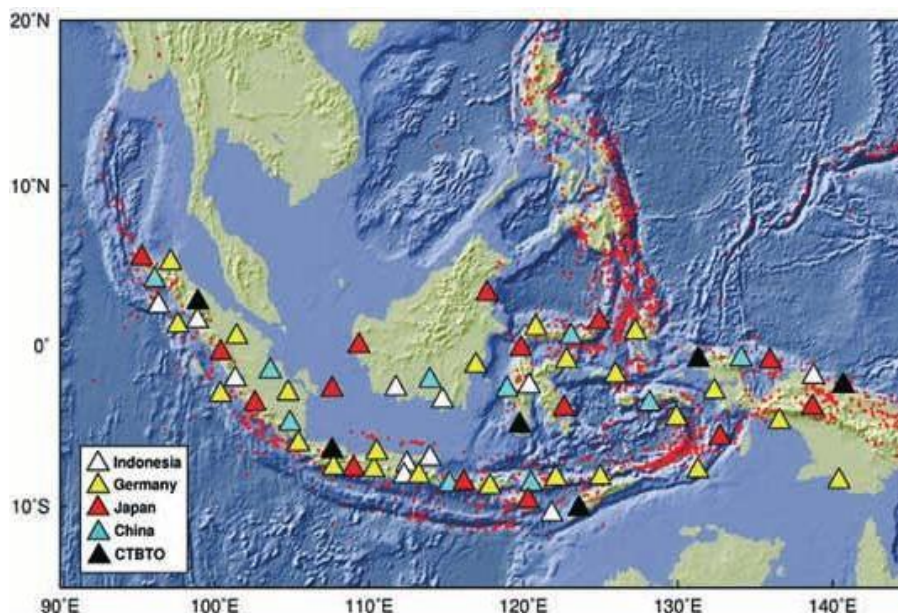


Fig. 11. *Sketch of the international seismic network of Indonesia.*



Fig. 12. *International DART buoys system in Indonesia.*

Despite the well-equipped and institutional organization of the Civil defense and the early warning systems in Indonesia, two events in 2018, show the failure of these organizational mitigation measures. These events became the illustration of the low effectiveness when the nature generates unusual, strange, unexpected events, which can kill people and bring destruction and damages.

The first event – Palu earthquake and tsunami generated huge damages and kill more than 2 256 deaths, more than 70 000 houses damaged, 10 679 injured, 1 075 missing, 70 821 evacuated and about 206 500 refugees.

The second event – Krakatau volcanic eruption, followed by a flank collapse and a huge tsunami caused deaths – 437, injured – 14 060, missing – 25, property damage – 2,752 houses and 510 boats and ships.

3. Methodology

The methodology used for data collection and presentation is as follows:

- Graphic presentation of the investigated areas and phenomena. This gives a possibility to cover the whole area of the Indian Ocean and surroundings.
- Comparison and discovery of the phenomena not usual and well explained by the recent scientific geodynamics paradigm.
- Investigation of the strange phenomena, paradoxes and unusual observations to reveal the abnormal peculiarities.
- Search of explanation and/or enigmatic ideas to perform to the strange phenomena.
- Development of tools to use pragmatically the observations, interpretations and applications of the phenomena for the safety and security of the populated areas and environment.

Similar approach gives the possibility of the interpreter to select the best fit of the data and information to the task and required elements thus providing flexibility and multi variances. The algorithms and models used, consider the scale of the investigated area, the density of phenomena etc., but need most accurate assessment and explanations. Frequently it is not possible to assure such accuracy due to the intensive variability of the geography, geophysics and environmental specifics and needs the use of different approximations and extrapolation. The geodynamics aspects are most important to explain scientifically the observed facts and phenomena. Some specifics are separately developed at the results and discussion section.

