

Съдържание

Предговор

Научно-популярни доклади

| | |
|---|----|
| С. Александрова, Екзотични явления в микросвета. Ред и безпорядък | 3 |
| В. Танева-Тончева, Р. Ташева, Земната атмосфера като оптична система | 8 |
| А. Андонов, Разширена реалност | 18 |
| Р. Кобиларов, Радиоактивни часовници | 25 |
| А. Андонов, Н. Иванов, Цифровата и аналоговата телевизия | 30 |
| Д. Илиева, Космически кораби - действащи сили, устройство и страхотни провали | 35 |
| А. Швайцер, Г. Леков, К. Фодор, Л. Крумов, М. Василев, П. Витков, Проект за самоделен реактивен двигател | 47 |
| Д. Илиева, Ефекти върху човешкото тяло при пътуване в космоса | 52 |
| Р. Ташева, В. Танева-Тончева, Вулкани, вулканична дейност и нейното влияние върху авиацията | 59 |
| Б. Рангелов, Акад. В. Вернадски и история на геодинамиката. Геофизика, нови парадигми, развитие и противоречия | 67 |

Научни доклади

| | |
|---|-----|
| Р. Андреева, Хр. Търнев, Числени симулации за определяне на функцията на разпределение на електроните по скорости в плазма | 79 |
| Д. Стоянов, Аналитично описание на скок от голяма височина | 87 |
| М. Григорова, Шистов газ – възможности и рискове | 95 |
| Н. Денев, И. Илиев, Нелинейни статистически модели за изходните параметри на CuVg лазер | 104 |
| Е. Халова, Н. Кожухарова, Специалност “Инженерна физика” – разработване на нов лабораторен практикум за “Физика 1” | 113 |
| С. Александрова, Е. Халова, Свърхтънки слоеве, получени чрез йонна имплантация | 118 |

| | |
|---|------------|
| Т. Арабаджиев, Преобразуване на фотометрични величини в радиометрични в оптична система с полупроводникови фотоелементи..... | 124 |
| Й. Стойнов, Разсейване на хармонични SH вълни в пиезоелектрични материали с пукнатини | 130 |
| Б. Рангелов, Земетресението в Перник на 22 Май 2012 и проект СИМОРА | 141 |

Екзотични явления в микросвета. Ред и безпорядък

Сашка Александрова

Департамент по приложна физика, Технически Университет – София,

бул. „Кл. Охридски” 8, 1000 София, salex@tu-sofia.bg

Резюме. В настоящия доклад са представени физични явления от микросвета, които изглеждат екзотични, тъй като на пръв поглед противоречат на нашите знания за строежа и свойствата на кристалните вещества и представите ни за ред и безпорядък.

Ключови думи: квазикристали, метаматериали

1. УВОД

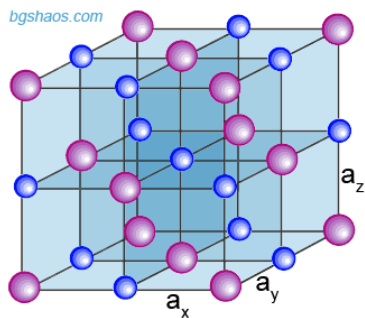
Техническият прогрес е немислим без създаване на нови материали. Постиженията на съвременното материалознание определят развитието на много други области на познанието, които са в основата на техническия и научния прогрес, както и на нивото на развитие на цивилизацията.

Полупроводниковата електроника определя до голяма степен техническото развитие още от средата на миналия век. Характерно е използването на тънки и свръхтънки слоеве от материали с различен химичен състав и структура, т.е. физичните явления на които се базират електронните елементи се разиграват в тънка област на повърхността на съответния материал и на границата между два материала. Тук спадат основните полупроводникови елементи на базата на силиция и на съединенията от групата АЗВ5. Разбирането и описанието на действието им се основава на *квантовомеханични представи*. В настоящия момент интересна посока на развитие е създаването на нови многофункционални материали със свойства, които не могат да се постигнат чрез използване на известните традиционни материали. Търсят се възможности за създаване на изкуствени вещества със отнапред зададени свойства, като се използват *екзотични явления в микросвета*. Такива нови материали от една страна напомнят кристалите с техните свойства и подредба, а от друга страна като че ли изглеждат предствители на един неподреден свят.

Тук ще се спрем на явления, които на пръв поглед са в противоречие с известни закони и правила и на базата на които са получени екзотични материали с необичайни свойства – квазикристали и метаматериали.

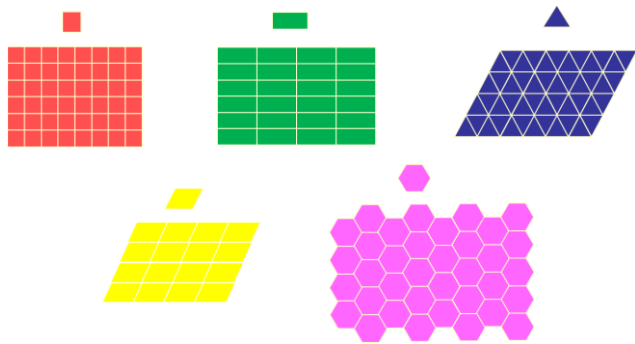
2. Странният невъзможен свят на квазикристалите. Ред или безпорядък

Структурата на един кристал представлява подреждане на атоми в мотив, който се повтаря периодично във всички направления в пространството образувайки симетрични структури (фиг. 1).

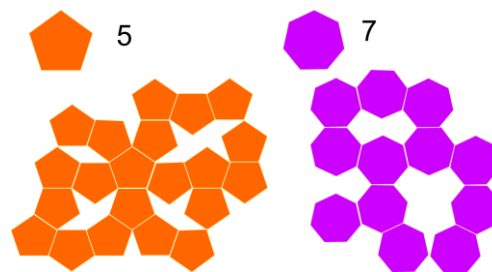


Фиг. 1. Кубичен кристал

Вижда се, че пространството може да се изпълни с проста геометрична фигура като основният мотив се повтаря при въртене на ъгли 60° , 90° , 120° , 180° и 360° , т.е. наблюдава се 2-, 3-, 4- и 6- кратна симетрия.

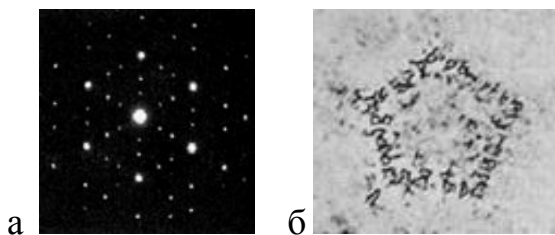


Фиг. 2. Кристална симетрия



Фиг. 3. Видимият безпорядък на квазикристалите

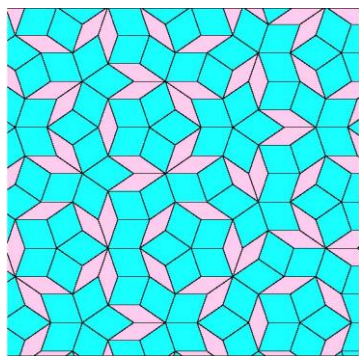
Възниква въпросът възможни ли са кристали с 5-кратна, 7-кратна или друга симетрия? От фиг. 3 е ясно, че равнината не може да се запълни с петъгълници или седмоъгълници (т.е. чрез завъртане на ъгли $2\pi/5=72^\circ$ или $2\pi/7=25.7^\circ$). Може да се направи извод, че са възможни само някои симетрии. Симетрия от 5-ти порядък и по-висша от 6-ти е забранена.



Фиг. 4. Дифракционна картина на кристални решетки

За анализ на структурата на кристалите се използва методът на дифракцията на рентгенови лъчи. Пример на дифракция от кристал с симетрия от 6-ти порядък е показана на фиг. 4а, докато на фиг. 4б дифракционната картина е със „забранена“ симетрия от 5-ти порядък. Такава дифракционна картина е получена за пръв път през 1984 г. от Д. Шейхман и съавтори при описание на атомната структура на метални сплави Al_6Mn [1]. Веществата със „забранена“ симетрия са наречени *квазикристали*. При тях липсва характерната за кристалите трансляционна симетрия. Всъщност симетрията е разрешена, ако структурата е

“апериодична.” Например: ако два мотива изпълват пространството като се подреждат в мозайка. Двата мотива се повтарят с различен период, като отношението на тези периоди е ирационално число, те никога няма да се “синхронизират”, дори и на много големи разстояния. Най-често показваният пример за такава мозайка е показан на фиг. 5. За пръв път през 1974 г. Роджър Пенроуз създава апериодична мозайка с мотиви, които никога не се повтарят.



Фиг. 5. Апериодична мозайка от два мотива

Оказва се обаче, че могат да се дефинират два периода, къс и дълъг, т.е. мозайката е квазипериодична. Пример за квазипериодично подреждане са редиците на Фибоначи, при които всяко следващо число е сума от предходните две. Съотношението на всеки две съседни числа е ирационалното число

$$\varphi = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} = 1.618\dots$$

т.нар. златно сечение на елинската архитектура. В безкрайната мозайка на Пенроуз, съотношението на броя на широките към броя на тесните ръбове е φ .

Апериодични мозайки съществуват в средновековните ислямски мозайки в двореца Alhambra в Испания и в Darb-i Imam Shrine в Iran – правилно подредени мотиви, които никога не се повтарят.

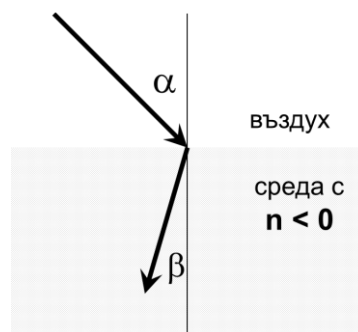
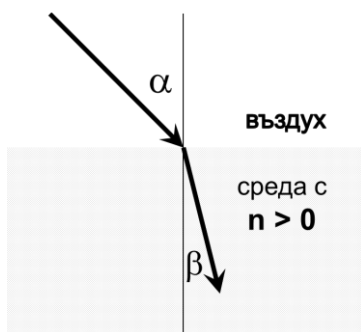
Квазикристалите принадлежат към изкуствения свят на синтезираните материали, невъзможни според законите на кристалографията. В пространство с по-висока размерност от трета обаче, те могат да се опишат периодично. За откритието им Д. Шейхтман получава Нобелова награда по химия за 2011 г. [2]. През 2009 г. са намерени и първите естествени кристали. Квазикристалите са представители на безпорядъка в един подреден свят [3].

3. Метаматериали. Обратният път на светлината.

При разпространението на светлината на границата на две вещества посоката ѝ на разпространение се изменя съгласно закона на Снелиус (фиг. 6). В метаматериалите разпространението на светлината е в привидно противоречие със закона на Снелиус, както е показано на фиг. 7. Светлинните вълни в тях се движат в посока обратна на разпространение на лъчите. Показателят на пречупване е отрицателен.

Подобна възможност е предсказана теоретично от В. Веселаго още през 1967 г. Отрицателният показател може да се обясни като се разгледа взаимодействието на светлината като електромагнитна вълна с веществото. Това взаимодействие се определя от две характеристики, а именно диелектричната проницаемост ϵ и магнитната проницаемост μ . За повечето вещества те са положителни, т.е. $\epsilon > 0$ и $\mu > 0$. Показателят на пречупване n е свързан с ϵ и μ посредством равенството $n = \pm \sqrt{\epsilon \mu}$. На практика всички

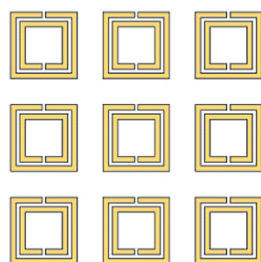
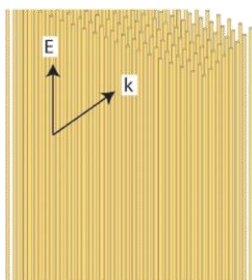
познати вещества имат положителен показател на пречупване. В. Веселаго показва, че за вещества с $\epsilon < 0$ и $\mu < 0$, $n < 0$.



Фиг. 6. Пречупване на светлината в материал с положителен показател на пречупване

Фиг. 7. Пречупване на светлината в метаматериал

За пръв път е демонстриран изкуствено изготвен материал с отрицателен показател на пречупване през 2000 г. Това не са вещества със специален химичен състав, а изкуствено създадена периодична структура. Тя се състои от редица от елементи с размери, по-малки от дължината на светлинната вълна, които да реагират независимо на електричната и на магнитната компонента на вълната. Среда с $\epsilon < 0$ може да се изгради от паралелно подредени метални нишки, а с $\mu < 0$ от отворени ринг-осцилатори, както е показано на фиг. 8 и 9.

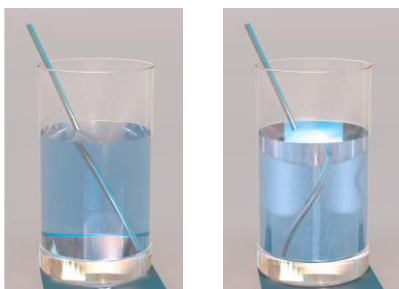


Фиг. 8. Среда с $\epsilon < 0$

Фиг. 9. Среда с $\mu < 0$ [5]

Фиг. 10. Метаматериал с $n < 0$ [6]

Илюстрация на метаматериал с редуващи се нишки и осцилатори е дадена на фиг. 10 [7]. Тази структура може да се разглежда като изкуствен кристал.



$n > 0$

$n < 0$

Фиг. 11. Ефекти при пречупване на светлината.

В материалите с отрицателно пречупване могат да се наблюдават странни ефекти (фиг. 11) [8]. Така например, ако се проследи ходът на лъчите, е ясно, че може да се види долната страна на повърхността на водата, докато дъното не се вижда.

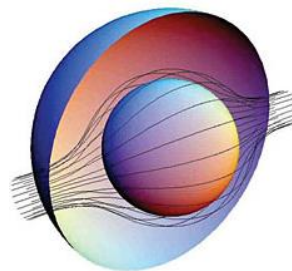
От метаматериали може да се направи суперлеща, която позволява да се наблюдават изображения без ограничение поради дифракция, за разлика от оптичните елементи с

положителен показател на пречупване.

Друг интересен ефект е възможността за създаване на „мантия-невидимка“ [9] (фиг. 12). Светлината се отклонява подобно на случая при мираж и предметът става невидим за наблюдателя (фиг. 13).



Фиг. 12. *Мантия-невидимка*



Фиг. 13. *Ход на лъчите при метаматериал*

За практическата реализация на мантия-невидимка възникват проблеми, а именно честотната зависимост. Досега метаматериали са получени за микровълновия обхват. За в бъдеще ще се разработят материали и за видимата и инфрачервената област.

4. Заключение

В заключение следва да се отбележи, че синтезът на нови материали с необичайни характеристики и успехите в управлението на процесите на създаването им, ще доведат до разработване на нови фотонни устройства с нови функционални възможности.

Литература

[1] D. Shechtman, I. Blech, D. Gratias, J.W. Cahn, Metallic Phase with Long-Range Orientational Order and No Translational Symmetry, *Phys. Rev. Lett.* **53** (1984) 1951.

[2] The Nobel Prize In Chemistry 2011, The Royal Swedish Academy of Sciences, <http://kva.se>.

[3] L Bindi, P. Steinhardt, N. Yao and P. Lu *Science* **324**, 1306 (2009).

[4] В. Г. Веселаго, "Электродинамика веществ с одновременно отрицательными значениями ϵ и μ ", *УФН* **92** (1967) 517.

[5] D. R. Smith, D. C. Vier, N. Kroll, and S. Schultz, *Appl. Phys. Lett.* **77**, 2246 (2000).

[6] R. A. Shelby et al. *Science* **305**, 788 (2004).

[7] Y. Jianji, <http://www.edom.upsud.fr/>.

[8] S. Linden, M. Wegener, *Physik Journal* **5** (2006) 29.

[9] http://en.wikipedia.org/wiki/Metamaterial_cloaking.

ЗЕМНАТА АТМОСФЕРА КАТО ОПТИЧЕСКА СИСТЕМА

Валентина Т. Танева-Тончева и Радостина П. Ташева

Департамент по Приложна Физика, Технически Университет,

e-mail: uraa@dir.bg, rad_tasheva@abv.bg

Резюме. Разгледани са редица оптически явления в атмосферата, тяхното обяснение и връзката им с метеорологичната прогноза на времето.

Ключови думи: атмосфера, влажност на въздуха, температура, светлинни явления в атмосферата.

I. Увод

Нашата планета е обкръжена от газова обвивка, която наричаме атмосфера. Тя достига дебелина близо хиляда километра, като плътността ѝ е най-голяма при земната повърхност и постепенно намалява с височината. Земната атмосфера не е застинала газова среда с еднородни физически данни, а е в постоянно движение и промяна. Под въздействието на различни фактори, слоевете ѝ се смесват, менят плътността си, температурата и прозрачността, преместват се на големи разстояния с различна скорост.

За слънчевите или за идващите от други небесни светила лъчи, земната атмосфера представлява своеобразна оптическа система с постоянно променящи се параметри. Оказвайки се на пътя им, тя частично отразява част от светлината, частично я разсейва или пропуска през цялата атмосфера, обезпечавайки осветеността на земната повърхност. В определени условия, атмосферата може да разлага светлината на съставлящите я компоненти, да изкривява хода на лъчите, предизвиквайки с това различни атмосферни явления. Най-необичайни по красота сред тях са дъгата, северното сияние, миражите, слънчевото и лунно хало.

II. Оптични явления в безоблачна атмосфера

1. Цвят на небето

Явлението «синьо небе» през деня, зависи изключително от разсейването на светлината от онези малки частици, които се намират постоянно в повече от достатъчно количество не само в долните, но и в сравнително високите слоеве на атмосферата. Лорд Релей (Rayleigh) теоретично доказва, че при достатъчно малки размери, такива частици облаждат свойството да отразяват изключително само лъчи от късовълновия диапазон на видимата светлина, т. е., светло сини, сини, виолетови. За обяснение на това явление се обръщаме към някои явления от субатомно ниво. Взаимодействието на електроните с

електрическото поле на светлинната вълна е на резонансен принцип. Разчетите показват, че колкото по-малка е дължината на светлинната вълна, толкова по-голяма е вероятността за съвпадението ѝ със собствените честоти на възбуждане на електроните и, съответно, толкова по-често електроните ще поглъщат и вторично изпускат фотони със съответната честота. Като следствие от този ефект, взаимодействието на светлината с атомите води до разсейване на светлината в средата. Светлината, която не встъпва във взаимодействие с атомите, достига до нас направо. Затова, когато гледаме не самия източник на светлина, а встрани – т.е., разсеяната светлина от източника, виждаме преобладаващия късовълнов, син, край на видимия спектър. Когато гледаме непосредствено към Слънцето, наблюдаваме спектъра на излъчването му, от който, чрез разсейването от атомите на въздуха, са отстранени сините лъчи, вследствие на което, изначално белият спектър на Слънцето се отмества в жълто-червената област при преминаването си през атмосферата.

Колкото повече частици има във въздуха, особено през зимата, когато атмосферата е изпълнена с плаващи кристалчета лед, толкова по-яркосиня ни се струва окраската на небето; колкото по-далеч от светилото отдалечаваме погледа си по небесния свод, толкова повече отражения претърпява достигащият до нас лъч и толкова по-син ни се струва небесният свод. От друга страна, с отдалечаване от земната повърхност във височина, плътността в атмосферата намалява и толкова по-тъмно изглежда небето; при полети на голяма височина наблюдателите виждат почти съвършено черно небе.

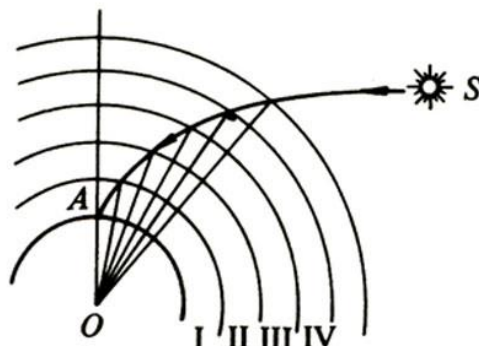
Синята окраска на небето се наблюдава само при достатъчно малки размери на отразяващите лъчите частици; когато размерите им преминат определена граница, в отразените лъчи се появяват и други дължини на вълната — синята окраска на небето преминава в белезникава, а при достатъчно количество сравнително големи частици, небето може да стане съвършено бяло, както в разтеглените пересто-слоисти облаци.

2. Атмосферна рефракция

Пространствените нееднородности в стойностите на коефициента на пречупване на атмосферния въздух, предизвикани от пространствените изменения на физическите му параметри, водят до отклонения в праволинейното разпространение на светлината. Това явление, носещо названието *рефракция*, представлява изкривяване траекторията на лъчите в неоднородна атмосфера.

Прието е рефракцията да се представя в следните подраздели:

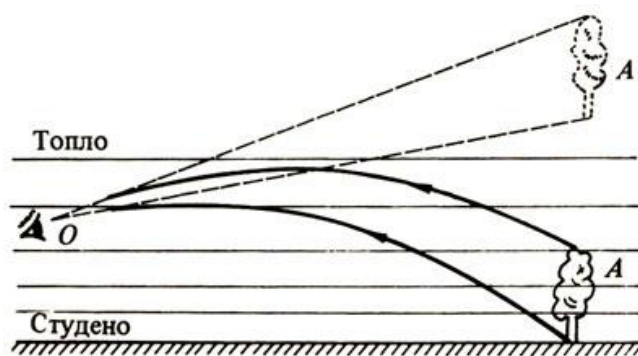
Астрономическа рефракция – изменение на видимото разположение на космическите източници на светлина относно истинското им положение на небесната сфера. [1]



Фиг. 1.

Астрономическата рефракция води до това, че неземните източници на светлина – Слънце, планети, звезди – изглеждат по-високо спряма хоризонта с някакъв ъгъл, като степента ѝ се характеризира с *ъгъл на астрономическа рефракция* – ъгъл между истинското S и видимото S' направление на източника. Обичайни стойности на ъгъла на астрономическа рефракция са от порядъка на няколко десетки ъглови минути, но при високо атмосферно налягане показателят на пречупване на въздуха нараства и може да доведе до нарастване на този ъгъл до 2-3 ъглови градуса. Като следствие на това се увеличава *продължителността на деня* – при големи географски ширини с часове и дни. На полюсите продължителността на полярния ден - Слънцето не залязва – понякога надвишава с до 14 дни продължителността на полярната нощ за сметка на астрономическата рефракция.

Земна (атмосферна) рефракция – явления, свързани с изменение на видимото положение на източника на светлина (или на предмета), намиращ се в атмосферата, при наблюдението му от повърхността на Земята или от друга точка в атмосферата. Дължи се на изменението на плътността на атмосферата с височината. Когато това се съчетае с *Температурна инверсия* – горните въздушни слоеве са по-топли от долните – се получава пълно вътрешно отражение на светлината и може да се наблюдава явлението *горен мираж* –

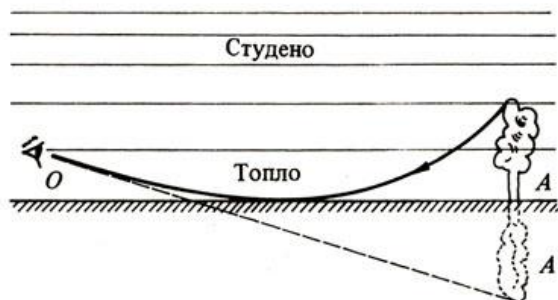


Фиг. 2. Горен мираж [1]

видимо издигане на предмети високо във въздуха. Подходящи за наблюдение на този вид мираж се създават сутрин в пустините и в полярните области.

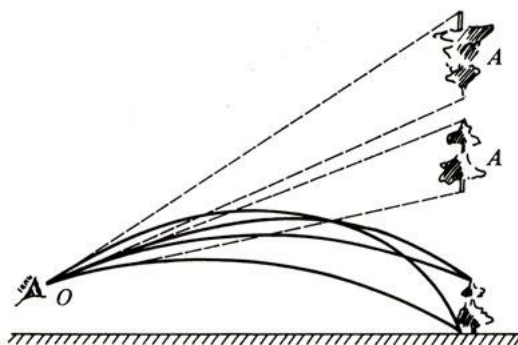
Когато обектите се намират *зад* хоризонта, видим е само техният образ, приеман от наблюдателя за реален обект.

При голям температурен градиент, но без температурна инверсия – в горещ летен ден над силно нагрятото асфалтирано шосе – отново се наблюдава пълно вътрешно отражение, но то води до *долен мираж* – под реалния обект се вижда обрънатия му образ точно отдолу.



Фиг. 3. Долен мираж [1]

В изключителни случаи при неравномерно разпределение на плътността във височина се създават условия за наблюдаване на *многократен горен мираж Фата Моргана* – над обекта се виждат няколко негови образа, някои от които – обрънати. [1, 4]



Фиг. 4. Фата Моргана

III. Оптически явления в облаците

Присъствието на облаци и мъгла в атмосферата между наблюдателя и небесните тела – главно Слънцето и Луната – води до възникването на редица интересни оптични явления, които се обясняват с пречупване, отражение и дифракция на светлината от капчиците вода или кристалчетата лед във въздуха.

1. Дъждовна дъга

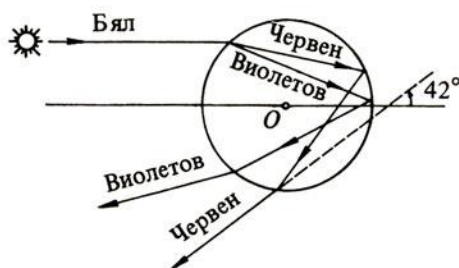
За да се наблюдава този небесен феномен, е необходимо от едната страна на небето да има облаци, от които да вали дъжд, а от срещуположната страна – да

грее Слънце. Наблюдателят застава с гръб към него и гледа към дъждовната завеса. *Дъждовната дъга* е цветна, съдържаща всичките 7 цвята, като най-отвън е червеният, а най-вътрешния – виолетовият цвят. Понякога над основната дъга се наблюдава вторична, с по-малка яркост и разположени обратно цветовете [1, 3, 6, 7].

Основната дъга е с ъглов разтвор, определен спрямо наблюдателя, 42° , а вторичната – 52° . Ъгловите ширини на дъгите са съответно 2° и 3° .

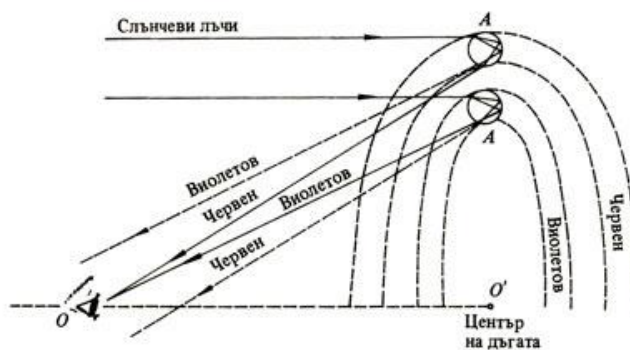
Образуването на дъга се обяснява с отражението и пречупването на слънчевите лъчи в дъждовните капки, съпътствано с дисперсия на светлината.

Основната дъга е резултат от двукратно пречупване и еднократно отражения в капката, която разглеждаме като сферична по форма (фиг.5). Тъй като коефициентът на пречупване на водата зависи от дължината на вълната на светлината, двукратното пречупване води до разлагане на бялата светлина на компоненти – цветовете на дъгата.



Фиг. 5. Пречупване на светлината във водна капка

Ъглите между падащата върху капката бяла светлина от Слънцето и пречупените червен и виолетов лъч са съответно 42° и 40° , съответно. Когато сме с гръб към Слънцето и гледаме към дъждовната завеса, очите ни виждат червените лъчи от всички капки, разположени в дъга под 42° спрямо посоката на слънчевите лъчи. Това е дъга с център, който се получава при пресичането на правата, минаваща през наблюдателя и успоредна със слънчевите лъчи, с дъждовната завеса. За виолетовите лъчи дъгата е с ъглово отстояние 40° от този център. Между тях се разполагат останалите цветовете (фиг.6).



Фиг. 6.

Дъга се наблюдава при едри дъждовни капки, които падат равномерно. Колкото по-едри са капките, толкова по-ярка е дъгата.

Когато дъждът премине в гъста мъгла от дребни капки, дъгата губи цветовете си и се превръща в *мъглива дъга* – бяла на цвят.

Лунна дъга

Не само Слънцето, но и Луната е в състояние да образува дъждовна дъга. Но създадената от Луната дъга изглежда бяла. Понякога това се дължи на малката интензивност на светлината, но при по-едри капки на дъждовната завеса, могат да се наблюдават и цветове.

2. Глория

Този ефект се наблюдава, когато наблюдателят е точно между Слънцето (Луната) и облаците, капките на които участват в образуването ѝ. Представлява цветни кръгове около сянката на обекта – често, това е сянката на самолет, балон – с ъглов размер от 5° до 20° в зависимост от размера на капките.[6,7] Обяснението на явлението *Глория* все още е предмет на дискусии и изследвания. Холандският астроном Хендрик ван де Холст през 1947 г. предполага, че цветните пръстени са обусловени от наслагването на два срещуположно влизащи във водните капки лъча, които генерират повърхностни вълни – дифракция на по-рано отразените в капките лъчи. Според най-новата теория на бразилския физик Нузенцвайг, *Глорията* се дължи на така наречения *класически вълнов тунел*, при който светлината, пропуснала капката, все пак ѝ предава част от енергията си.

В Китай цветните кръгове, дължащи се на *Глорията*, се наричат *Светлини на Буда*.

3. Брокенски призрак

Наименованието на този атмосферен феномен произлиза от името на най-високия връх на планината Гарц в Германия – връх Брокен. Тъй като се намира по-високо от облачния слой, а областта е често мъглива, се създават условия, способстващи за хвърлянето на сянка върху плътните облаци.[6,7] Гигантските сенки, обкръжени от цветните ореоли на *Глорията*, които сякаш се движат сами по себе си заради движението на облачния слой, са внесли своя принос за репутацията на планината Гарц като убежище на вещици и зли духове. В произведението на Гьоте „Фауст” връх Брокен е мястото, където се провежда *вещерският шабаш* и *Валпургиевата нощ*.

4. Цветни облаци

Възниква в резултат на преминаването на светлината през кристалчетата лед в перестокупести, купести или лещовидни високи облаци, покривайки небето с „разноцветен филм”. [5] Цветовете могат да са пастелни, но могат да са много ярки.

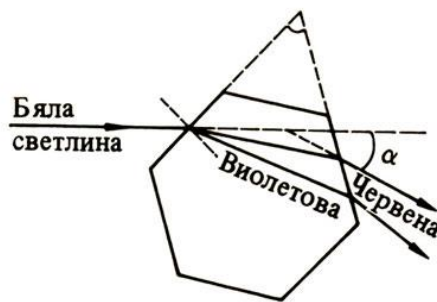
Когато Слънцето залязва (изгрява), лъчите му падат под прав ъгъл върху водните капки в облаците. В резултат на дифракцията (заобикаляне на капчиците от лъчите) и последващата интерференция, облаците се заливат като с помощта на Фотошоп, с градиентна преливаща разцветка.

Цветните облаци е дифракционно явление, предизвикано от капчици вода или от малки кристалчета лед, които разсейват светлината индивидуално. По-едри кристали лед предизвикват друг тип атмосферни явления.

Ако части на облаците се състоят от малки капки вода или малки кристалчета лед, кумулативният ефект се възприема като оцветяване на облака. Той трябва да е тънък, така че лъчите да преминават само през една капка. Такива са обикновено краищата на полу-прозрачните облаци, където се наблюдават най-атраktivните и ярки ефекти. Когато облакът преминава пред диска на Слънцето или Луната, оцветяването му придобива формата на *корона* от един или няколко концентрични цветни пръстена около светилото – *венци*.

5. Хало

Хало (от гръц. *χалоσ* — «кръг», «диск»; така също - **аура**, **нимб**, **ореол**). [2,8,9] Халото представлява светъл бял или дъгообразно оцветен пръстен около Слънцето или Луната, отделен от светилото с тъмен промеждутък. Възниква в резултат на отражение и пречупване на светлината от ледените кристалчета във високите пересто-слоисти облаци или мъгла в предния фронт на циклоните и може да служи като признак за тяхното приближаване. Кристалите, формиращи хало, се разполагат върху повърхността на въображаем конус с ос наблюдател-Слънце, като върха на конуса е наблюдателят.



Фиг. 7. Дисперсия на светлината в леден кристал

Ледът образува кристалчета с хексагонална структура с форма на правилна шестоъгълна призма, в която дължината е много голяма в сравнение с напречните размери (ледени иглички) или шестоъгълна пластинка. През зимата ледените иглички масово се реят в най-ниските слоеве на атмосферата, образувайки *елмазен прах*. Въртейки се, те падат надолу като се разполагат с дългата си ос вертикално, а основите им, през повечето време, са успоредни на земната повърхност. Между съседните стени на призмата (пластинката) ъгълът е 120° и по време на изгрев или залез зрителният лъч на наблюдателя може да

минава през призмата, а всеки кристал да се държи като миниатюрна леща, пречупвайки светлината.

Другата форма на ледените кристалчета е шестоъгълна плоска пластинка или шестолъчева звезда. Тъй като съседните стени на кристалчетата лед при всички разновидности е 120° , то произволно падащ върху тях лъч не може да излезе през съседната стена, без да претърпи *Пълно вътрешно отражение*. При показател на пречупване на леда 1,31, за да излезе такъв лъч от съседната стена на кристала, пречупващият ъгъл трябва да е не повече от $90^\circ 31'$. Лъчът може да напусне кристала през двете несъседни стени, но, тъй като ъгълът между тях е 60° , но тогава той претърпява пречупване, разлагайки се на спектрални компоненти.

а) Хало на 22° – блестящ кръг, обкръжаващ светилото, с ъглов радиус 22° . Той е оцветен с червения цвят отвътре, жълтият и т.н. цветове са отвън и по-слабо забележими и преминават постепенно в белезникаво и се слива със синкавото небе наоколо. Пространството вътре в кръга изглежда тъмно, с добре очертана граница.

Кръгът на Халото се образува от пречупената в носещите се във всевъзможни посоки ледени игли. Ъгълът на най-малкото отклонение на лъч от ледена призма е приблизително 22° , затова всички лъчи, идващи откъм светилото, изглеждат за наблюдателя отклонени на този ъгъл – оттук и тъмнината вътре в кръга на Халото. Червеният цвят се пречупва най-малко, затова е и най-отвътре.

б) Хало на 46° – среща се по-рядко, като по-блед кръг, концентричен на основния. Вътрешната му страна също е с червен оттенък. Причина за появата на това вторично Хало са онези ледени кристалчета, които са обърнали пречупващата си стена перпендикулярно на светлината от светилото.

Макар и по-блед от основния кръг, халото на 46° е с по-голяма ъглова ширина – $2,5^\circ$ и по-ясно изразени цветни пояси.

Халото на 22° и на 46° са най-ярки в горната и долна част на кръга.

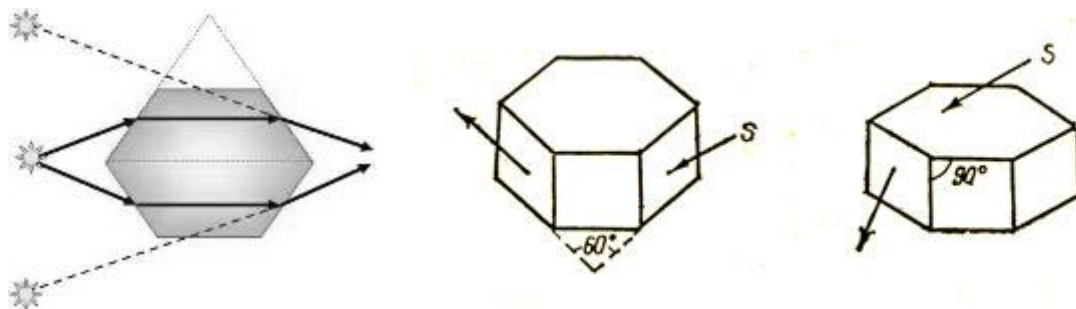
Понякога, значително по-рядко, може да се наблюдава Хало на 90° , концентрично на другите две и много по-слабо светещо от тях. Механизмът на възникването му е неизяснен докрай.

в) Пархеличен кръг - хоризонтален бял кръг с център – точката на Зенита, който минава през диска на Слънцето. Той се образува за сметка на отражението на слънчевата светлина от страничните стенички на ледените иглички. При равномерна наситеност на въздуха с ледени иглички, може да се наблюдава пълен пархеличен кръг.

Огнена дъга – околохоризонтална дъга, оцветена във всичките седем цвята. Този природен феномен се наблюдава много рядко, тъй като ледените кристали и слънчевите лъчи трябва да се окажат под точно определен ъгъл един спрямо друг.

г) Пархелии, Лъжливи слънца – слънчеви кучета – ярко светещи петна, напълнящи Слънцето, които се образуват в точките на пресичане на

пархеличният кръг с Халото на 22° , 46° , 90° . Най-често наблюдавани и най-ярки са лъжливите Слънца на 22° -градусовото Хало, като биват оцветени във всички цветове на дъгата.



Фиг. 8. Пречупване на светлината в падащи вертикално ледени иглички

д) околозенитна дъга – Образува се от лъчите, които преминават през някоя от вертикалните стенички на ледените кристали с форма на пластинка и основата му, ъгълът между които е 90° .

Хало може да се наблюдава както около Слънцето, така и около Луната и някои по-ярки звезди, когато са закрити от тънки перести облаци.

4. Заключение

Четири основни свойства на светлината, според представите на геометричната и вълновата оптика са отражение, пречупване, интерференция и дифракция.

Пълното вътрешно **отражение** е важен фактор във формирането на дъждовната дъга.

Пречупването предизвиква видимо отместване на Слънцето, Луната и звездите от истинското им положение, дисперсията на светлината в дъгата, формирането на хало около Слънцето, Луната и летателните апарати.

Единствения оптичен феномен наблюдаван по-често при Луната отколкото при Слънцето – халото, често пъти е оцветен като резултат от **дифракцията** на светлинните лъчи минаващи в близост до краищата на водните капки и последващото наслагване (**интерференция**) на лъчите отклонени в едно и също направление.

Тези свойства на светлината позволяват да се обяснят със средствата на физиката атмосферните оптични явления, които иначе изглеждат обвити в мистерия и на които лесно може да се припише магичен характер.

Литература

[1] http://cdo.shu-bg.net/library/pr/meteorologia/d_kiurkchieva/10.htm

[2] http://www.izhastro.ru/artikles.php?article_id=5

[3] <http://www.microsofttranslator.com/bv.aspx?from=&to=ru&a=http%3>

A%2F%2Fen.wikipedia.org%2Fwiki%2FRainbow%23cite_note_Zero_order_glow-8

[4][http://en.wikipedia.org/wiki/Fata_Morgana_\(mirage\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Fata_Morgana_(mirage))

[5][http:// en.wikipedia.org/wiki/ Altcolumnus_could](http://en.wikipedia.org/wiki/Altcolumnus_could)

[6]<http://www.midnightkite.com/index.aspx?AID=0&URL=ColorScience> - Dan Bruton, Stephen F. Austin Държавен университет, "Color Science"

[7] http://www.usna.edu/Users/oceano/raylee/papers/RLee_papers.html, Ли, RL, "теория Ми, Эйри теории и природных радуги," Прикладная оптика 37, 1506-1519 (1998).