4. Results and Discussion

The data and the described methodology have been performed to the Geomorphology and Geodynamic phenomena. All observed peculiarities can be explained by the recent geodynamics paradigm, but needs much more investigations to explain clearly the “90E ridge” structure, its length and shape and the mantle conditions and movements during the last 20 My, which do not disturb the linear shape of the bottom mountain.

The combination and the concentration of the macro and micro plates to the eastern boundary of IOP are explainable by the Plate tectonics paradigm. Deeper investigations are needed to establish why this area is constructed in this way and

why the mantle and asthenosphere deep movements predestinate such unique structure of this very specific area.

The application of the methodology to the geophysical fields and unusual geophysics phenomena also show explainable results. The deep negative gravity anomaly probably is due to the lower density of the deeper layers. This needs additional investigations to the mantle, asthenosphere and even deeper horizons to reveal the reason of this lower density and why the size and intensity are these, but not others.

The Mayote incident needs much more detailed studies, especially to the chemical composition of the rock samples from the lava cone of the underwater volcano. This can suggest the possible explanation of the deep origin of the magma chambers and the velocity of magma movements in the magma channel to the ocean bottom surface.

The natural hazards and early warnings in Indian Ocean (the example is Indonesia) are important from human point of view. Thus the examples of Palu earthquake and the Krakatau eruption and the following tsunami are important to learn the lessons why the systems failed to provide secure warnings and to save people lives and infrastructure stability.

Due to the previous analysis and publications [3], [6], [7] the following recommendations are suggested [8]:

- Completely new design and establishment of a seismic early warning systems with sensors located in each seismic source. The specialized devices have to be connected in a specialized SEWS. This approach can present independent establishment to the SEWS and its use. Much better is to consider unification of all devices in the SEWS and TEWS which is essential to the highest effectiveness.
- The establishment of a TEWS is necessary due to the possibility of a coincidence in time of the high water level (for example seasonal flooding or storm surge, etc.) and the tsunami generation in a far field source. In such a moment the small additional water level increase can generate much more destructions due to the nonlinear effects observed in similar situations (Palu 2018 example).
- The TEWS needs a specialized approach for the assessment of the locations and the equipment establishment. The earlier investigation show that each site needs rather specific equipment, based on the specialized investigations [3], and considering the local conditions. In any case the complex bottom stations are an obligatory element of such systems [6], [8].
- The construction of a specific decision matrix, specialized protocols of announcements and other elements providing the warning issue to the authorities and population is another direction which must be developed for any MHEWS [6].
- The consideration of the non-seismic tsunamis is now essential element of the MHEWS (Palu and Anak Krakatau cases) in 2018 needs deeper investigations and new concepts.

5. Conclusion

The collected data and information about many geodynamic peculiarities observed in and around the Indian Ocean are interpreted from modern scientific point of view. Most of the observed phenomena are easy to explain by recent scientific paradigm. Several of the mentioned facts (for example negative gravity anomaly, Mayote Island hum, linear 90E ridge, etc.) need additional complex research and multidisciplinary approach to reveal the specifics of these strange phenomena. In any case the extended research, new data and a complex analysis are the necessary tools to discover new and/or known enigmatic features of the Indian Ocean and their scientific competent explanations. This can help the preventive and mitigation measures targeted to the populated coastal communities all around the Ocean.

Acknowledgements

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.