[8][http:// en.wikipedia.org/wiki/Hexagonal](http://en.wikipedia.org/wiki/Hexagonal)

[9] <http://www.atopics.co.uk/halo/platcol.ht>

РАЗШИРЕНА РЕАЛНОСТ

Андон Андонов

¹ФаГИОПМ, Технически Университет-София, София 1000, бул. "Климент Охридски" 8, България, e-mail: andon.andonov@fdiba.tu-sofia.bg

Резюме. Разглежда се същността на технологията augmented reality (разширена реалност). Необходимата за тази цел апаратура се състои от екран, следящи устройства, проектори, компютри. Приложение най-вече в развлекателния бизнес, науката, медицината.

Ключови думи: реалност, разширена реалност, визуални маркери, ARToolKit

1. Увод

В наше време сме свидетели на силно развитие на техниката и науката, което ни позволява да променяме постоянно начина по който възприемаме света около нас. Вече знаем и можем повече, което ни води към постоянно търсене на нещо по-добро – да научаваме още повече неща, да усещаме неща, които до този момент е било трудно да бъдат намирани.

За целта човек винаги е мечтал да може да наглася заобикалящата го реалност по начин приятен и желан от него.

Най-лесният начин това да се случи е като създадем нова, чиста реалност и надграждаме желанията си в нея. Това е така наречената виртуална реалност.

Но с времето се оказва, че тя не е достатъчна, защото не комуникира с истинската реалност.

Целта на този доклад е да представи една подобна като цел, но със съвсем различна концепция и начин на работа – augmented reality, т. нар. разширена реалност.

2. Определение и същност на разширената реалност

Разширената реалност (augmented reality) се дефинира като директен или индиректен поглед върху физическата реалност, върху която в реално време, върху съществуващи обекти, се добавя виртуална компютърно генерирана информация. Тя обединява истински и виртуални обекти. Тя е среда, която физически не съществува, но е създадена от информационните технологии, затова най-краткото определение за нея е "нефизическа реалност".

Разширената реалност (augmented reality) се различава от разширената виртуалност (augmented virtuality) по това, че първата е по-близо до истинския свят, докато втората до чисто виртуалната среда.

Този вид технология цели да опрости живота на потребителя като добавя виртуална информация не само в непосредствено заобикалящата го среда, но и към всяко индиректно изображение от реалния свят, като директен поток от видео-информация.

Виртуалните обекти, добавени към реално среда показват на потребителя информация, която той не може да усети със сетивата си.

3. История

Първото споменаване на този вид технология датира от 50-те години на 20 век, когато кинематографът Мортън Хайлиг, на когото хрумнала идеята, че зрителят може да бъде “вкарван” в действието на екрана като за целта всички сетива трябва да бъдат активирани. През 1962 той създава прототип на своята идея, наречен Сенсорам, описан от него в “Киното и бъдещето”.



Фиг. 1. *Borko Furht, Handbook of Augmented Reality, Springer (2011)*

енергия и по-ниско качество на изображението, тъй като не са необходими толкова много пиксели.

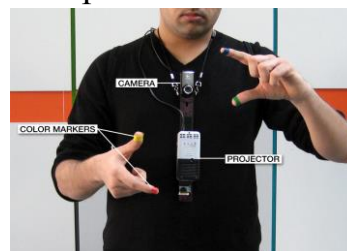
Технологията преминава през дълъг цикъл на доусъвършенстване.

Едно от последните изобретения в тази област е SixthSense (фиг. 2), създадено от Пранав Мистри. Това е преносим набор от

През 1966 Ivan Sutherland създава екран, който може да се монтира на главата - head mounted display – HMD (фиг. 1). През 1968 той става първия, който създава система за разширена реалност, като използва създадения от него две години по-рано оптически прозрачен екран.

През 1975 Myron Krueger създава Videoplace – стая, която позволява на потребителите за пръв път да взаимодействат с виртуални обекти.

По-късно, Tom Caudell и David Mizell, работещи при Боинг, използват разширената реалност за улеснение на работниците, които сглобяват жици и кабели за самолетите. Те са първите, които обсъждат предимствата на разширената реалност пред разширената виртуалност, понеже първата изисква по-малко



Фиг.2. <http://www.pranavmistry.com/projects/sixthsense/>

устройства, които се управляват с жестове. То добавя виртуална информация върху обекти от реалния свят.

4. Използвани устройства

4.1 Екрани

Има три основни типа дисплеи, които се използват в разширената реалност - head mounted displays (HMD), екрани на мобилни устройства и пространствени проектори.

HMD (Фиг. 3) е устройство, носено на главата, или част от каска, който позиционира едновременно изображения от реалния и виртуалния свят пред очите на потребителя. HMD могат да бъдат оптически прозрачни или реалното изображение да се снима чрез камери. Вторият вариант изисква носенето на поне две камери и по-силен компютър, който да може да обработва постъпващата информация в реално време. Възприемането на реалния свят в този случай зависи от разделителната способност на камерите и на екрана, което е голямо ограничение. От тази гледна точка оптически прозрачните екрани са по-препоръчителни.



Фиг. 3. <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Datenhelm-HMD-head-mounted-display.html>



Фиг. 4. <http://www.iphone-news.org/2009/12/02/twitter-360-augmented-reality-fur-twitter-2636/>

Съществува и подобно устройство във формата на очила, наречено Video glasses

Мобилните устройства (Фиг. 4) с достатъчно големи екрани могат да свършат същата работа. Те използват виждане чрез камерата, върху което на самия екран се добавя виртуалното изображение. Тук може да се използват сензорите на смартфона, което дава 6 степени на свобода за следене на преместването. Приложими са цветните маркери, компютърни инструменти като ARToolKit или SLAM. В момента на пазара има три различни вида устройства, които попадат в тази категория – смартфони, джобни компютри и таблети.

Пространствената разширена реалност използва видео-проектори, оптични елементи, холограми, за да показва графична информация директно върху физическия обект без да има нужда потребителя са носи екран със себе си.

4.2 Входящи устройства

Има много типове входни устройства при тази технология. Някои системи, като например мобилната система на Reitmaug използва ръкавици. Други, като ReachMedia използват безжични гривни. Екрана на телефона също може да бъде такъв вид устройство – чрез докосване се определя къде да бъде позициониран желания обект.

4.3 Следене

Устройствата за тракинг са цифрови камери и оптични сензори, GPS, акселерометри, компаси, безжични сензори. Всяка от тези технологии има различна степен на точност и всичко зависи от типа на създаваната система за допълнителна реалност.

4.4 Компютри

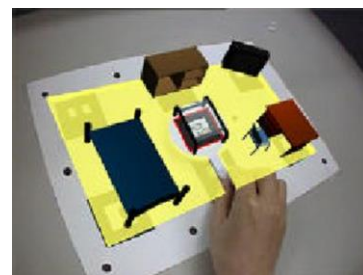
Системите за разширена реалност изискват силни процесори и достатъчно оперативна памет, за да обработват постъпващата информация. Досега преносимите системи имаха нужда от лаптоп, но с възхода при смартфоните това вече не е необходимо. Стационарните системи могат да използват традиционните настолни компютри със мощни графични карти.

5. Интерфейси за взаимодействие с потребителите

Един от най-важните аспекти на разширената реалност е да се създаде подходящ подходяща техника за интуитивна работа с виртуалното съдържание. Има четири основни начина за взаимодействие в приложения, използващи разширената реалност – материални интерфейси (tangible AR interfaces), колаборативни, хибридни и многомодални интерфейси.

Материалните интерфейси позволяват директно взаимодействие с реалния свят като се използват истински, физически обекти и инструменти. Класически пример за силата на този вид интерфейси е приложението VOMAR (Фиг. 5), разработено от Хироказу Като.

Колаборативните интерфейси включват употребата на множество екрани, за да се поддържа отдалечена и съвместна работа. Пример за такъв вид колаборация може да видим при Studierstube.



Фиг. 5. VOMAR -
Hirokazu Kato

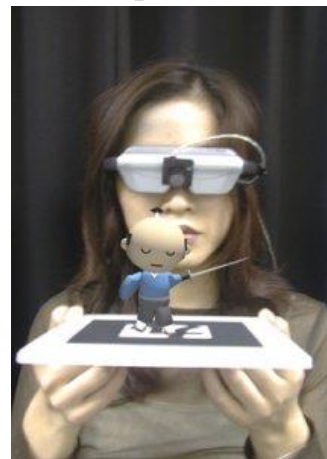
Хибридните интерфейси комбинират асортимент от различни, но допълващи се интерфейси, което дава възможност за взаимодействие чрез широка гама от устройства за взаимодействие с потребителите.

Многомодулните интерфейси комбинират информация от истински обекти с естествено срещащи се форми на език и поведение като например говор, докосване, жестове на ръцете или мимики. Този тип интерфейси започват все повече да се налагат. Кат пример може да бъде даден MIT's sixth sense – преносим интерфейс, разчитащ жестове, наречен WUW. WUW дава на потребителя информация, проектирана върху повърхности, стени, физически обекти с помощта на естествени жестове, движение на ръцете или работа със самият обект.

6. ARToolKit

ARToolKit е софтуерна библиотека за създаване на приложения за Разширената Реалност. Тези приложения извършват наслагване на виртуални изображения върху реалния свят. Например, изображението на фигура б изобразява триизмерен виртуален обект излизащ от истинска карта. Той може да бъде видян от потребителя благодарение на очилата монтирани на главата му. Когато потребителя премести картичката с нея се мести и виртуалния обект все едно той е прикрепен за нея.

Библиотеката е разработена от д-р Хироказу Като като част от проект към Университета Вашингтон и още няколко други институции. Той е напълно безплатен за сваляне като това може да бъде направено на адрес <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>.



Фиг. 6. <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>

Основния проблем, който решава, е намирането на начин да бъдат следени действията на потребителите.

7. Приложение

7.1 Реклама

Разширената реалност е широко използвана от промоутърите за представяне на нови продукти, особено онлайн. Повечето от тях използват маркери, които потребителите разчитат с помощта на уебкамери. Например, пред декември 2008 от MINI, известната марка коли, публикуваха реклама по няколко немски списания за коли, която можете да видите на фигура 7.



Фиг. 7. *MINI advertisement, Borko Furht, Handbook of Augmented*



Фиг. 8. <http://valeonti.com/?p=366>

7.2 Обучение и култура

Това включва приложения със забележителности, информация при посещение в музеи. Тази технология позволява да има ефективна комуникация с посетителя чрез мултимедийни презентации, използване на естествени и интуитивни техники, намаляване на разходите човек, който евентуално би водил тези беседи пред посетителите (фиг. 8).

Разширената реалност започва да набира скорост в различни полета на образованието – история, математика. Например, Mark Billingham е разработил Magic Book, книга, чиито страници използват проста разширена реалност, за да правят четенето по-завладяващо. Malaka е създавал преносима система за допълнителна реалност GEIST, която помага при ученето на история чрез игра с разказване на истории, при която потребителят освобождава духове от миналото.

7.3 Медицина

По-голямата част от медицинските приложения на разширената реалност имат за цел да подобрят работата на медицинските работници чрез подаване на изображения.



Фиг. 9. <http://www.in.tum.de/forschung/forschungs-highlights/medical-augmented-reality.html>



Фиг. 10. <http://www.in.tum.de/forschung/forschungs-highlights/medical-augmented-reality.html>

Технологията може да бъде използвана по такъв начин, че опериращият да получава информация в реално време как върви операцията чрез добавяне на допълнителното виртуално изображение. На изображения 9 и 10 са показани

две разработки на екип от студенти и преподавателите от ТУ- Мюнхен. На фигура 9 е показано как върху повърхността на кожата може да бъде добавено рентгенова снимка на същия този обект. Фигура 10 демонстрира т. нар. виртуално огледало, което помага при сложни операции, примерно по гръбначния стълб.

7.4 Забавление

Приложенията за игри, използващи допълнителната реалност, представят много повече от стандартните игрални формати. Може да бъде добавяна интерактивна анимация и всякакъв друг вид мултимедийна информация.

Пример за такова приложение е Firefighter 360. Това е игра, която използва камерата на телефона, за да проектира върху това изображение виртуални пожари, които играчът трябва да гаси.



Фиг. 11. Firefighter 360

8. Заключение

Разширената Реалност предоставя много възможности, които тепърва ще започват да бъдат откривани. Постоянно се намират нови приложения, което още по-тясно свързва тази технология с нашия живот.

С развитието на електрониката е техниката този вид интеракция с материята около нас започва да става все по-приет от обществото на почти всяко ниво.

Разширената реалност ни дава нов начин да възприемаме света. Но не бива да забравяме, че ние само разширяваме истинския свят, а не го заменяме. Тази технология ни помага да усещаме и да изпитваме нещата по по-силен начин, което също означава, че технологията не бива да заменя истинските човешки умения и усещания с виртуални, а само да ги усилва.

Литература

- [1] Borko Furht, Handbook of Augmented Reality, Springer (2011)
- [2] University of Washington, ARToolKit, <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>
- [3] Patrick Sinclair, ARToolKit, <http://www.metade.org/research/phd/artoolkit/>
- [4] Wikipedia, the free encyclopedia, [http://en.wikipedia.org/wiki/Augmented reality,AugmentedReality](http://en.wikipedia.org/wiki/Augmented_reality,AugmentedReality)
- [5] Pranav Mistry, MIT 6th sense, <http://www.pranavmistry.com/>
- [6] Beyond Reality, <http://www.augmented-reality-games.com>
- [7] Handheld Augmented Reality, [http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/handheld ar/stbtracker.php](http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/handheld-ar/stbtracker.php), Studierstube Tracker, 2010.
- [8] Daniel Wagner and Dieter Schmalstieg, "Handheld Augmented Reality Displays", Graz University of Technology, Austria.

РАДИОАКТИВНИ ЧАСОВНИЦИ

Румен Кобиларов

Департамент по Приложна Физика, ТУ-София, e-mail: rkobi@tu-sofia.bg

Резюме. В доклада в популярна форма е представен радиовъглеродния метод за датиране на археологични находки и геоложки образци. Разгледани са точността и границите на приложението му. Чрез разглеждането на голям брой примери са показани някои от най-важните приложения на "радиовъглеродните часовници".

Ключови думи: радиоактивен разпад, радиовъглероден метод, датиране на археологични находки.

1. Увод

Известно е, че определянето на възрастта на археологичните находки има първостепенно значение за решаването на редица важни археологични задачи. Поради това са разработени голям брой методи за датиране на откритите образци. За близките до днешния ден времена за датиране се използват исторически паметници и древни хроники, съдържащи записи на различни събития: смяна на царе и царски династии, войни, стихийни бедствия и т.н. Така например от древни китайски летописи е известно, че двама астрономи Хи и Хо били осъдени на смърт, защото през 2200 г. преди новата ера не са успели да предскажат своевременно слънчево затъмнение. Съпоставянето на летописите със съвременните изчисления на това затъмнение дава точна представа за датата на затъмнението и позволява да се провери доколко китайските летописци са отчитали правилно времето. Такива хроники и летописи обаче са сравнително редки и много често определянето на времето на дадено събитие се оказва сложна, а в много случаи и непосилна задача.

Ако се върнем още по-назад, например преди 10 000 години, когато не е имало нито градове, нито писменост. Хората по това време са живяли в пещери и не са оставили никакви писмени документи, а и запазени до днес сътворени от тях артефакти са изключителна рядкост. Какви следи, по които можем да определим годините, през които са живели, са оставили те? Обикновено това са използвани предмети и кости, запазени в земните пластове до днешни времена. Например в Испания е открита пещера, която е служила като убежище за много поколения хора и животни в продължение на няколко хиляди години. Останките от тях са образували в пещерата хълм с височина около 13,5 метра. Изследванията са показали, че за нарастването на слоя земя с 2,5 сантиметра е бил необходим почти един век. В най-горните слоеве са открити бронзови кинжали, датирани на преди около 2000 години. На около 2 метра по-надолу са намерени скелети и голям брой каменни ножове и свредла, датирани на около

10 000 години. Под тях са открити кости от носорози и пещерни мечки, а най-отдолу – груби каменни топори, датирани на около 50 000 години.

Отговорът на въпроса, как са датирани тези образци, ще дадем по-долу.

2. “Радиоактивни часовници” – същност на метода и граници на приложение.

Известно е, че за измерване на времето може да се използва периодично повтарящ се процес (например - физично махало) или процес, протичащ равномерно (например - изсипване на пясък, горене на свещ).

“Радиоактивни часовници” се нарича група от методи, при които радиоактивния разпад на ядрата на различни изотопи се използва за определяне на големи интервали от време. Изследванията на радиоактивността са показали, че скоростта на радиоактивния разпад не зависи от външни условия като температура на околната среда, налягане и т.н. Освен това разпада на радиоактивните изотопи става в много широк интервал от скорости. Например: периодът на полуразпад на Vi-212 е 60,5 минути, на C-14 – 5730 години, на U-238 – 4,5 милиарда години, т.е. има голям избор на подходящи изотопи за определяне на интервали от време в много широки граници.

Принципът за измерване на големи интервали от време с помощта на радиоактивни часовници в известна степен е подобен на принципа на работа на огнените часовници, при които специално обработена пръчка гори с постоянна известна скорост. Като знаем началната дължина на пръчката и скоростта на изгарянето ѝ, изминалият интервал от време се определя чрез измерване на дължината на неизгорялата ѝ част. При радиоактивните часовници изминалия интервал от време се определя от закона за радиоактивния разпад

$$N = N_0 \exp(-\lambda t)$$

където N_0 е броят на ядрата в началния момент $t_0 = 0$, N – броят на ядрата в даден следващ момент от време t , λ – константата на разпада.

Константата на разпада е свързана с периода на полуразпад T на радионуклида чрез израза $\lambda = \ln 2/T$.

Опитно се измерва величината *активност* на радионуклида

$$A = |dN/dt| = \lambda N = \lambda N_0 \exp(-\lambda t)$$

При метода се решава следната задача – като се измери активността на радионуклида в настоящия момент и ако е известна активността в началния момент се определя изминалия интервал от време t .

Определянето на радиоактивността (количеството) на радиоактивния изотоп в началния момент от време е основната трудност при използването на радиоактивните часовници. За определянето ѝ трябва да се отговори на

следните въпроси: 1) Има ли метод, по който да се определи началното количество вещество в образец, който не е подготван специално за това измерване и е престоял в земята хиляди или милиони години?; 2) Как да се изключи въздействието на околната среда върху образца през годините?

Отговор на тези въпроси дава У. Либи през 1946 г. с предложения от него метод на радиовъглеродния часовник, за което през 1960 г. е удостоен с Нобелова награда по химия. Известно е, че в природата естествения въглерод се среща като смес от няколко изотопа, от които в най-голямо количество стабилните изотопи – С-12 (98,9%) и С-13 (1,1%), докато радиоактивният изотоп С-14 е едва $1,07 \cdot 10^{-10}$ %. Това много малко количество, което се регистрира в днешно време, не може да е остатък от първоначалното количество радиоактивен изотоп, съдържащо се в процеса на формиране на Земята преди около 4,5 милиарда години, защото периодът му на полуразпад е 5730 години. Поддържането на относително постоянно количество радиоактивен С-14 се дължи на бомбандирането на земната атмосфера с неутрони от космически произход. При навлизането им в атмосферата на Земята те взаимодействат с ядрата на атмосферния азот, при което се получава С-14. Радиоактивните въглеродни атоми взаимодействат с кислорода и като въглероден оксид се поглъщат от растенията, разтварят се в океаните и т.н., включвайки се в биохимичния кръговрат на живота на Земята. Следователно поради непрекъснатия процес на обмен с околната среда във всеки жив организъм специфичната активност на С-14 трябва да е равна на тази на околната среда. След смъртта на организма обмена с околната среда се прекратява и по този начин началният момент на включване на радиовъглеродния часовник е смъртта на организма. Това означава, че ако преди хиляди години някакво дърво е паднало при свличане на земни маси или някакво животно е загинало, то от този момент съдържанието на стабилен въглерод в него не се изменя, докато радиоактивния С-14 намалява със строго определена скорост. Тази верига от заключения показва, че възрастта на даден археологичен образец може да се определи чрез измерване в днешно време на специфичната активност на С-14, съдържащ се в него.

За да се приеме достоверността на този метод трябва да се приемат няколко хипотези, по-важните от които са: 1) постоянство на космическото лъчение, в частност потока от неутрони, навлизащи в атмосферата на Земята в продължение на десетки хиляди години; 2) постоянство на скоростта на образуване на радиоактивен въглерод в земната атмосфера; 3) липса на други източници на радиоактивен и стабилен въглерод в земната атмосфера; 4) независимост на специфичната активност на С-14 от географската ширина и дължина, както и от височината над морското равнище; 5) равенство на относителното съдържание на радиоактивен въглерод в живите организми и в атмосферата.

Изпълнението на тези хипотези било доказано чрез многократни проверки след предлагането на метода. Но най-добрата проверка е сравнението с

възрастта на образци от миналото, определена надеждно чрез други методи. Либи и сътрудниците му успели да изследват седем контролни образци най-ранният, от които парче от ела, възрастта на която е определена по годишните й кръгове на 1369 години от времето на датиринето или от 580 г. от нашата ера, а най-старят – парче дъска от акация от гробницата на Джосер в Сахара, което по исторически данни е датирано от 2700 ± 75 години преди нашата ера. Проведеното определяне на възрастта на тези образци по радиовъглеродния метод дало много добро съвпадение с определените по други методи възрасти, което било решаващо за приемането му от научните среди.

Метода има много успехи, но и отделни несъответствия с определените с други методи възрасти на изследваните образци. В някои случаи радиовъглеродното датирание се е потвърдило и археолозите или геолозите са го приемали, но в други случаи е доказано, че радиовъглеродния метод не е точен. Напремер в списание "Nature" от март 1970 г. е докладвана възраст от 7370 години на материал от строителен разтвор от замък в Англия. От писмени източници обаче е известно, че замъкът е строен преди 738 години, т.е. радиовъглеродния метод дава почти десет пъти по-голяма възраст.

Развитието на науката в последните години също поставила под съмнение достоверността на метода. Съвременните научни достижения водят до извода, че нито една от приетите от Либи хипотези не се изпълнява абсолютно точно и се нуждае от допълнителен анализ. Например, допълнителен източник на радиоактивен въглерод в атмосферата са наземните опити с ядрени и термоядрени оръжия. Анализа на този източник показал, че след началото на тестовите на ядрени оръжия през 1945 г. специфичната активност на радиоактивния въглерод се е повишила с повече от 30%. След прекратяването на наземните опити през 1963 г. има тенденция за малко намаляване на активността на C-14. В полза на радиоактивния метод е факта, че този допълнителен източник на C-14 започва да действа преди около 65 години и следователно не влияе върху определянето на възрастта на по-старите образци.

Анализ на нарушенията на останалите хипотези довел също до тяхното прецизиране и позволил да се очертаят по-точно границите на приложение на този метод.

Връхната граница за приложение на радиовъглеродния метод логично е нулевата възраст, т.е. настоящия момент. Но тъй като при измерването на всяка физична величина има определена неточност, връхната граница на радиовъглеродния метод при използване на съвременните методи за измерване на активността се определя с точност ± 10 години. Това се постига чрез увеличаване на чувствителността на прибора, с който се правят измерванията, към много малки активности и надеждната му екранизация от фоновото излъчване. Например, екранизацията на приемника (брояча) с оловни плочи намалява фоновото излъчване до 8 пъти. Допълнително понижени на фона до 20 пъти може да се постигне чрез временен подбор на сигналите, като те се измерват не с един, а с два брояча. Увеличаването на количеството от

изследваното вещество и удължаването на времето на измерване на активността също допринасят за намаляване на неточността при определяне на възрастта на изследвания образец.

Долната граница при прилагане на метода се определя от периода на полуразпад на радиоактивния въглерод – 5730 години, т.е. след смъртта на организма началното количество C-14 в него ще намалее наполовина след 5730 години, след 11460 години ще бъде една четвърт от началното количество и т.н. Например, ако образеца е парче от дърво, престояло в земята 50000 години, то съдържанието на C-14 в него се намалява стотици пъти и остатъчната активност в настоящия момент се оказва от порядъка на фоновата стойност. Това води до голяма неточност при определяне на възрастта му, достигаща до няколко хиляди години. В този случай точността може да се увеличи като активността се измерва много дълго време (наколко денонощия) и т.н. Съвременните методи за определяне на специфичната активност на радионуклидите позволили долната граница на приложение на метода да бъде свалено до 70000 години.

Основно приложение радиовъглеродният часовник има за определяне на възрастта на археологични находки и по този начин за определяне на важни опорни точки при съставянето на хронологически таблици. Например, с помоща на този метод е датиран културния слой в пещерата Ласко във Франция, покрита с доисторически рисунки. Възрастта им е определена на 15500 ± 900 години и определя важна опорна дата за археолозите. Възрастта на намереният в Палестина свитък от Библия (книга на Исаия) е определена на 1950 ± 200 години, т.е. около началото на новата ера в историята на човечеството.

В много случаи използването на радиовъглеродния часовник е помогнало да се разкрият фалшификации на по-стари и по-нови артефакти. Например, преди около 50 години на археолозите са представени останки от праисторически човек. Формата на черепа и челюстите на този екземпляр били в явно несъответствие с установената представа за еволюцията на човека. Проведения радиовъглероден анализ обаче показал, че възрастта на тези останки е едва около 500 години.

Радиовъглеродния метод се използва интензивно и в геологията и почвознанието. Определянето на възрастта на почвите в съчетание с математични модели на различни почвени системи позволява изследването на механизма на протичащите в тях процеси, довели до съвременните им свойства и състояние.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ НА ТЕЛЕВИЗИЯТА

Андон Андонов¹ и Невен Иванов²

¹ ФаГИОПМ, Технически Университет-София, София 1000, бул. "Климент Охридски" 8,
e-mail: andon.andonov@fdiba.tu-sofia.bg

² ФТК, Технически Университет-София, София 1000, бул. "Климент Охридски" 8,
e-mail: hope4o@tu-sofia.bg

Резюме. Разглеждат се двата основни типа сигнали, които се използват при предаването на телевизионен сигнал. Съпоставката между тях води до основния извод – за необходимостта от цифровизацията на телевизията. Разгледани са и европейските директиви, които инициират и ускоряват процеса на преход.

Ключови думи: сигнал, цифров, аналогов, телевизия, ЕМИ, цифровизация

1. Увод

Мултимедийният достъп до информация и забавление открай време е част от живота на съвременния човек. Телевизията е най-разпространения представител на този вид технология и затова към нея са насочени много очаквания и стремежи за постоянно подобряване на всякакви аспекти около нея.

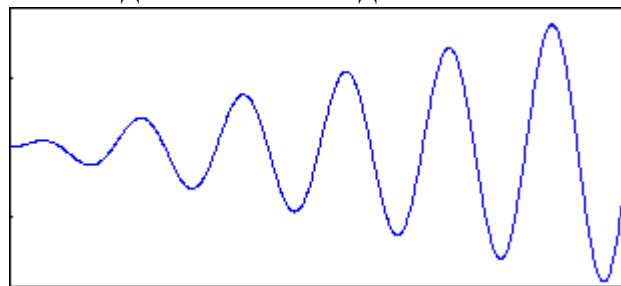
С развитието на техниката и подобряването на жизнения стандарт на значителна част от световната средна класа се увеличиха и изискванията към продуктите и услугите, които те използват. Потребителите вече не се задоволяват с черно-бяла телевизия или такава с лошо качество на звука/картината. Целта на този доклад е да представи прехода от аналогова към цифрова телевизия с оглед на промяната в желанията на потребителите за по-добро качество и интерактивност.

2. Аналогов сигнал

Комуникациите от края на 19 век и през по-голямата част на 20 век са се осъществявали чрез приемане и преобразуване на звуковата и видео информация, имаща аналогов характер. Техническата обработка на електрическата информация, имаща също аналогов характер, нейното предаване на далечни разстояния - жично или безжично, съхранението и възпроизвеждането, ставаше със средствата на аналоговата електроника. Бързото развитие на цифровите системи, особено в микроелектронно изпълнение позволи информацията да се преобразува и обработва много по-качествено, евтино и масово достъпно от аналогов в цифров вид.

С дискретните полупроводникови елементи от втората половина на 20 век, конструирането на сложни устройства, включително преобразователни, е било скъпо и без необходимите качествени параметри. Прогресът на микроелектронните технологии превърнаха електронните системи в масово достъпни електронни средства, на което сме свидетели в наши дни.

Аналоговият сигнал е сигнал, който може да има безкраен брой безкрайно близки стойности, всички те принадлежащи към едно непрекъснато множество от стойности. За разлика от дискретните сигнали, аналоговите сигнали се описват с непрекъснати функции на времето. Затова аналоговият сигнал често се нарича и непрекъснат сигнал.

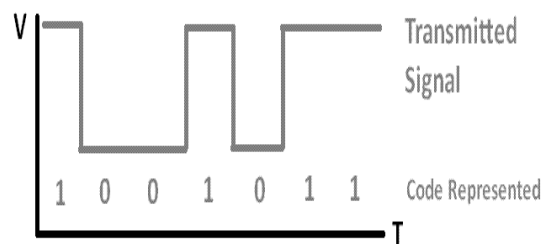


Фиг. 1. Аналогов сигнал – wikipedia.bg

Аналоговите сигнали често се използват за представяне на непрекъснато изменящи се физични величини. Например, аналоговият електрически сигнал, снеман от термодвойка, носи информация за изменението на температурата, сигналът от микрофона — за бързите изменения на налягането в звуковата вълна, и т.н. Макар най-често аналоговите сигнали да са електрически, те могат да се разпространяват и в друга среда - механични, пневматични и хидравлични системи също могат да произвеждат аналогови сигнали. Аналоговият сигнал, графиката на изменението на който представлява синусоида, се нарича хармоничен. Хармоничните сигнали са от особен интерес за радиотехниката и акустиката.

3. Цифров сигнал

Цифров сигнал е аналогов сигнал, който е дискретизиран във времето и квантуван по ниво. За определен период от време цифровият сигнал има краен брой стойности (отчети), които заемат определено ниво от скалата на квантуване, която също е с краен брой стойности. От броя на тези стойности зависи с колко бита ще се кодира всяка стойност на цифровия сигнал.



Фиг. 2. Цифров сигнал - <http://www.hifipage.com/>

Повечето устройства в ежедневието ни са базирани на цифровите сигнали. Даже целият интернет е мрежа от цифрови сигнали, както и модерните мобилни комуникации.

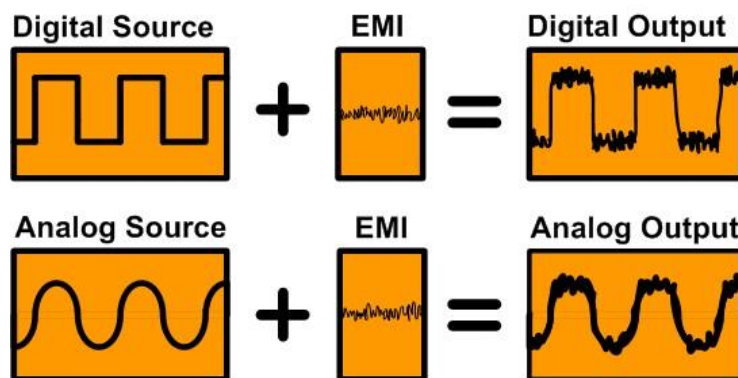
За обработката на сигнала е важно да се знае, че колкото повече нива има в скалата на квантуване, толкова "по-вярно" се преобразува аналоговият сигнал в цифров (по-високо качество), но и обемът на информацията е по-голям.

Обратно, ако държим на малък обем информация, а качеството на преобразуването не ни е толкова важно, то ще ни трябва скала на квантуване с малък брой нива. Аналогично е положението и с честотата на дискретизация (гъстотата на отчетите). При повече отчети (по-голяма честота на дискретизация) - по-добро качество, а с по-малко отчети при същия сигнал - по-ниско качество и по-голяма загуба на информация.

4. Сравнение между сигналите

Винаги е имало спорове дали високо качествените и по-скъпи кабели биха предавали по-качествено видео/аудио отколкото по-евтините. Три четвърти от отговора на този въпрос зависи от това дали сигнала е аналогов или цифров, когато сигналът се движи по кабела той постоянно бива „бомбандиран“ от електромагнитни вълни. Електромагнитната интерференция идва от много източници включително радио и сигнали за мобилни телефони както и окабеляването в дома. Освен ако кабела няма подходяща защита ЕМИ вълните попадащи върху кабела могат да генерират слаби напрежения, които се проявяват като шум.

На фиг. 3 е показано как шумът въздейства по-силно на аналоговия отколкото на цифровия сигнал. Това е така понеже цифровите сигнали са или 0 или 1. При сигнали с нисък волтаж това са съответно 0V и 5V. Сигналът не се въздейства от малки промени във волтажа



Фиг. 3. Влияние на ЕМИ

причинени от ЕМИ. Примерно шумът от ЕМИ може да намали 5V до 4,6V. Цифровото устройство ще получи тези 4,6V, но ще ги интерпретира все едно са оригиналните 5V. При същата тази ситуация аналоговия сигнал няма да направи преобразуване, а неправилно ще прочете волтажа като 4,6V.

5. Предимства на цифровата телевизия

Цифровата телевизия дава високо качество на изображението и звука - телевизия без смущения, панорамен формат (т.нар. „широк екран“ 16/9). С въвеждането на наземното цифрово телевизионно радиоразпръскване става възможно излъчването на телевизионни програми с висока разделителна способност “High Definition Television” (HDTV). Телевизорите са способни да визуализират HDTV с по-висока разделителна способност и се наричат „Full HD”, а тези, които имат по-ниска разделителна способност са „HD Ready”. Възможност за предаване на допълнителна информация заедно с телевизионния

сигнал - телетекст информация, платени телевизионни програми (т.нар. Pay Per View-PPV), даваща възможност за излъчване на платени телевизионни канали, като потребителят може избира и съответно да плаща само за част от предаванията, например само за един определен филм), електронен програмен справочник EPG (Electronic Program Guides), съдържащ информация за телевизионните програмите, интерактивни услуги, достъп до интернет и др.

Този вид технология предполага по-ефективно използване на радиочестотния спектър. Целта ѝ е да подобри качеството на телевизията във всяка страна като намали използването на радио- честотния спектър, за да се намали облъчването и да даде на потребителя достъп до нови по- качествени услуги.

6. Цифровизацията в България

Цифровизацията на телевизията е бавен и плавен процес на преминаване от аналогово ефирно излъчване към цифрово. Към днешна дата, както всички знаем ефирната телевизия официално е аналогова. Тя може да се хваща с обикновена антена без допълнителни устройства. Аналоговата ефирна телевизия обаче е към края на живота си. В края на този процес, който е заложен за 1 септември 2013 г., цифровата ефирна телевизия ще е заменила изцяло аналоговата ефирна телевизия.

Целият този процес е инициатиран от директива на ЕС целяща да цифровизира ефирната телевизия.

Важен етап в прехода от аналогова към цифрова телевизия в България е така нареченият симулкаст - едновременно излъчване и по двата стандарта за период от 6 месеца - между 1.3.2013 и 1.9.2013 г.. Целта е всички да имат време да се запознаят какъв приемник (декодер) трябва да се закупи, за да гледат цифрова ефирна телевизия. През периода на симулкастта правителството провежда широка информационна кампания, с която да запознае гражданите с ползите от процеса на цифровизация на телевизията. Освен да ги запознае с ползите, целта на информационната кампания е да осведоми всеки гражданин, че ако иска да гледа ефирна телевизия това ще е възможно само чрез тунер за цифрова ефирна телевизия.

След 1.9.2013 г. спира едновременното излъчване на двата вида ефирни сигнали и телевизията ще бъде излъчвана изцяло с цифров сигнал. Телевизионните апарати, които нямат цифров декодер няма да могат да приемат ефирна цифрова телевизия.

7. Заключение

Цифровият сигнал се е доказал като евтин и сигурен начин за трансфер на информация, сравнен с аналоговия пренос на данни. Като добавим към това и силното развитие на цифровата електроника, можем да обясним явлението цифрова революция.

Зад това се крият новите желания на потребителите, които изискват по-добро качество, интерактивни услуги и нови преживявания.

Литература

- [1] Karl-Dirk Kammeyer, Kristian Kroschel: Digitale Signalverarbeitung. 6. Auflage. Teubner, 2006.
- [2] Digital Agenda For Europe: <http://ec.europa.eu/digital-agenda/en/funding/funding-opportunities> , 10.04.2013
- [3] Digital Signal: http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Signal , 10.04.2013
- [4] Cifronim: <http://www.cifronim.com/> , 10.04.2013
- [5] Analog Signal: <http://de.wikipedia.org/wiki/Analogsignal> , 10.04.2013

Космически кораби - действащи сили, устройство и страхотни провали

Диана Илиева

Транспортен Факултет, ТУ-София

1. Увод

С преминаването на Студената Война привидно скоростта на развитие на космическите технологии се забави. САЩ намаляват бюджета на НАСА, докато Китай продължава да изпраща хора извън стратосферата, но вече това не звучи толкова застрашително. Компенсацията за фантастичната сфера на науката започва да идва от частни фондове, и имаме вече първите примери за успешен бизнес в нишата на обслужването на космически станции, доставки на консумативи и може би някой ден любителски екскурзии. Бъдещето е далеч от мрачно, и все така вълнуващо, но нека първо си зададем въпроса как изобщо успяхме да пробием газовата обвивка на красивата ни планета? Колко пъти сме се проваляли опитвайки и защо?