REFERENCES

- [1] B. Ranguelov, F. Shadiya. Fractals, Natural Disasters and Ecological Problems of Maldives., J. Ecological Eng. and Env. Protection, pp. 18-25, 2018.
- [2] B. Ranguelov, F. Shadiya, and Y. Ivanov. Fractal Nature of the Maldives Archipelago. Proc. "Days of Physics", TU, Sofia, 18-21 April, pp. 81-86, 2018.
- [3] F. Shadiya, B. Ranguelov. The Maldives natural hazards and early warning system. Proc. Days of Physics, TU, Sofia, 18-21 April. pp. 87-94. 2018.
- [4] B. Ranguelov,. Multihazards early warning systems - CABARET Project (Indian Ocean case), Proc. Conf. Ecology and Health., Plovdiv, 7th June, 2018. pp. 254-257, 2018.
- [5] F. Shadiya, B. Ranguelov, Fractal nature of Maldives, natural disasters and ecological problems., Proc. Conf. Ecology and Health., Plovdiv, 7th June, pp. 258-263, 2018.
- [6] B. Ranguelov, Natural Hazards – nonlinearities and assessment., Acad. Publ. House (BAS), Sofia, 327 pp., 2011.
- [7] B. Ranguelov, A. Frantsova., Multihazards early warnings. Research, models and Bulgarian expertise., LAMBERT Academic Publishing., Saarbrücken, 224 pp. 2017.
- [8] B. Ranguelov, Limited time's models of multihazards early warning systems (earthquakes and tsunamis). Case studies. Book of Abstracts. 9th Intl. Conf. of Building Resilience. 13-15th Jan. Bali, Indonesia. p.80, 2020.
- [9] <https://www.livescience.com/64190-weird-seismic-hum.html>

MAPPING AND DIGITALIZATION OF THE GROUND CONDITIONS FOR THE SEISMIC HAZARD ASSESSMENT

**Boyko Rangelov¹, Dimo Solakov², Stefan Dimovsky¹, Atanas Kisiov¹,
Bozhurka Georgieva¹**

¹ Geophysics Department, Mining and Geology University, e-mail: brangelov@gmail.com

² Seismology Department, NIGGG, e-mail: dimos@geophis.bas.bg

Resume. *This work is presenting the methodology, data sources and mapping of the soil ground conditions reflected by the parameter Vs₃₀. This parameter is an integral characteristic of the ground conditions used in almost all procedures of the seismic hazard mapping software. The Vs₃₀ means the velocity of the transverse seismic waves to the depths of 30 meters of the ground layers. It depends of many factors such as density and type of rocks and sediments of the surface earth's strata, surface water level, the strength of the medium, etc. and modifying the influence of the seismic waves to the structures located on the surface. The digitalization of this parameter is the main task solved for several big cities of Bulgaria intended to the seismic hazard and risk assessment. Examples of the solutions are presented.*

Key words: ground conditions, seismic hazard models, digitalization.

1. Introduction

The mapping of the natural hazards and environmental threats, vulnerability of structures and risk assessment and management are important issues to the prevention of population and the infrastructure [1, 2]. The assessment of the damages and losses is the most important task in case of huge catastrophes and frequently influencing the GDP of any country [3]. The most advanced techniques and technologies are extensively used for the research and assessment of the consequences of the natural and technological disasters such as space remote sensing, high effective communication systems, etc. [4, 5].

The seismic hazard and risk assessment in the recent times are exploited and implemented using different technologies, the most popular of which are models for simulation and risk management. This study is focused to the Vs₃₀ determination and digitalization as the very important parameter to the seismic hazard modeling.

The Vs₃₀ means the average velocity of the transverse seismic waves (S-waves) to the depths of 30 meters. This important characteristic is responsible for the S wave's velocity changes in the most upper ground layer and is an essential element included in the most calculus software packages for seismic hazard and risk assessment (HAZUS, EMERCOM, etc.) [6]. Increased difficulties appear when the Vs₃₀ determination is necessary to be done for the seismic microzonation, seismic hazard and risk assessment, vulnerability of structures in the populated zones, urban areas etc., and have to be performed in large scales [7]. All methods described above

are very difficult to perform, due to the complicated measurement conditions. It is absolutely impossible to make regular grid, to perform bore holing and/or to take samples. Due to these difficulties a lot of archive materials have to be extracted, collected, digitized and interpret [8], which is performed in this work.