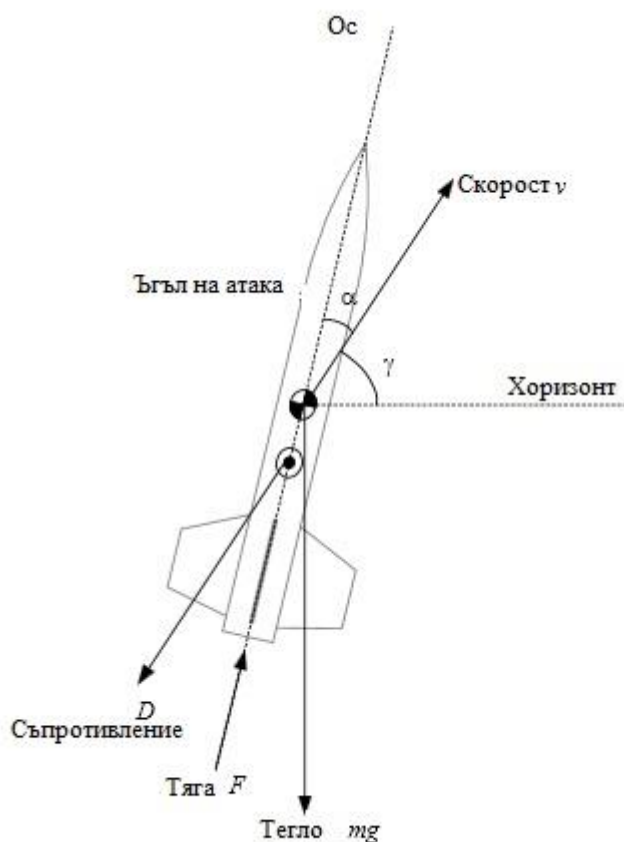
2. Сили въздействащи на совалката

Обикновеният полет в условията на земната атмосфера е бил много сложен за разрешаване въпрос, а необходимостта за преминаване на границата на въздушната обвивка на планетата налага още по-големи мощности изисквания към летателното средство. Изключително големите сили, които пречат на успешното излизане в космоса са очевидни- гравитацията и челното съпротивление от триенето с въздуха. Стойността им се изменя в различните фази на полета и негативното им влияние трябва да бъде преодляно с помощта главно на тягата от SRB (solid rocket booster). Тук тягата има решаваща роля за успеха на полета, докато значение на подемната сила е силно намалено. За разлика от самолетите, тук подемната сила се използва по-скоро за навигация на летателното средство, т.е. да се стабилизира и поддържа посоката му на полет. Съответно от тук произлиза и още една разлика между самолетите и совалките- при обикновения самолет пропорцията подемна сила: съпротивление е силно в полза на подемната сила, докато при совалките е точно обратното. Всички изброени до тук 4 сили са векторни и притежават големина и посока. Векторът на гравитацията е насочен надолу към центъра на Земята, перпендикулярно на земната повърхност. Обикновено посоката на тягата съвпада с надлъжната линия на ракетата, като стойността зависи от масовия разход на двигателя, скоростта и налягането при изпускателния отвор. Подемната сила и челното (аеродинамично) съпротивление са аеродинамични

сили и зависят силно от формата на машината, размерите ѝ, скоростта ѝ, и свойствата на въздуха, който се разрежда с издигането. Векторите им произхождат от центъра на налягането, тяхното значение е по-голямо само докато летателното средство все още е в атмосферни условия, като това трае сравнително кратко. Ще разгледаме по-подробно съществените промени в стойността и направлението на 4те сили, въздействащи на космическите совалки в различните фази на движението им.

А) сили при движение по посока на полета

Приемаме за по-просто, че нашата ракета е с неподвижен мотор (изпускателен отвор) и отчитаме ъгъла на атака, хоризонта и направлението на скоростта. Съпротивлението е обратно по посока на скоростта, а тягата и гравитационното притегляне действат както е описано по-горе. Схемата на совалката ни при полет ще е както е илюстрирано на фиг. 1:



Фиг. 1.

Уравнението изразяващо действащите сили, отчитащо знаците им спрямо условните координати, ще изглежда по следния начин:

$$m \frac{dv}{dt} = F \cos(\alpha) + mg \cos(90 + \gamma) - D \quad (1)$$

Ако приемем, че ъгълът на атаката е сравнително малък, под 10° , може да изразим ускорението за конкретния случай така, елиминирайки масата:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{F}{m} - g \sin(\gamma) - \frac{D}{m} \quad (2)$$

Ускорението е положително, когато първият компонент на уравнението е по-голям от другите два, т.е. тягата, която е с положителна посока, трябва да има по-голяма стойност от сборът на теглото и съпротивлението. Когато имаме нулева тяга, очевидно уравнението ни дава отрицателно ускорение, а при хоризонтален полет компонентата на теглото отпада, заради 90° ъгъл, който сключва с посоката на движение.

На пръв поглед уравнението изглежда като елементарна динамика, но всъщност величините се променят с течение на времето. Заради изгарянето на горивото масата на совалката намалява, плътността на въздуха също се изменя и това влияе на съпротивлението, с отдалечаването от Земята леко се понижава и гравитационното притегляне и т.н. като всичко това трябва да се отчете и разрешаването на уравнението изисква сложен математически метод. Използва се линейна екстраполация, взимат се достатъчно малки времеви интервали от полета, при които можем да приемем траекторията за права линия, и в отправните условия всички сили са 0. Също се прилага и методът на Рунга-Кута, който служи за решаване на диференциални уравнения от първи и втори порядък.

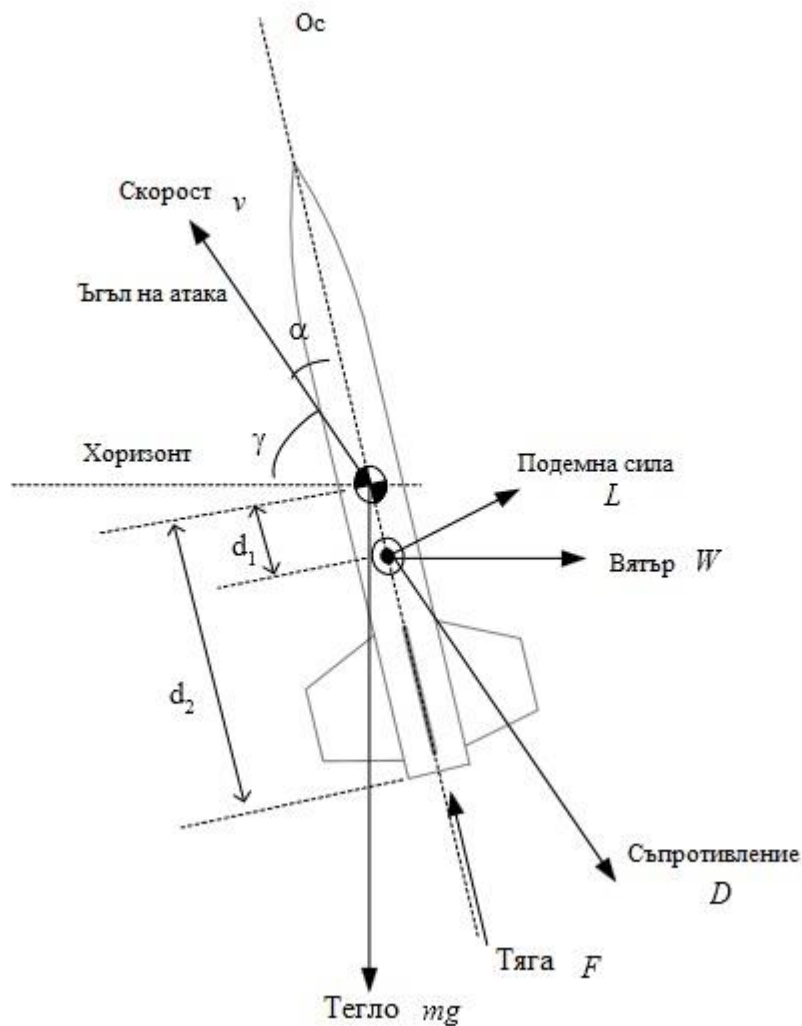
Б) сили действащи при движение перпендикулярно на посоката на полета

При това положение ракетата, сключваща прав ъгъл с оригиналната желана посока на движение, лети в покой с нулево ускорение. Обаче статуквото в реални условия не може да се запази за съществен период от време, защото първият повей на вятър ще го наруши и трябва да се включат в действие възстановителни сили от перките, които да стабилизират посоката, както и всички компоненти на тягата, които вече не са успоредни на посоката на движение.

Аеродинамичните сили произлизащи от центъра на налягане образуват въртящи моменти спрямо масовия център, което води до постоянна ротация на ракетата около собствената ѝ ос по време на полет. Ако адаптираме математически принципа на Нютон, за да опишем с него не линейно, а ротационно движение, получаваме следното уравнение:

$$\tau = I \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (3)$$

Вместо силата F имаме въртящият момент τ , а масата е заменена от инерционния момент I , разстоянието r е представено с ъгъла θ . На фиг. 2 са обозначени силите и техните посоки, както и ъглите на атака и между вектора на скоростта и хоризонта.



Фиг. 2

Системата, която виждате на фигурата трябва да бъде изразена математически, и за да стане това е необходимо да приемем няколко условия: за положителна посока на въртене ще приемем въртенето по часовниковата стрелка, а направлението на вектора на скоростта ще ни е референтен за посоката на всички ъгли. Уравнението, което можем да съставим от изобразените сили добива следния вид:

$$I \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = Fd_2 \sin(\alpha) - Ld_1 - Wd_2 \cos(\gamma) \tag{4}$$

Инерционният момент на тяло състоящо се от k -брой части се изчислява по познатата формула:

$$I = \sum_{i=1}^3 m_i r_i^2 = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 \tag{5}$$

Горното уравнение е в случай, че имаме тяло съставено от 3 части със съответните маси, на съответните разстояния от центъра на тежестта на тялото.

Подемната сила се изчислява по формулата:

$$L = \frac{1}{2} \rho A_F C_L v^2 \quad (6)$$

Взимаме предвид, че при малки стойности на ъгъла на атака (под 10°) коефициента на подеманта сила на плоска перка е пропорционален на ъгъла на атаката. Това ни позволява да въведем константа k_L при малките ъгли на атака и тя може да бъде изразена по следния начин:

$$C_L = k_L \alpha \quad (7)$$

Следователно като заместим (7) в (6) получаваме:

$$L = \frac{1}{2} \rho A_F k_L v^2 \alpha \quad (8)$$

Ако заместим (8) в уравнение (4) описващо общия случай на разглежданото движение, формулата ни ще изглежда по следния начин:

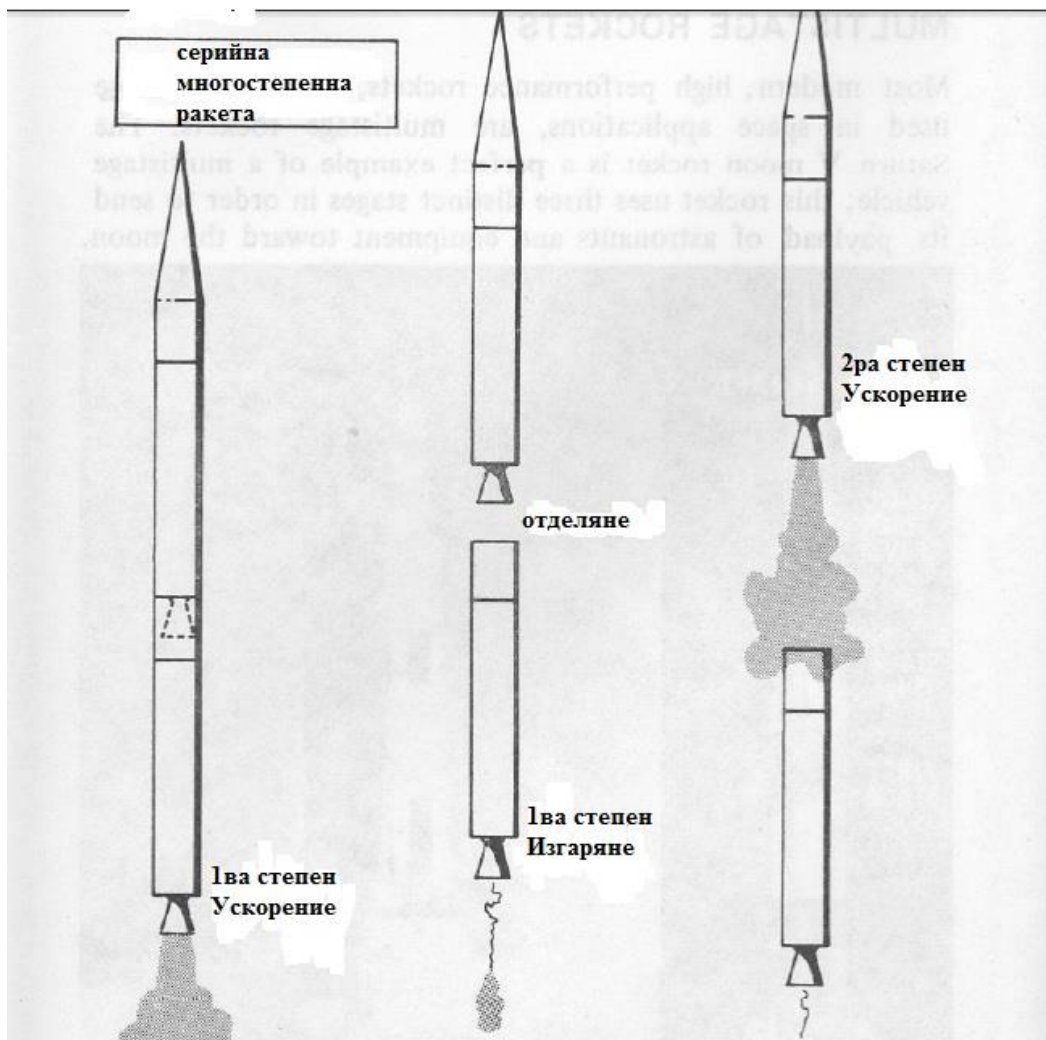
$$I \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = \frac{1}{2} \rho A_F k_L v^2 d_1 \alpha - W d_2 \cos(90 - \gamma) + F d_2 \sin(\alpha) \quad (9)$$

Вече сме допуснали, че ъгълът на атака е малък и сме въвели константата k_L , друго полезно приложение на малките ъгли е, че може да приемем, че $\sin \alpha \sim \alpha$, като измерваме ъгъла в радиани. Окончателният вид след последното допускане и малко пренареждане на компонентите ще бъде:

$$I \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = \left(\frac{1}{2} \rho A_F k_L v^2 d_1 + F d_2 \right) \alpha - W d_2 \cos(90 - \gamma) \quad (10)$$

Приложението на теорията в практиката обаче води със себе си разнообразие от възможни варианти за реализация. Когато говорим за космическите ракети, първо може би трябва да ги разграничим от космическите совалки. И двете средства използват еднакви горива за двигателите си, но докато при ракетата те са във вътрешността, при совалката се съхраняват във външни резервоари. Устройството на космическата ракета предполага, че тя е така да се каже за еднократна употреба- изпълнението е от няколко нива на резервоари и двигатели, които поетапно се отделят от общата конфигурация. По този начин конструкцията се олекотява периодично, и след успешното си завръщане не полита втори път. Космическата совалка за разлика от това има няколко модула наречени SRB (Solid Rocket Boosters), които служат за основната порция ускорение, но не могат да постигнат същата орбита, както ракетите. Една совалка е предназначена да превозва многократно както пътници, така и товари в космоса, да зарежда космическата станция, или да носи резервни части и обучен екип за ремонти. Подробно ще разгледаме многостепенната ракета, като нейното изпълнение може да варира между паралелно и серийно. При първото отделните степени или фази са монтирани успоредно една на друга, при второто де факто имаме фази наслагани една върху друга, всяка със свое гориво и двигател.

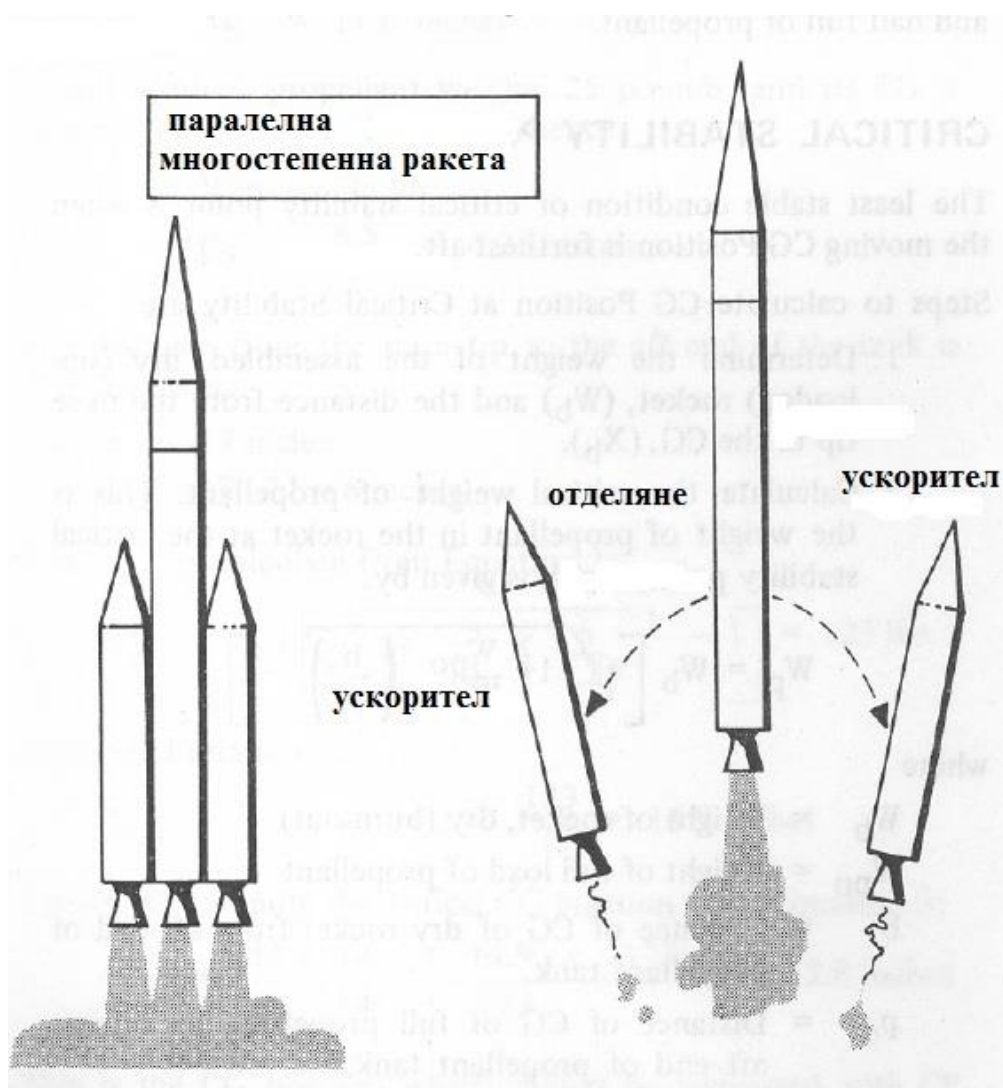
Първата фаза е най-долу и най-обемна, съдържайки най-много гориво и мощен двигател, защото трябва да ускори максимално летателното средство в условията на най-голямо триене. Над нея може да има още една или повече фази, прогресивно намаляващи обема и теглото си, като отделянето на всяки вече ненужен етап от ракетата става при пълното изчерпване на горивото чрез лек взрив по обособена равнина на отделяне.



Фиг. 3. *Серийна многостепенна ракета*

При паралелните схеми на изпълнение ускорителите съдържащи двигатели и гориво се намират по дължината на ракетата и се смятат за нулева фаза. Силата на детонация трябва да е достатъчна, за да се премахне изцяло ненужната степен, която включва не просто празния вече резервоар, а също двигателят с прилежащите му системи. Проблем би създавала както слаба детонационна сила, понеже няма да отдели успешно фазата, така и прекомерният взрив, който може да нанесе някаква повреда на машината. Предимството на тандемната структура е възможността всеки от последващите двигатели са конструирани с параметри предвид условията и нужната

максимална скорост, която трябва да постигнат. Триенето е намалено, заради по-удобната от аеродинамична гледна точка форма. При паралелните конфигурации се използва по-ефективно горивото, по-малка част от освободената при горенето енергия се губи и се превръща в потенциална, масовият дебит на горивото нараства и това спомага загубите от силата на теглото да се понижат. За жалост обаче тази конструкция има и недостатъци-аеродинамичността на формата страда от паралелното разположение, ракетата става прекалено обемиста и загубите от триенето се повишават, ефективността на изпускателната дюза намалява.