2. Data and materials

The used materials have mostly the archive origin (the archive information is useful, having in mind that the ground conditions are conservative and did not change a lot in the time domain). In the urban environment frequently this is the only way to obtain reliable primary data and information. The collected and exploited data and materials are as follows:

- Data and information about former direct measurements of V_s _30 (seismic exploration data)
- Data and information about former direct measurements of V_p _30 (obtained by different seismic methods) and the following calculation of V_s _30 using well known relationships.
- Former borehole data extracted by borehole direct (seismic) and non-direct (densitometry) measurements
- Archive information about geology (maps of different scales, layers of petrology composition, age, time of origin, thickness, roughness of the layers overlapping boundaries, lateral inhomogeneities, etc.)
- Hydrogeology information including archive data about depth of the ground waters level, pore permeability, liquefaction potential, etc.
- Laboratory tests data about samples taken earlier (use of the petrophysical properties relationships to determine V_s (when possible), granulometry data, penetration tests, loading tests, etc.)
- Seismological data about macro seismic field of former earthquakes, intensities observed in the area, local inhomogeneities, observed liquefaction, cracks, sand volcanoes, land sliding and subsidence, etc. [8].
- Recent DEM, river's network, water bodies.
- Other data about former earthquakes, the macroseismic maps, acceleration records, attenuation laws.
- Geophysical maps and data about active faults, block structures, regional geophysical fields, geophysical prospecting information, etc.

In-situ measurements are performed, when possible, including direct seismic methods (V_p , V_s estimation), ground water level measurements, possible landslide surfaces determination, angle of slopes assessment.

To obtain the formal data and information is necessary to discover, transform and use the archives, to transfer the obtained information into recent measurement units and present effectively analogue data collected in former times and not used until now. This is not an easy task. The transformation from analogue format to the digital one is performed using different software and processing platforms. The advantages of digitalization are visible and useful, much easy accessible and effective.

3. Methodology

The methodology used for data processing and interpretations includes:

- Graphic presentation of the investigated site as a polygon. This gives a possibility to cover the whole area of the urban territory following the curvature of the city shape.
- Construction of the dense network of longitudinal and latitudinal lines (in different scales, if necessary) and formation of a grid.
- Interpolation procedures and calculation of the investigated parameter as weighted average value (V_{s_30}).
- Performing the comparative analysis of all available data, processing the information and assessing the reliability of obtained values of V_{s_30} as input data introduced.
- Attribution to each cell of the grid the two obtained values of V_{s_30} (the minimal and the maximal value). This provides the conservative approach and the user can choose the minimum value, the maximum value or the average one. This gives the possibility of the multiparameter approach for selection of the different variants for further calculations [10].
- Creation of the final map containing all geology units (simplified and presented like blocks for practical use), digital Excel table containing the presented on the map values of V_{s_30} (min and max), together with the geography coordinates (in preferred by the user coordination system) thus forming the digital data base for the users [9].
- Presentation of the explanatory notes considering the liquefaction potential, the landslide potential and the possible modification of the amplitudes and velocities of S waves due to the different hardness of the ground [7].
- The data for former earthquakes and their influences are presented as well. It includes, intensities, macroseismic maps, observed secondary effects generated by strong earthquakes (liquefaction, surface cracks, triggered landslides and stone falls, subsidence, generated tsunamis, avalanches and other gravitational phenomena, etc. [11].

Similar approach gives the possibility of the interpreter to select the best fit of the data and information to the task and required elements thus providing flexibility and

multi variances. The algorithms and models used consider the scale of the investigated area, the density of buildings and structures, the population distribution, etc., but need most accurate ground condition assessment. Frequently it is not possible to assure such accuracy due to the intensive variability of the ground conditions and needs the use of different approximations and extrapolation.

4. Examples and discussion

The data and the described methodology have been performed for several seismic vulnerable urban areas (cities) in Bulgaria. The presented maps illustrate the results obtained to the different examples and the reliability of all calculations. The grid selection (250x250 meters) is dominated by the practical consideration of convenient use and reliable results to the seismic hazard maps generation. Two maps are presented to illustrate the obtained results – fig. 1 and fig. 2.

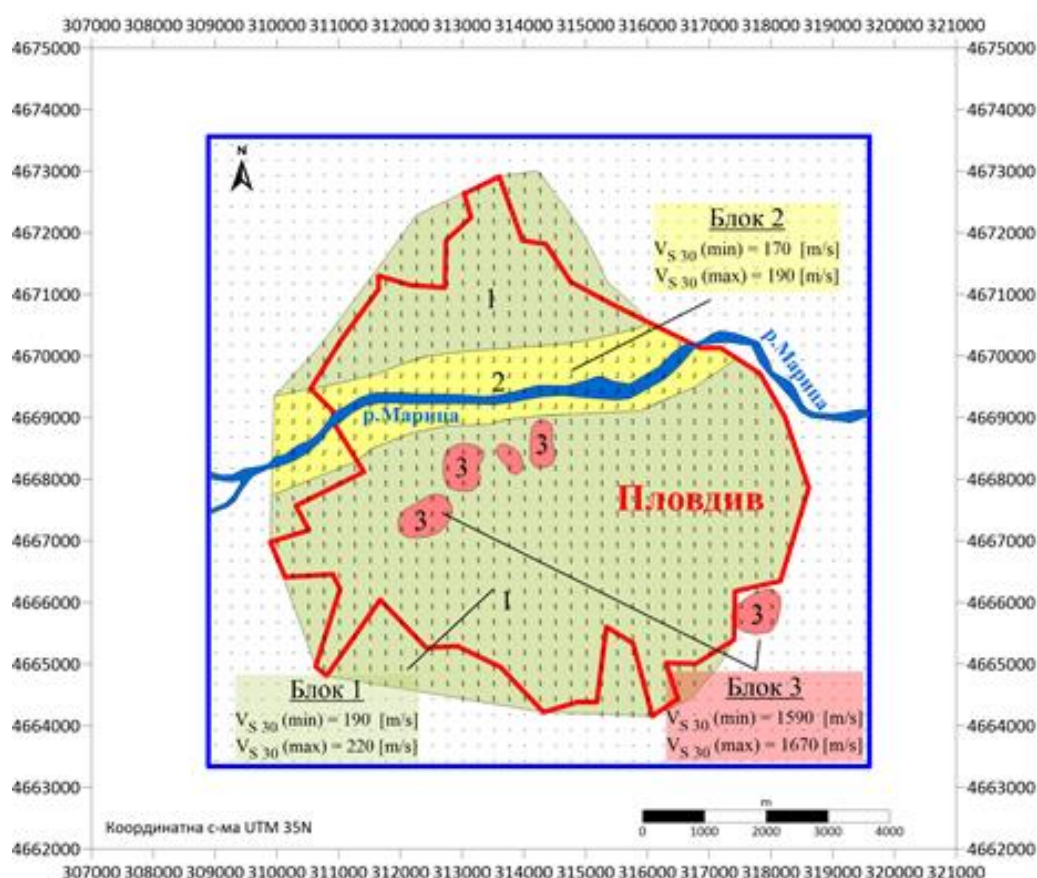


Fig. 1. Map of V_{s30} for Plovdiv city. This is the example of simple ground conditions – young sediments (green and yellow) and ancient volcanic cones (red).

The first map (fig. 1.) shows the average values of $V_{s,39}$, as well as their variability presented as $V_{s,30 \text{ min}}$ and $V_{s,30 \text{ max}}$ for the city of Plovdiv. As seen there are three areas which differs the $V_{s,30}$ due to the geological ground conditions. Block 1 presenting the total background of quaternary sediments, Block 2 related to the recent river sediments and low level of the underground waters, and Block 3 – volcanogenic bodies well known as “tepetata” in Plovdiv, built up by volcanic rocks (Cretaceous age).