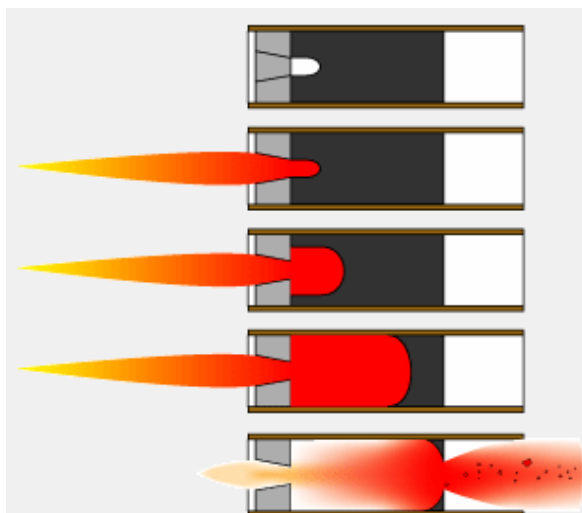


Фиг. 4. *Паралелна многостепенна ракета*

Понякога двата метода се комбинират и около първото ниво на тандемната структура се монтират паралелно разположени допълнителни бустъри, които да увеличат мощността само при полета през най-тежките атмосферни условия.



Фиг. 5. Клъстърна (комбинирана) многостепенна ракета



Фиг. 6. Фази на изгаряне на горивото

За успешния полет на космическата ракета трябва да се извършат редица сложни изчисления и да се вземат предвид ключови параметри като масовия коефициент на товара, промяната на масовия център при отделяне на ненужните вече степени и идеалната скорост на ракетата. Стабилността при полет е критична и теоретично може да се допусне, че поддържайки достатъчно голяма скорост, тя е гарантирана, но реалното условие, което трябва да се следи

е масовият център винаги да е над центъра на аеродинамичните сили. Местоположението на двата центъра може да се определи експериментално или теоретично, като за достатъчно разстояние се смята „един калибър“, т.е. един ракетен диаметър преднина на масовия център пред центъра на аеродинамичните сили. Проблеми възникват при използването на течно гориво, когато с намаляването на неговото количество масовият център мигрира назад, като най-опасният етап е, когато ракетата приближава преполовяването на горивото. При изчерпването му обикновено центъра на теглото се премества отново напред. Критичната точка на стабилност е при най-задно положение на центъра и се дефинира с помощна на параметъра *критично тегло* w_p

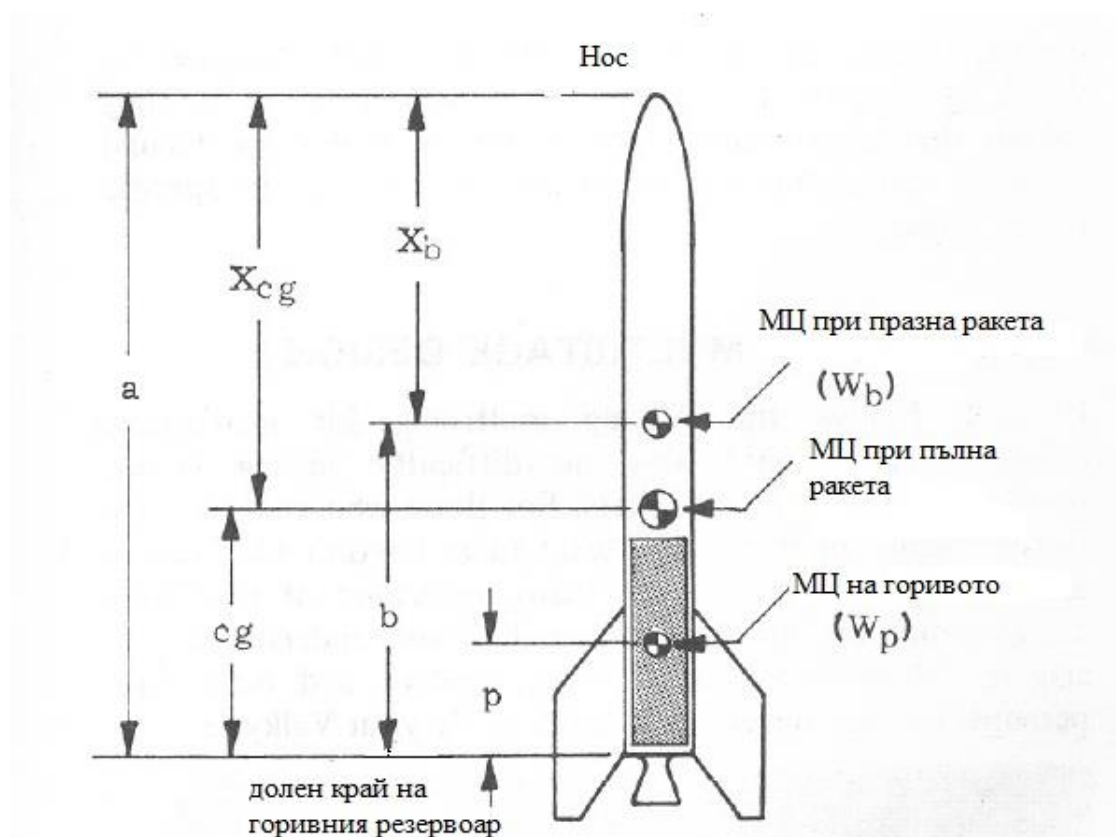
$$W_p = W_b \left[\sqrt{1 + \frac{W_{p0}}{W_b} \left(\frac{b}{p_0} \right)} - 1 \right]$$

(11)

където:

 w_b - тегло на ракетата, суха (празна) w_{p0} – пълно тегло на ракетното гориво

b- разстояние на МЦ (масов център) на празната ракета от задния край на резервоара

 p_0 – разстояние на МЦ от зарядения с гориво резервоар

Фиг. 7. Масови центрове на ракетата

След като изчислим критичната позиция на МЦ на горивото по формула:

$$x_p = a - p_0 \frac{W_p}{W_{p0}} \quad (12)$$

Може да пристъпим към изчисляването на същинското критично положение на МЦ, което представлява максимално отдалеченото от носа положение на МЦ по време на полет.

$$X_{cg} = \frac{X_b W_b + X_p W_p}{W_b + W_p} \quad (13)$$

За всяка от степените на ракетата е важно да определим 4 параметъра, с помощта на които да изчислим ефективността и оптималната ѝ скорост.

Масов коефициент:

$$\Lambda_i = \frac{M_{0i}}{M_{0i} - M_{pi}}, \quad (14)$$

Коефициент на товара:

$$\lambda_i = \frac{M_{wi}}{M_{0i}} = \frac{M_{0i+1}}{M_{0i}}, \quad (15)$$

Горивен коефициент:

$$\varphi_i = \frac{M_{pi}}{M_{0i}}, \quad (16)$$

Коефициент на ефективност на структурата:

$$\varepsilon_i = \frac{M_{ci}}{M_{ci} + M_{pi}}. \quad (17)$$

Първите три параметъра се отнасят за подракетите, докато структурната ефективност характеризира цяла една степен от космическия летателен апарат. Взаимовръзката между четирите параметъра се изразява с две уравнения:

$$\begin{aligned} \varphi_i &= (1 - \varepsilon_i)(1 - \lambda_i), \\ \Lambda_i &= \frac{1}{1 - \varphi_i} = \frac{1}{\varepsilon_i(1 - \lambda_i) + \lambda_i}. \end{aligned} \quad (18) \text{ и } (19)$$

Коефициентът на общия товар представлява реалното тегло на горивото плюс първоначалното тегло на ракетата в незаредено състояние:

$$\lambda_{tot} = \frac{M_u}{M_0} = \frac{M_{uN}}{M_{01}}. \quad (20)$$

Обратната величина на коефициента на общия товар е т.нар. фактор на нарастването:

$$G = \frac{M_0}{M_u} \quad (21)$$

Приемаме, че имаме постоянна гравитация, която притегля ракетата към Земята, и че началната скорост е равна на нула; при тези условия може да изчислим идеалната скорост на N-тата подракета, наричана още *идеална скорост на N-степенната ракета*:

$$V_{id} = V_{bN} = \sum_{i=1}^N \Delta V_i = \sum_{i=1}^N c_i \ln \Lambda_i. \quad (22)$$

Друг запис на същото уравнение е:

$$V_{id} = - \sum_{i=1}^N c_i \ln \{ \lambda_i + \varepsilon_i (1 - \lambda_i) \}. \quad (23)$$

В конструирането и изграждането на космически летателен апарат, независимо дали ракета или совалка, са вложени освен много средства, свръхчовешка прецизност и технологии. На фона на великите постижения, за които са предназначени ракетите и совалките, техническите проблеми, който могат да се окажат фатални за успеха им изглеждат смехотворни и нереални. Заплаха може да е всичко от зле захваната изолация до неустойчиво уплътнение, като човешките жертви не са рядко придружаващо проваления полет явление.

Два от най-известните инциденти са със совалките Challenger & Columbia през 28.01.1986 и 01.02.2003. При първата скандалът води до разследвания на НАСА и изпълнителите, с които работи, сформиранието на комисията Роджър и изслушвания в изслушвания в Комитета на Науката и Технологиите. Причина за катастрофата с Challenger е установена след продължително проучване разкрило престъпна безотговорност от страна на управляващото тяло, което не е послушало предупрежденията на инженерите за незадоволителните качества на о-пръстените на ускорителите. Притеснителните резултати по време на пробните полети и тестове са пренебрегнати, и самата фирма производител не е поела отговорността да подобри продукта си.

В деня на излитането температурите са по-ниски от очакването и това води до втвърдяване на първия о-пръстен, който не е проектиран да работи при текущите условия. Следователно той не може да уплътни добре горещите газове от изгарянето в ускорителя. Огъването на метала от създадите се сили

пречи на вторичния пръстен да застане в нужното положение и изгорелите газове изпепеляват и двата пръстена. В началото неизправността остава незабелязана, както от кулата, така и от екипажа. Повредата по щастливо стечение се самопоправя, след като алуминиеви окиси от изконсумираното твърдо гориво запояват образувалата се пробойна. Късметът обаче не трае дълго, при T+37 совалката се сблъсква с по-силен градиент на вятъра, отколкото при тренировките, той продължава около 27 секунди, и разбива образувалата се запойка от алуминиевите окиси. Това определя фаталната развръзка на полета, повреденият десен ускорител много бързо губи налягане, пробойната се разширява с големи темпове и видимо имало горене извън пръснатата става. При T+64.660 изтичането променя форма индикирайки, че вече има изтичане от резервоара с течен водород. При T+66.764 налягането на резервоара с течния водород започва рязко да пада. Разпадането на совалката започва в T+73.162 с пълното изпепеляване на външния резервоар и полуоткаченият десен ускорител работещ под неправилен ъгъл. Challenger се отклонява от предварително детерминираната си височина, и поема в посока пред текущите въздушни течения. Прекомерните аеродинамични сили разкъсват совалката на парчета, при резултантни сили от 20g, при конструктивно предвидено натоварване от 5g.

По-скорошен инцидент е този със совалката Columbia, която не успява точно преди да изпълни своята 28ма мисия. Загубата на совалката се дължи на авария при началото на полета- парче изолация от пяна с размери на малко куфарче се откъсва външния резервоар на Columbia. Откъснатото парче се удря във водещия край на лявото крило и поврежда системата за термична защита, която предотвратява повреди от голямата температура генерирана от триенето с атмосферата при завръщане към Земята. Докато совалката все още е в орбита някои инженери се усъмняват в наличие на повреда, но мениджърите ограничават разследването на въпроса под силата на логиката, че екипажът няма как да извърши поправки. По-късно формирания разследващ борд установява, че Атлантис е можела успешно да се намеси и да извърши поправките.

ПРОЕКТ ЗА САМОДЕЛЕН РЕАКТИВЕН ДВИГАТЕЛ

Александър Швайцер¹, Георги Леков¹, Кристиан Фодор¹, Людмил Крумов¹, Максим Василев¹, Пламен Витков¹

¹ Факултет по Транспорта, Технически Университет-София, София 1000; бул. "Кл. Охридски" №8; България

e-mail: a.schweizer@mail.bg; georgilekovbul@abv.bg; kristian.fodor@abv.bg; lucygorn@abv.bg; plvitkov@abv.bg;

Резюме. Целта на проекта е да покаже нагледно принципа на работа на реактивния двигател по достъпен и лесно усвоим начин. Моделът, състоящ се от достъпни за всеки части, е конструиран така, че да симулира в опростен вид работния цикъл на самолетен двигател и в същото време да може лесно да бъде адаптиран за използване с учебни цели.

Ключови думи: реактивен двигател

1. Увод

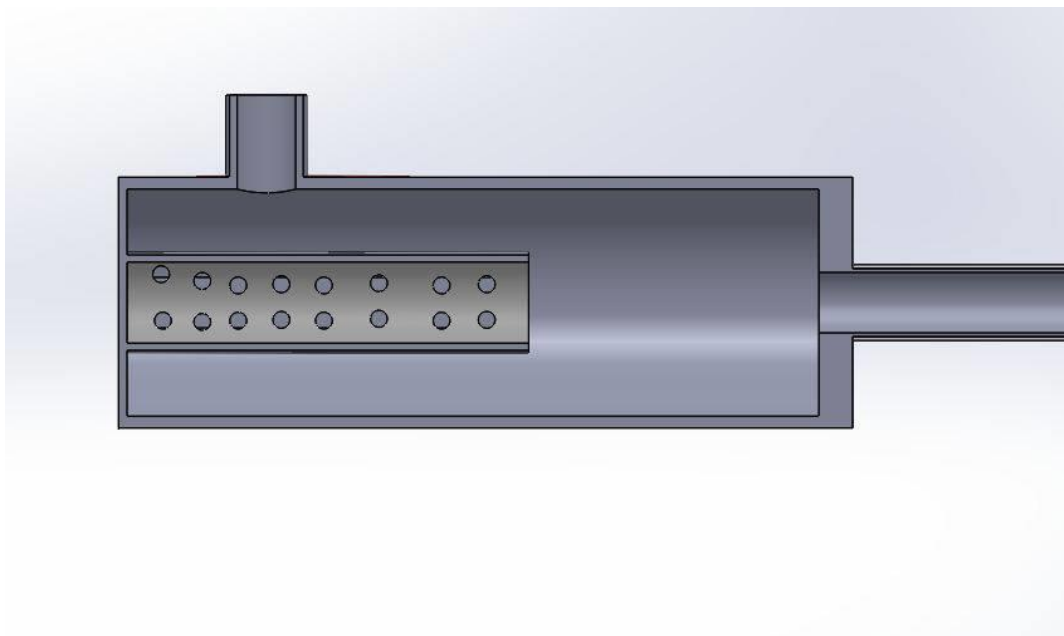
Като студенти първи курс Авиационна техника и технологии, бяхме подтикнати от идеята с подръчни материали по достъпен и лесно осъществим начин да направим работещ модел на реактивен двигател с учебна и експериментална цел. Структурата се състои от компресор и турбина (от Lancia 2,4 jtd), горивна камера (пригоден за тази цел пожарогасител) и свързващи тръби. Горивото, което се използва е пропан-бутан, поради по-лесния начин за дозиране и впръскване в горивната камера, неналагащ използването на специални дюзи. Това води до значително опростяване на структурата, което от своя страна улеснява самото конструиране на модела. Основен проблем в хода на проекта беше развиването на достатъчни обороти за самостоятелна работа на турбината и идеалното съотношение газ-кислород в горивната камера.

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

Още от самото начало целта на проекта е била той да бъде осъществен по достъпен за широк кръг от хора начин, т.е. частите, използвани в него да бъдат лесни за намиране и конструкцията като цяло да бъде опростена. В процеса на разработване екипът ни мина през няколко различни варианта на модела. Като източници на информация ползвахме сходни проекти, споделени в световната мрежа, както и справочници за конструиране и ползване на заваръчна и др. техника.

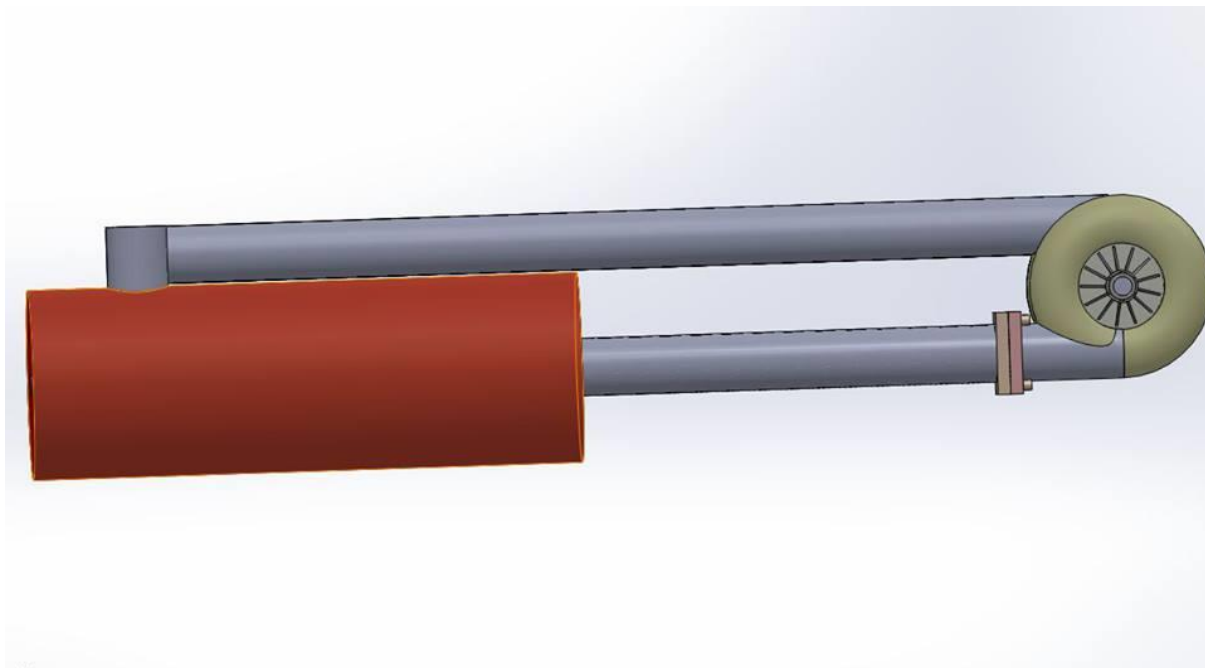
Като първи идеен модел служеше конструкция, състояща се от горивна камера от алуминиев кен от газирана напитка. На вал, закрепен централно в кена са закрепени редица перки за компресор (от към входната част на двигателя) и за турбина, задвижвана от отработените газове в другия край. Като гориво от самото начало се спряхме на пропан-бутан, поради лесния начин на впръскване и смесване с въздуха, тъй като не е нужна специална дюза за разпрашаване. Основните недостатъци на модела бяха трудното центроване, балансиране и лагеруване на вала, както и изработването на перките – от материал, който да издържа на високи обороти и температура и постигането на форма, гарантираща ефективна работа.

Вторият и окончателен вариант на модела се оказа доста по-сложен в сравнение с първия. Възможността за корпуса да използваме кен бе отхвърлена, поради ниската термоустойчивост на алуминия и очакваното налягане от 4 атмосфери, което би спукало горивната камера. Спряхме се на стар 6 литров пожарогасител, от лята стомана с дебелина на стената около 10 mm, за горивна камера. Поради прекалено голямата дължина се наложи да го скъсим с около 150 mm. Конструктивно една такава бутилка издържа на 240 kg/f, но поради предприетите модификации налягането в нея не трябва да надвишава 10 атмосфери. По предварителни изчисления, при работна температура 700-800 °С, налягането би било между 7-8,5 атмосфери. В средата на горивната камера е разположена стоманена тръба с диаметър 55 mm, с дължина около 300 mm в която са пробити 64 дупки $\phi 10$. Чрез нея горивото се смесва по-добре с въздуха, идващ от компресора по ъгъл 90 °С спрямо оста на горивната камера.