The fig. 2 represents the digital set of values of 250m x 250m grid for the city of Blagoevgrad and has much more complicated ground structure due to the different geological formation at a ground level. There are sediments, metamorphic and igneous rocks. Also the DEM of the region differs between 200 and 500 meter above sea level. There is a plain part and a hilly part which also complicated the picture of the ground conditions.

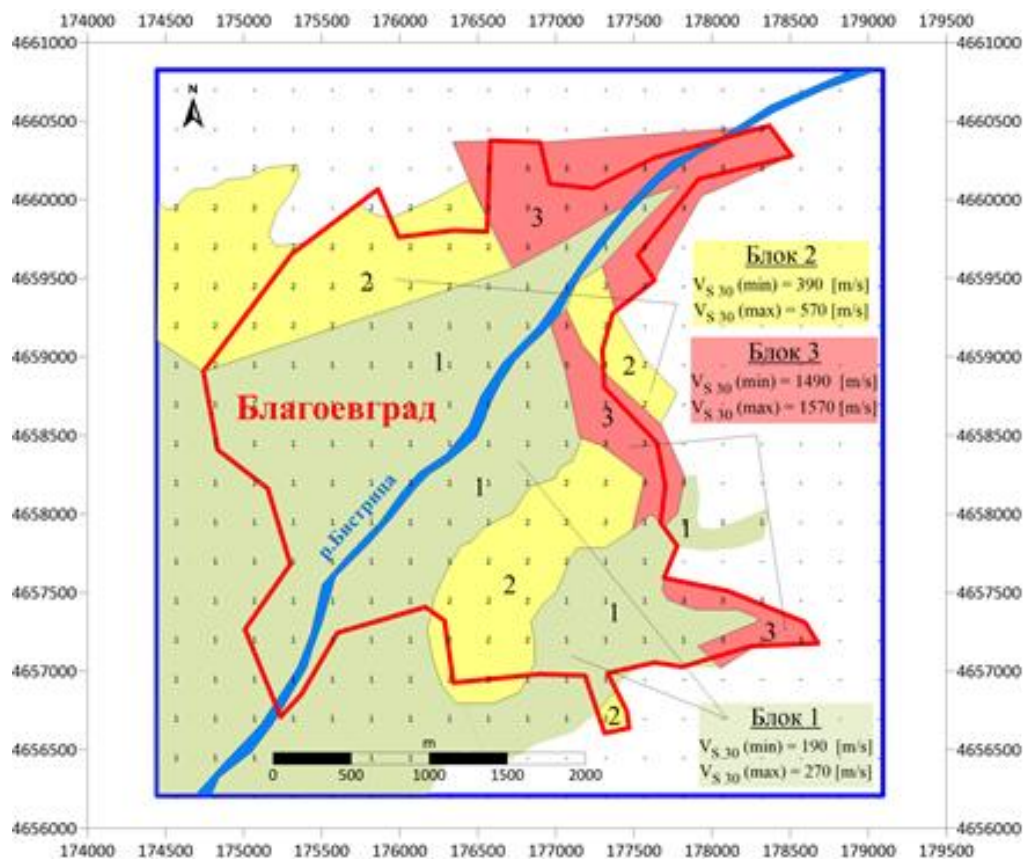


Fig. 2. Map of $V_{s,30}$ for Blagoevgrad city. This is the most seismic vulnerable city in Bulgaria, because of the close location to the most powerful seismic source (generated the well-known earthquake of April 1904 – M7.8).

The obtained results, suggested that the used methodology is rather effective and can be performed in cases with different conditions (sizes of the investigated areas do not matter). The methodology is not sensitive to the size of the polygon, geomorphology conditions and scale of the map (the grid in case of digital map is changeable according the users' needs). Vs_{30} is an integral characteristic and includes many parameters (thickness, density, geological and petrophysical parameters, ground waters' level, etc.). The presented values can be used for seismic hazard maps calculations [12]. The extension to the risk maps including vulnerability and exposure of the societies is very important but needs increased accuracy for the decision making process [3]. The digital technologies give such possibilities in the seismic risk mapping and now the scale of the maps is less important than before [7].