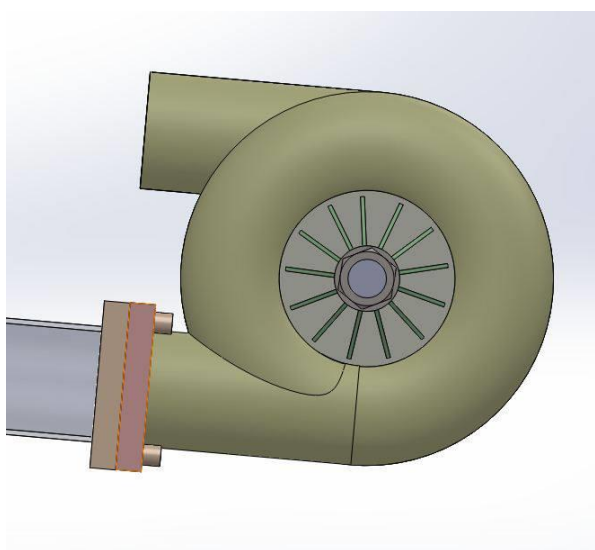
Фиг. 1. Горивна камера

Горивото се впръсква през клапана на самия пожарогасител директно в горивната камера, успоредно на оста ѝ.

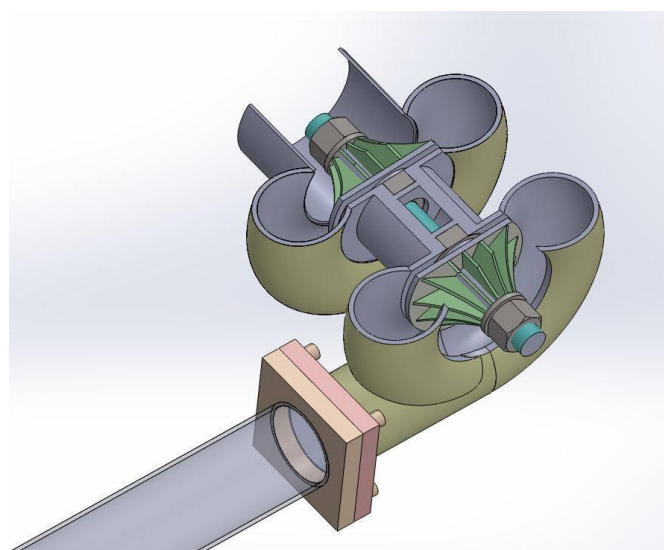


Фиг. 2. Горивна камера и турбина

За компресор и турбина се спряхме на турбокомпресор от автомобил Lancia 2,4 jtd. Така избегнахме трудната изработка на турбина и компресор, лежащи на един вал, както и проблемите с лагеруването и уплътняването. Смазването на турбината става през фабрично заложените в турбината отвори за тази цел. Поради липсата на помпа за масло и лесното му овъгляване при повишаване на температурата и високите обороти за смазочна течност се спряхме на масло, разредено с ацетон или друг органичен, неполярен разтворител.



Фиг. 3. Турбина



Фиг. 4. Турбина

Връзката между компресора и горивната камера е с тръби от хром-никелова стомана $\phi 45$ и дебелина на стената 1,5 mm, като е заварена към камерата, а връзката с компресора е осъществена чрез гумена сглобка. Връзката от горивната камера към турбината също е чрез тръба $\phi 45$ от хром-никелова стомана с дебелина на стената 1 mm.

Запалването се осъществява през специална дупка с резба M12, в която след запалване се навива болт. За подаване на искра се ползва бенгалски огън, който гори даже и в среда бедна на кислород, каквато е тя преди развъртане на турбината. Първоначалната идея да се вгради свещ от бензинов двигател не бе осъществима поради нуждата от повишаващ трансформатор или индукционна бобина. Дизеловата свещ, макар и захранвана от 12 V с акумулатор също се оказва неподходяща поради дългата фаза на запалване на турбината, което води до бързото изгаряне на свещта.



Фиг. 5. *Реактивен двигател*

На фиг. 5 е показан реактивният ни двигател в завършен вид без газовата бутилка.

Процедурата по запалване се състои от няколко стъпки и са нужни 4 човека. Първата стъпка е да се развърти турбината с помощта на компресор. В това време клапана на газовата бутилка се отваря на първата степен и се вкарва запаленият бенгалски огън. Когато съотношението въздух-гориво стане подходящо сместа се възпламенява и дига рязко оборотите на турбината, което от своя страна води до нагнетяването на още въздух в горивната камера. Оборотите се регулират чрез клапана за подаване на газ. Целият процес на запалване е придружен от детонации в моментите, в които отношението гориво - въздух е в експлозивна пропорция.

3. Резултати и обсъждане

Поддържането на идеална горивна смес в камерата е много трудно и равновесието лесно се измества. Поради това срещнахме известни затруднения двигателят да работи изцяло самостоятелно. За да се поддържа горенето в двигателя е нужно непрекъснато да се нагнетява допълнително въздух с компресор и прахосмукачка. Проблемите са свързани с недостиг на въздух в горивната камера и недоброто смесване на горивото с въздуха. Като решение на проблема обмисляме да сменим клапана на газовата бутилка с по-прецизен и дъното на вътрешната тръба на горивната камера да не е отворено.

4. Заключение

Като цяло моделът нагледно показва работата на реактивен двигател и е подходящ за демонстрации с учебна цел. С бъдещите подобрения се надяваме да постигнем самостоятелна работа на турбината и да отпадне нуждата от допълнително нагнетяване на въздух.

Ефекти върху човешкото тяло при пътуване в космоса

Диана Илиева

Транспортен Факултет, ТУ-София

Несъмнено и днес, ако попитаме група дечица стандартният въпрос „Какъв искаш да станеш като порастнеш?“, поне едно ще отвърне „астронавт“. Космическото пътуване пленява човешкият ум от най-ранна възраст, но да напуснеш земната атмосфера има тежки последствия, дори ако совалката ви излети и се върне успешно. Какво се променя в биометричните параметри на човешкото тяло, след като е изложено за продължително време на нулевата гравитация на вакуума и космическата радиация? С какви здравословни проблеми се сблъскват астронавтите? Какво се случва, ако някой от тях се окаже пряко изложен на вакуума на вселената?

Предстоящата мисия до Марс стана повод сериозно да се разгледа проблема с липсата на гравитация на борда на совалките - основната причина за огромната част от здравословните проблеми. Проучва се възможността да се създадат условия на изкуствена гравитация, която дори ако е само част от земната по сила, да намали нежеланите ефекти върху организма. За някои от тях човек може да се досети без особени познания по медицина, но други, колкото и простички да са на пръв поглед, ще ни изненадат. В широкият спектър нежелани последици спадат:

Мускулна атрофия: повече от очаквано, когато ежедневните ти усилия да се поддържаш прав, седнал, да ходиш и т.н. са елиминирани, и ти само нежно плаваш из пространството, настъпва много бърза загуба на мускулна маса. Особено силна атрофия настъпва в долната част на тялото, което води до трудно балансиране, лоша стойка, повишен риск от тендонит, липса на сила, и естествено натрупване на излишни мазнини. Последиците могат да се намалят при поддържане на поне частично повишена гравитация, както и чрез редовни упражнения на пътека за тичане и други уреди - по два часа на ден. След завръщането си на Земята астронавтите преминават възстановителен курс, който да им помогне да укрепнат отново и да възвърнат загубената мускулна маса.

Кръвообръщение: при нормални условия, голяма част от кръвта циркулира в долната част на тялото, за да подпомага мускулите, които поддържат стойката ни, движенията ни. Също така човешкото тяло има изградени множество механизми да се противопоставя на посоката на действие на гравитацията, за да осигури достигането на кръвта до мозъка. Когато обаче противодействието на тази сила не е на лице, се наблюдава т.нар. “fluid shift” или „изместване на флуидите“, те се концентрират в торса и главата, което довежда до редица неприятни последици като подпухнало лице, главоболие, запушен нос и др. Естествено свързано с мускулната атрофия и кръвообръщението - сърцето също

се налага да работи под обичайния си норматив, което води до отслабването му. Това е особено голяма заплаха за живота на астронавта при завръщане към земните условия. С изместването на флуидите от долната в горната част на тялото се наблюдава повишение и в пулса и в кръвното налягане.

„Космическа болест“: подобно на морската болест се проявява при пътуване в космоса и се изразява като гадене, повръщане, главоболие, световъртеж и безпокойство. Според различни източници 40% от астронавтите страдат от тези симптоми, други твърдят, че 60 до 70% изпитват споменатите смущения няколко минути, до няколко часа след настъпване на безтегловност.

Измяна на червените кръвни клетки: проучвания сочат, че микрогравитацията води до промени в структурата на червените кръвни клетки. Около 90% от тях имат двойно вдлъбната дискоидална форма, описвана по-просто като поничка без дупка, но при безтегловност червените кръвни клетки се доближават повече до сферата по форма. Друго наблюдавано явление е намаляването на броя клетки в костния мозък. Всички тези ефекти изчезват при завръщането на Земята, дори след дълго пребиваване в космоса. Структурните промени са изцяло обратими, което не е и учудващо предвид, че на човешкото тяло са му нужни до два дена да подмени изцяло кръвта в системите си. При нормални физически условия на повърхността на планетата факторите причинили променената форма не са налице, не въздействат, и оформянето на клетките и разпределението им, отново са както обичайно.

Нарушен имунитет: Иmunната система на човека е изключително сложна и съставена от голям брой различни специализирани и общи имунни клетки. Проведени изследвания по време на пробни мисии до Антарктида и космоса бяха показателни за вредните ефекти върху специфични аспекти на човешкия имунитет. Липсата на сън и изолацията водят до нарушения в Т-лимфоцитите-седем вида специализирани Т-клетки, всички те спадат към малките лимфоцити заедно с Б-клетките. Понижени нива на Т-клетки са типични за болните от ХИВ и са показателни за това дали вирусната инфекция е прераснала в СПИН. Съответно астронавтите, сходно с болните от ХИВ/СПИН са много по-уязвими за вирусни инфекции и гъбични заболявания, които разчитат именно на понижена имунна защита. Възможни са и патологични прояви на иначе безобидно живеещи в човешкия организъм гъбички.

Болки в гърба: С напредването на възрастта течността между прешлените намалява, гравитацията започва повече да ни „тежи“ и ние се смаляваме перманентно. От точно обратното могат да се оплачат астронавтите, след като микрогравитацията води от лекото отлепяне на техните прешлени. Последствията - човек може да порасне с до 5см, което от своя страна води до болки причинени от отпуснати мускули и лигаменти. За късмет ефектът е изцяло обратим, веднъж щом космическият пътешественик се завърне обратно към атмосферните условия.

Умора: Добрият сън е важен за имунитета, психическото здраве, способността за концентрация и скоростта на реакциите. Проблемът на

космическото пътешествие е, че бомбардира пътниците с нерегулярните светлина и цикъл ден/нощ, съчетан с множеството шумове от апаратурата и резултатът е стресирани и недоспали астронавти. Нарушаването на 24 часовият жизнен цикъл намалява капацитета за работоспособност на човека и това се отразява и на екипите на НАСА на Земята, които работят според времето на други планети по текущи мисии.

Чистота: Поради ограничените ресурси на совалката, всички запаси се ползват повече от разумно и не се допуска прекалена хигиена, защото водата е особено ценна. На разположение на астронавтите за ежедневно почистване са влажни кърпи, но не и литри вода за обичайното миене, на което сме свикнали на Земята. Взимането на душ не е често събитие. Опитните астронавти са си изградили полезен навик - да поддържат по-голям радиус на лично пространство между себе си и колегите си, за да не се нарушава комуникацията от прекалено силната лична миризма.

Лоша координация и баланс: в условия на открит космос някои от базовите въпроси, които мозъкът си задава, за да ориентира и балансира тялото, стават безсмислени. Например понятията за „горе“ и „долу“ губят смисъла си в огромното пространство пълно с астероиди. Обичайните знаци, които сетивата ни търсят, не са валидни, вестибуларният апарат няма способността да функционира нормално и правилно, затова астронавтът трябва с времето да се научи да разчита на други сетивни възприятия. След като мускулните сензори и вътрешното ухо не възприемат информацията, на която тялото е свикнало, трябва повече да се търсят визуални следи, които за жалост също не са прекалено надеждни. Пребиваването в космоса като следствие става низ от координационни несполуки и неловкост, пътешествениците редовно се чувстват нескопосани и изгубени в пространството. Вестибуларният апарат възприема информацията отнасяйки я спрямо положението на главата и тази информация включва вътрешната гравитация, линейното и ъгловото ускорение. Соматосензорният апарат получава информация чрез кожата и ставите за натиска/налягането върху тях, както и за вибрациите в околната среда, пространствено положение на тялото спрямо опорната повърхност, движение спрямо нея, също и движения на едни части от тялото спрямо други. След като очевидно повечето от тази сензорна информация, която мозъкът получава, е объркана и невалидна, остава да разчита само на следите от визуални възприятия - вертикалност на тялото, положение и движение на главата, положение спрямо наблюдавани обекти.

Психологични нарушения: всички астронавти преминават много тестове преди да получат одобрение за полет, като психологическият също е включен. Способността им да понасят стрес е много над средната, но продължителното излагане на редица увреждащи фактори води до нарушения в душевното здраве на изпратените на мисия. Продължителните мисии затварят ограничен брой индивиди в неголямо пространство месеци наред, при намалена лична хигиена, лимитирани движения на тялото, необичаен жизнен цикъл и среда, монотонно

ежедневие и изолация от останалия свят. Много проучвания са потвърдили, че недостатъчното лично пространство повишава стреса и склонността към агресия у индивида, като споменатите могат да се редуват с депресия и да доведат до психоза в някои редки случаи. Конфликтите между членове на екипа на мисия често са поради натрупано по този начин напрежение. Липсата на сън допълнително усилва раздразнителността. Отделно наблюдаването на Земята от перспективата на космоса е възможно да подхранва усещането за изолация при астронавтите на мисия до Марс, въпреки че завърналите се от други мисии споделят, че гледката към Земята им носела душевен комфорт.

Адаптиране към Земята: както вече обяснихме, съсредоточаването на кръвта в условията на микрогравитация е различно - тя преминава към горната част на тялото, и сърцето работи под различно налягане. При завръщане в атмосферните условия рискът е прекалено бързата промяна на налягането и кръвообръщението към нормалното за анатомията. Ниското кръвно налягане е само един от проблемите, бързото спускане на кръвта от мозъка и торса обратно към краката означава виене на свят, загуба на съзнание, неспособност да се стои прав, също част от малките кръвоносни съдове служещи за пренасяне на кръвта нагоре може да са атрофирали и да не успеят да доставят кръв до сърцето. Ниското кръвно налягане естествено е по-силно проявено след продължителни мисии.

Изброените до тук последици са обратими след терапевтични курсове, като се разработват и превантивни практики по време на космическите мисии. Дългосрочните нежелани ефекти са по-малко на брой и за ограничаването им също се влагат много средства и усилия.

Загуба на костна маса: двата основни елемента нужни за поддържане и натрупване на костна маса са калция (Ca) и фосфора (P), но при условия на безтегловност организъмът започва да изхвърля големи количества от тях чрез урината. Следователно е изчислено, че за продължителността на мисията до Марс, всеки астронавт ще загуби толкова от костната си маса, колкото иначе би загубил за целия си живот. Остеопорозата и крехкостта и честите счупвания, както и образуване на камъчета в отделителната система, са реална заплаха за доброто здраве на екипажа. Най-тежко засегнати са няколко ключови кости от организма на човека: костта на петата, шийката на бедрената кост, лумбалните прешлени и таза. Загубата на мускули и костна маса са обвързани пряко и с липсата на движение, тъй като са двете основни на опорно-двигателната система и целта им е да движат и поддържат стойката на тялото, въпреки гравитацията. Упражненията по време на мисията ще подпомогнат да се намали остротата на патологичната проява, но ако не е съчетана и с изкуствена гравитация ефектът е по-слаб. За момента преценката на медицинските лица е, че на човек ще са му нужни около две години усилен тренировка, за да възвърне загубената си в космоса форма.

Клетъчна организация: правилното формиране на тялото протича при земни условия, защото всеки организъм се стреми да заема най-доброто

състояние спрямо околната си среда. Когато човек пътува в космоса естествено е под въздействието на различни сили, но подмяната на клетките продължава, и проучвания откриха, че организацията на клетките може да протече аномално. Микротубулите, които са миниатюрни тръбести компоненти на цитоскелета, е възможно да се наредят в структури извън нормалните за обичайните анатомични условия, като това няма да се промени при завръщането на Земята. При измирането на изменените клетки вече може да се очаква новоформираните да са съвпадащи с нормалното.

Радиация: по данни на самите астронавти, те изпитват „проблясъци“ на светлина в космоса, които се появяват и от вътрешната страна на клепачите им, т.е. дори когато са затворени. Всъщност това, което описват е радиационно лъчение, което преминава директно през мозъците им, ретиналните проблясъци са симптоматични за случващото се. Слънчевите изригвания съчетани с космическите лъчи излагат пътешествениците на силно завишени нива на йонизираща радиация, която уврежда клетките на атомно ниво и усилва шансовете за развитие на множество заболявания в дългосрочен план. Мозъчните увреждания също не са изключени от списъка, заедно с раковите образувания, катарактата и компрометирания имунитет. Освен мерките предприети за по-здравослона диета богата на антиоксиданти, се обмисля вграждането на по-добри предпазни панели, които да предотвратят проникването на поне част от радиационното лъчение.

Друг много интересен въпрос за космическото пътуване е какво ще се случи с човешкото тяло, ако се изложи инцидентно на суровите условия на вселената, без защитата на совалката или костюма си. Много различни отговори са давани на този въпрос, подхранвани от научно-фантастичните филми и многообразните ужаси, които сполитат пътешествениците в тях. Дали останал без шлем в космоса един астронавт ще избухне? Ще заври ли човешката кръв при страхотното ниско налягане? Ще замръзне ли тялото без предпазния си скафандър? Всякакви кошмарни хипотези препускат през ума, но истината доказана от научния метод е еднозначна - НЕ, кръвта ви няма мигновено да закипи, НЕ, няма да замръзнете почти веднага, нито ще се взривите, както се е случвало в някои филми. Първоначално класиката на Стенли Кубрик погъделичка любопитството, след като един от персонажите - Дейвид остана без предпазния си шлем за кратко време във въздушния шлюз и разполагаше с 30 секунди да възстанови налягането.

Фактите са следните: когато има нарушение в скафандъра на астронавта, той е изложен на екстремна разлика в налягането между вътрешната му система и околната среда, също трябва да се вземе предвид шокиращата температурна разлика в зависимост от това, дали има пряко слънчево лъчение, или човекът се намира „в сянка“. Температурата варира от +120 до -100°C, като същевременно е окъпан в космическа радиация, спомената по-рано водеща до редица увреждания в дългосрочен план, както и заредени частици емитирани от Слънцето.

Защо отделните вече отречени сценарии няма да се състоят? Кръвта ви няма да заври, нито ще се взривите, точно защото кръвоносната ви система е отделена от външната система, която космосът представлява. Същото важи и за кожата, която изолира в отделна затворена система цялото анатомично съдържание на човека и има предпазващо действие. За разлика от това обаче, всякакви флуиди напуснали тялото, например слюнка, много бързо ще достигнат точката си на кипене и изпарение. Смърт поради липса на въздух също няма да настъпи мигновено, по приблизителни изчисления 30 до 60 секунди не биха били фатални, но загубата на съзнание настъпва 14 до 15 секунди след излагане на екстремната разлика в налягането. Изчислено е, че това е необходимото време кръвта, лишена от кислород, да достигне от белите дробове до мозъка. Ако в следващите 15 до 45 секунди човешкото тяло бъде върнато в нормални условия, пълното възстановяване е очаквано, без трайни и дългосрочни последствия. При продължително излагане на голямата разлика в налягането и температурата настъпват увреждания на вътрешните органи и мозъка, също загуба на телесна температура и изгаряния на кожата от интензивното слънчево лъчение. Напускането на въздуха рязко се усеща от тялото и може да предизвика инстинктивен опит за задържане - това е грешка, тъй като води до увреждане на белия дроб и други органи, заради голямата сила, която ще окаже газът върху тях. Друга грешна практика е да се опитате да поемете дълбоко дъх непосредствено преди инцидента, защото при повишаването на температурата на газа, той се разширява и издува тъканите и разкъсва тези, които служат за газообмена. Същите болезнени подувания се случват по цялото тяло, тъй като съдържат флуид или газ, но в никакъв случай няма да има масивни разкъсвания, подобни на взривяване. Последващите явления от изпарението са, че много топлина се отвежда от тялото и където изпарението е най-интензивно замръзването също протича с най-голяма скорост, в случая това са - устата и дихателните пътища.