4. Conclusions

The updated digital methodology for assessment of the integral values of Vs_{30} is developed for practical purposes. It is intended to be in use for the massive electronic calculations of the digital seismic hazards maps for big cities in Bulgaria. In total six cities are selected (Varna, Rousse, Plovdiv, Blagoevgrad, Veliko Tarnovo and Sofia, located in seismic prone areas), but for the illustration purposes only two are presented (Plovdiv and Blagoevgrad). The performed methodology including mostly archive materials (but also some in-situ measurements) shows high effectiveness and reasonable results. The new element is the suggestion of the two values of the Vs_{30} (Vs_{30min} and Vs_{30max}). This provides the users of the newly calculated maps, wide diapason in variability of this parameter and gives the possibility for multi variant approach. The performance in different ground conditions in different case studies and seismic hazards calculations needs near future verification [12].

Acknowledgements

This work has been carried out in the framework of the National Science Program "Environmental Protection and Reduction of Risks of Adverse Events and Natural Disasters", approved by the Resolution of the Council of Ministers № 577/17.08.2018 and supported by the Ministry of Education and Science (MES) of Bulgaria (Agreement № Д01-322/18.12.2019).

REFERENCES

- [1] Frantzova A 2016 Risk mapping methodology for environmental hazards, Proceedings, 6th Intl. Conf. on Cartography and GIS, 13-17 June 2016, Albena, Bulgaria ISSN: 1314-0604
- [2] Frantzova A 2017 Risk mapping methodology and classification for environmental hazards (Lambert Academic Publishing) p 112.
- [3] Frantzova A 2016 Classifications and typology of the natural and triggered technological risks according to the GDP and probability of occurrence Proceedings, 6th Intl. Conf. on Cartography and GIS, 13-17 June 2016, Albena, Bulgaria.

- [4] Frantzova A 2012 Remote sensing data for snow cover monitoring and mapping South-Eastern European Journal of Earth Observation and Geomatics, Vol 1, No 1 e-ISSN: 2241-1224
- [5] Frantzova A 2012 Detecting and monitoring of wildfires with remote sensing data South-Eastern European Journal of Earth Observation and Geomatics, Vol 1, No 2 e-ISSN: 2241-1224
- [6] Frolova N, Larionov V, Bonnin J, Suchshev S, Ugarov A and Malaeva N 2019 Impact data bases application for natural and technological risk management Nat. Hazards Earth Syst. Sci. NHESS (2019)264
- [7] Rangelov B 2011 Natural Hazards – Nonlinearities and assessment. (Sofia: Bulgarian Academy of Sciences Pres) p 327
- [8] Rangelov B, Rizhikova S and Toteva T 2001 The earthquake (M7.8) source zone (South-West Bulgaria) (Sofia: Bulgarian Academy of Sciences Pres) p 279
- [9] Muco B, Alexiev G, Aliaj S, Elezi Z, Grecu B, Mandrescu N, Milutinovic Z, Radulian M, Rangelov B and Shkupi D 2012 Geohazards assessment and mapping of some Balkan Countries., Nat Hazards 64 2 pp 943–981
- [10] Paskaleva I, Rangelov B 2015 Lessons learned by recently happened natural disasters and future research needs In Engaging the Public to Fight the Consequences of Terrorism and Disasters Eds. I. Apostol, J. Mamasaklihsi, D. Subotta, D. Reimer. NATO Science for Peace and Security Series, E: Human and Societal Dynamics, vol. 120., IOS Press pp 257-268
- [11] Rangelov B 2013 Risk profiles and hazards for the Black Sea area. In Landslide Science and Practice, Vol. 7: Social and Economic Impact and Policies (Eds: Claudio Margottini, Paolo Canuti, Kyoji Sassa), ISBN: 978-3-642-31312-7, (Print) 978-3-642-31313-4 (Online). DOI 10.1007/978-3-642-31313-4, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg pp 3-9
- [12] Rangelov, B., Alexiev G., Gospodinov D., Scheer S. 2010 Natural hazards and preventive measures in Bulgaria., In Bulgaria and Bulgarians in Europe., (Ed. P. Petkov), "Faber", V.Turnovo, pp 385-393.

Авторски указател

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

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

Georgieva Bozhurka, ГФ, Минногеоложки Университет, София

Dimovsky Stefan, ГФ, Минногеоложки Университет, София

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

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

Kisyov Atanas, ГФ, Минногеоложки Университет, София

Рангелов Бойко, професор, д-р, ГФ, Минногеоложки Университет, София

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

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

Solakov Dimo, ГФ, NIGGG

Узунов Иван, професор дфн, КПФ, ФПМИ, Технически Университет - София

Филипова Людмила - писател

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

ПРОГРАМА НА ДНИТЕ НА ФИЗИКАТА 2020г.**28.05. четвъртък**

Доклад	Автор(-и)	Час
Откриване	доц. д-р Елена. Халова	16:00
„Високопроизводителните компютърни изчисления в подкрепа на физиката“	доц. д-р Десислава Иванова декан на ФПМИ	16:15
„От експериментите на Оерстед преди два века до обединението на електричеството, магнетизма и оптиката и революциите в комуникациите през 21 век“	гл. ас. Н. Кожухарова , доц. д-р Е. Халова, КПФ, ТУ	16:45
„Здравейте, професоре, тук е Стокхолм. Току-що спечелихте Нобеловата награда” Шегите на Нобеловите лауреати	проф. д-тн Сашка Александрова КПФ, ТУ	17:15
„Изисквания при подготовка и представяне на презентация с PowerPoint“	доц. д-р Е. Халова, гл. ас. Н. Кожухарова, КПФ, ТУ	17:45

29.05. петък

Доклад	Автор(-и)	Час
„Ентропия и Вселена“	доц. д-р Тодор Арабаджиев, КПФ, ТУ	16:00
„Тъмна енергия и Еволюция на Вселената”	г-жа Людмила Филипова	16:30
„Генерация и приложение на екстремна светлина”	проф. д-р Иван Копринков, КПФ, ТУ	17:00
„Новите светове в Космоса и Нобеловата награда по физика за 2019г.“	гл. ас. д-р Владимир Божилов - кат. Астрономия на ФзФ на СУ	17:30

30.05. събота – научна сесия

Доклад	Автор(-и)	Час
„Towards the influence of the intrapulse Raman scattering on the solutions of the complex cubic Ginzburg – Landau equation“	Проф. д-р Иван Узунов КПФ, ТУ	10:00
„Някои приложения на квантово-оптичните аналогии в оптичните технологии“	Доц. д-р Емилия Димова, Христина Христова, А. Рангелов, ИФТТ-БАН	10:30
„Някои основни режими в динамиката на свръхкъси свръхмощни светлинни импулси“	проф. д-р Иван Копринков, КПФ, ТУ	11:00
„Enigmatic Indian Ocean“	Проф. д-р Бойко Рангелов, МГУ	11:30
„X-RAY QUASI-periodic oscilations end estimates of the mass and the spin of the nutron sra in 4U1728-34“	доц. д-р Иван Стефанов, КПФ, ТУ	12:00
„Приложение на моделите на изкривения диск и приливното разкъсване за изследване на атол източника 4U1728-34“	гл. ас. д-р Радостина Ташева и доц. д-р Иван Стефанов, КПФ, ТУ	12:30
“Mapping and digitalization of the ground conditions for the seismic hazard assessment”	Boyko Ranguelov, Dimo Solakov, Stefan Dimovsky, Atanas Kisyov, Geophysics Department MGU Bozhurka Georgieva, Seismology Department, NIGGG	13:00