Всички факти са установени експериментално чрез наблюдение на животински субекти или наблюдение на ефектите над хора инцидентно изложени на изброените условия. При нещастен случай през 1965 г. при изпитване на как костюмите проектирани по това време ще понесат нулевата гравитация, се оказало че има нарушение на цялостта на екипировката. Субектът в изпитателната камера загубил съзнание при налягане под 1 psi след около 14 секунди и последното нещо, което споделя, че помни като усещане е как собствената му слюнка изгаря езика му. След това кратко време съдбата на пострадалия е изцяло в ръцете на негови колеги, в рамките на следващите минута и за 45 секунди той трябва да бъде върнат в нормално налягане, за да има шанс за живот. В случая веднага е последвала адекватна намеса и при 4,572 метра еквивалентна височина е възвърнал съзнание, което във времева перспектива е била около 27мата секунда от инцидента. Други поражения са били изгаряния по кожата и загуба на усещането за вкус, което е траело 4 дена.

В същата година са проведени изследвания в базата Брукс Еър Форс в Тексас, където за субекти са избрани кучета и са поставени при условия на почти пълен вакуум или $1/380$ от атмосферното налягане. Резултатите били последователни, всички изпитвани животни оцелели при излагане до 90 секунди, но през това време субектите са били в безсъзнание и парализирани. Всички наблюдавани ефекти се оказали обратими. Заради големия градиент между наляганята флуидите с някаква връзка към външната среда са били засмукани извън тялото. Газовете от червата и стомаха мигновено били изпуснати навън, също настъпило спонтанно повръщане, уриниране и дефекация, придружено от спазми и припадъци. Описаното по-горе изстиване заради интензивното изпарение е дало най-голямо отражение върху езиците на кучетата, които в обичайния случай били замръзнали след прекратяване на изпитването. Издуването от изпарението на флуиди било толкова екстремно, че наблюдаващите описвали кучетата като „подути като гайди“. Отново споменатите явления изчезнали след възвръщане на нормалните атмосферни условия. Дори частично възстановяване на налягането премахнало издуването и загубата на съзнание. Когато преминали 10 до 15 мин. в условия на налягане на ниво на морското кучетата отново възвърнали нормален контрол на тялото-можели да ходят, да се ориентират и заслепяването, което претърпели по-рано намаляло драстично. Крайният лимит на кучетата е поставен на около 2 мин. в условия на почти пълен вакуум, като ако сърцето на животното спре по време на експеримента преди връщане на налягането, не можела да се осъществи успешна реанимация след това.

Сходен експеримент е проведен и с шимпанзета, които генетично са много по-близки до хората, и резултатите показали, че приматите имат дори по-голяма издръжливост от кучетата - около 3,5 мин. без никакви съществени когнитивни увреждания след приключване на експеримента.

Наблюдения над отделни части от астронавта оказали се инцидентно в условия на вакуум също показват обратима загуба на контрол, усет, подуване и изгаряния. Но все още се смята, че няма екстензивни и подробни наблюдения как човешкото тяло би реагирало при подобен инцидент, всички данни, които имаме с включени човешки субекти са не толкова експериментални, колкото плод на нещастна случайност.

В крайна сметка рисковете на космическото пътуване имат известна допирна точка с научната фантастика, и макар ежедневието да не е точно „бляскаво“ и да е съпроводено от някои доста неприятни обстоятелства, все пак се смята за привилегия да може да погледнеш като страничен наблюдател на целият ни скромнен и прекрасен свят. Уникална перспектива, с която почти никой не разполага, и най-смелият изследователски подвиг постижим за момента от човечеството не са аргументи за пренебрегване, когато изникне въпросът „Какво искам да направя със своя живот?“. Да допринесеш за опознаването на Вселената не може да бъде надминато от нищо друго на света.

ВУЛКАНИ, ВУЛКАНИЧНИ ОБЛАЦИ И ТЯХНОТО ВЛИЯНИЕ НАД ДЕЙНОСТА НА АВИАЦИЯТА

Радостина П. Ташева и Валентина Т. Танева-Тончева

Департамент по Приложна Физика, Технически Университет,
e-mail: rad_tasheva@abv.bg, e-mail: uraa@dir.bg

ВЪВЕДЕНИЕ

Вулканът **Еяфялайокул** в Исландия се активизира на 20 март 2010 година. Последното му изригване от 15 април причини затваряне на въздушното пространство в почти цяла Европа, поради изхвърлената вулканична пепел на височина около 8,5 км в атмосферата. Първи на 15 април Финландските авиолинии прекратиха тренировъчните полети на самолетите Boeing F-18-изстребители, заради вулканичната прах, а над 10 милиона пътници останаха без превоз по летищата за около седмица.

След избухване на вулкана **Пуйеуе** в Чили на 4 юни 2011г. вулканичният облак надвисна над аржентинската столица и заради него са затворени летищата в съседен Уругвай. До края на седмицата разпространението на вулканичния облак спира полетите в Чили, Аржентина, Бразилия, Австралия и Нова Зеландия.

Тези примери ясно показват, че макар модерните технологии да позволяват полети във все по-трудни метеорологични условия, въздушният транспорт е достатъчно уязвим. От една страна, последиците от избухване на вулкан оказват дълготрайно въздействие върху околната среда, което не може се пренебрегне – променя се качеството на пренасяните въздушни маси, в частност видимостта. От друга страна, се увреждат летателните апарати и наземното оборудване, водейки до последствия, които могат да бъдат забелязани даже след години.

ВУЛКАНИ – ВИДОВЕ И УСТРОЙСТВО

Вулканите са геоложки планински формации, от които периодически се излива магма над земната повърхност. На Земята, най-често, вулкани се наблюдават близо до границите на континенталните плочи. Изключение правят вулканите, които са в така наречените горещи точки на планетата.

Най-общо, вулканите се разделят на *активни*, *спящи* или *загаснали*. Формулировката се обвързва с продължителността на човешкия живот. Животът на един вулкан може да варира от няколко месеца до няколко милиона години, така че много от вулканите на Земята са изригвали поне веднъж през последните няколко хиляди години, но в момента не показват никакви

признаци на активност, т.е. те са активни, но спрямо продължителността на човешкия живот, са спящи.

Много учени считат вулкана за *активен*, ако той е изригвал в историческо време, т.е. времето, за което съществуват някакви писмени сведения. Има и вулкани, които се активизират, но не изригват.

Спящи вулкани са тези, които в момента не са активни (както е дефинирано по-горе), но могат да се активизират или изригнат отново.

Загаснали са тези вулкани, за които се счита, че е малко вероятно да изригнат отново. Вулканичната активност често е съпроводена от земетресения, появата на горещи извори, гейзери и др.

Представата за вулкан като конична планина, изпускаща лава и отровни газове от кратер, намиращ се на върха ѝ, обхваща само един вид вулкани, а характеристиките им като цяло са доста по-разнообразни.

Щитовидните вулкани - имат разлята, подобна на щит форма и са образувани от лава с ниско вътрешно съпротивление, която може да тече на голямо разстояние от кратера и обикновено не експлодира катастрофално – *Хавайска вулканична верига, Исландия*.

Куполите от лава - се изграждат чрез бавно изригване на лава с високо вътрешно съпротивление, понякога в предишно вулканично изригване. Лавата не тече далеч от първоначалното устие – *Холоцен* в щата Юта.

Вулканичните конуси - са резултат от изригвания на малки парченца сгурия и пирокластика. Създават се конусообразни хълмове с височина между 30 и 400 м, които изригват само веднъж - *Парикутин* в Мексико; *Сънсет* в Аризона, *Каха дел Рио в Ню Мексико*

Стратовулканите - са високи конични планини, съставени от слоеве изстинала лава и други вулканични продукти (от англ: *stratum* - геол. слой, пласт) – *Фуджи* в Япония, *Везувий* и *Стромболи* в Италия.

Супервулканът - представлява масивен вулкан с потенциал за големи разрушения, дори от континентален мащаб. Може да доведе до значително понижение на световните температури в продължение на много години, поради големия обем на сярата и пепел, които изхвърля – примери- *Йелоустоунската калдера* в Националния парк Йелоустоун, *Valles Caldera* в Ню Мексико, езерото *Туано* в Нова Зеландия и езерото *Тоба* на о-в Суматра. Трудни са за разпознаване поради големите площи които заемат.

Подводните вулкани - са образувания на морското дъно. Плитководните вулкани изхвърлят пара и скални отломки високо над морската повърхност, но дълбоководните, поради голямото налягане на водата над тях, освобождават постепенно пара и газове и се разпознават само по обезцветяването на водата над тях.

Вулканите под ледовете - са резултат от изригвания под глетчери или под ледените шапки на Северния и Южния полюс. Горещата лава разтопява леда и създава езеро. Ако след време ледът изчезне от този регион, вулканът има форма на планина с плосък връх. Те са характерни за *Исландия* и *Антарктида*,

но могат да се открият и в *Британска Колумбия*, както и в областта *Юкон* в Канада.

Кални вулкани (вряща кал) – създават се от изхвърляни на повърхността геотермални течности и газове. Образуват се в райони с оскъдно наличие на вода. Водата се издига на повърхността на място, където почвата е богата на вулканична пепел, глина или други фини частици. Изхвърляните под действието на подземните газове частици кал се натрупват по периферията на образуванието като постепенно изграждат вулканична форма с височина до 2-3 метра.

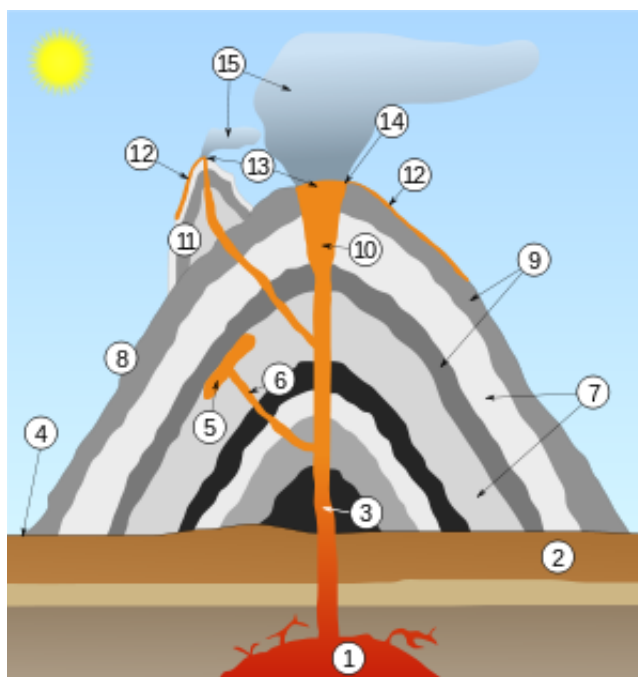


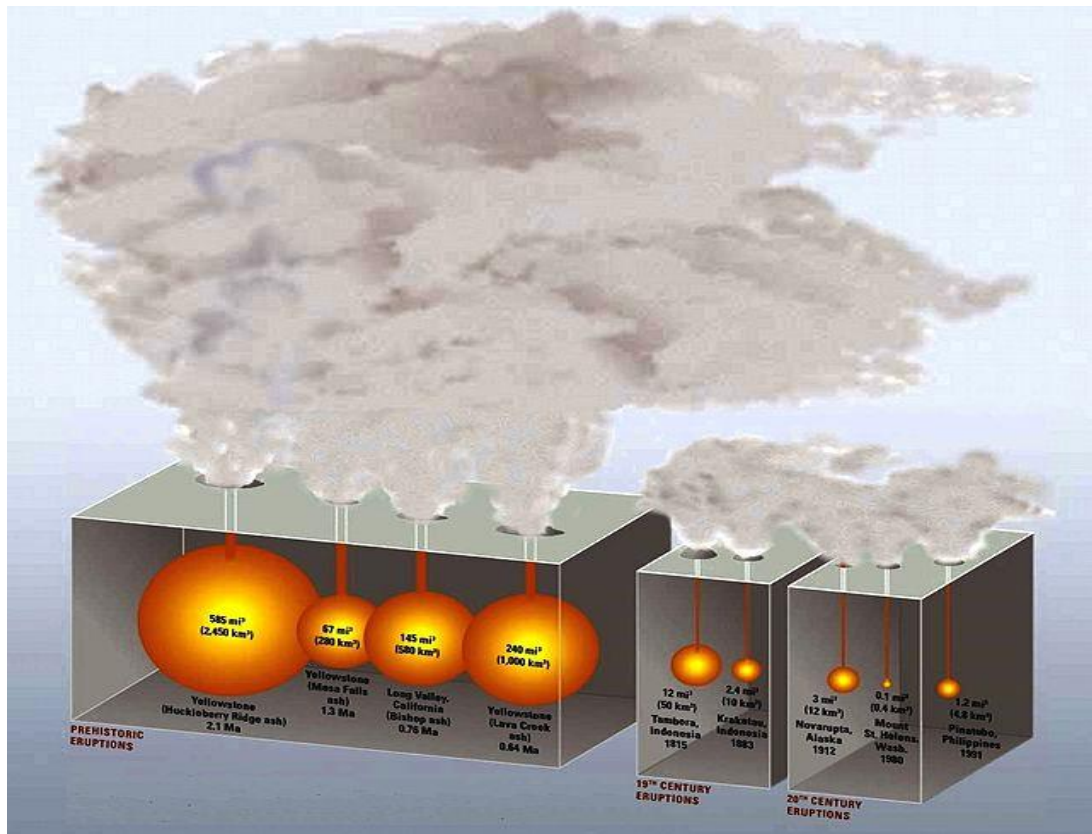
Схема на устройството на вулкан:

1 - голяма магмена камера; 2 - твърда земя; 3 - канал; 4 - основа; 5 - пластова интрузия; 6 - разклонен канал; 7 - слоеве пепел, нанесени от вулкана; 8 - склон; 9 - Слоеве лава, нанесени от вулкана; 10 - гърло; 11 - паразитен конус; 12 - поток лава; 13 - устие; 14 - кратер; 15 - облак пепел

ВУЛКАНИЧЕН ЕКСПЛОЗИВЕН ИНДЕКС

Вулканичният експлозивен индекс (ВЕИ) е създаден през 1982г. като начин за описване и сравняване на относителната сила на експлозивните вулканични изригвания. За отчитане на вулканичния експлозивен индекс водещ фактор е количеството изхвърлен материал. Отчитат се също така височината на пепелния стълб, обема на изхвърлените вулканични материали и продължителността на самото изригване. Разработен е с цел да се подпомогне оценката на климатичното въздействие на вулканичните изригвания. За съжаление обаче индексът не отразява количеството серен диоксид (SO_2), постъпил в атмосферата, който е критичен фактор при определяне на климатичното въздействие на вулканичните изригвания. Поради това, днес

индексът се използва предимно за оценка на относителния размер на експлозивните ерупции.

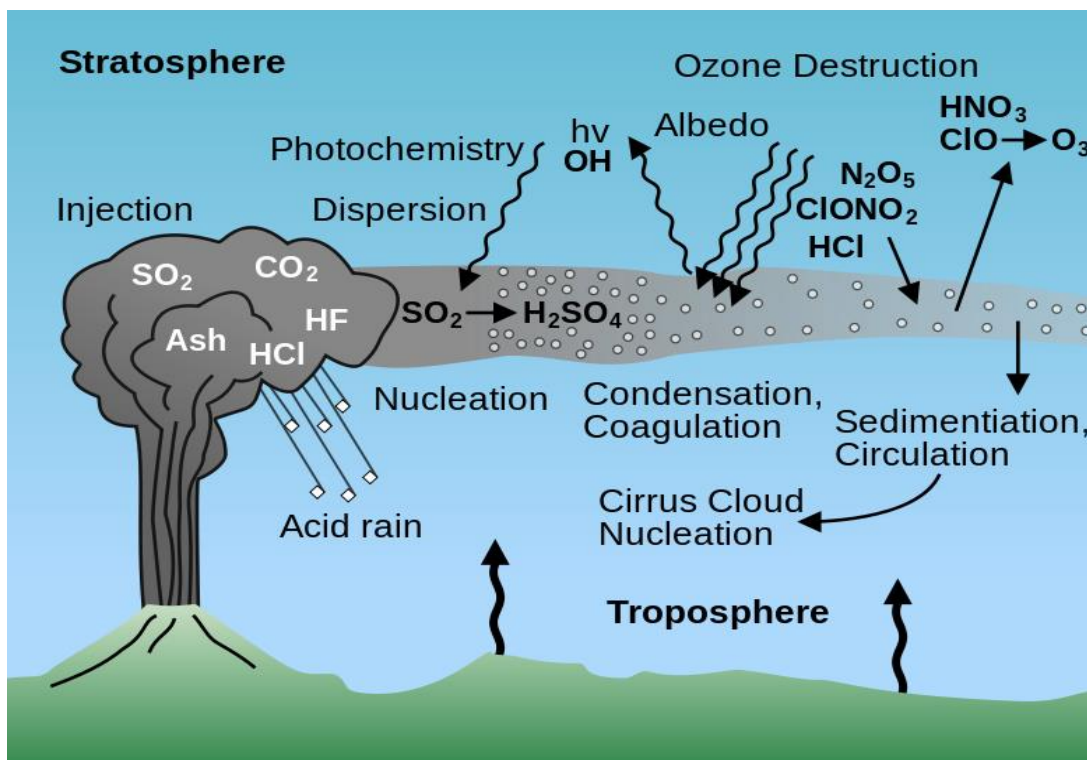


Обем на вулканичната ерупция. Отляво надясно - Йелоустоун (2,1 млн.г.), Йелоустоун (1,3 млн.г.), [Лонг вали](#) (6,26 млн.г.), Йелоустоун (0,64 млн.г.). 19 и 20 век - Тамбора (1815), Кракатау (1883), Новарупта (1912), Св. Елена (1980), Пинатубо (1991)

ВУЛКАНИЧНА ПЕПЕЛ И ВУЛКАНИЧНИ ОБЛАЦИ

Вулканичната пепел е съставена от фрагменти пулверизирани скали, минерали и вулканично стъкло, създадени по време на вулканично избухване, с диаметър не повече от 2 мм. По-големите образувания носят наименованието лапили. Тя се формира като разтворените по време на вулканичното избухване газове изстрелват в атмосферата лава, където тя се втвърдява, образувайки вулканични облаци съставени от SiO_2 , H_2O , SO_2 , CO_2 , HCl , HF .

Формиране на облаците настъпва, когато аерозолите, изхвърлени във формата на стълбове, се изкачват до височина, на която подемната им сила се нулира (до 16-32 км). Там те растат и коагулират, утаяват се и когато започнат да се движат само в хоризонтално направление формирайки Cl облаци. Създадените облаци зависят от височината на колоната, силата на ветровете и влажността на въздуха.



Най-често кондензационните ядра, около които се формират облачните капки, са ядра H_2SO_4 създадени от SO_2 и водна пара.

Създадените от вулканите аерозоли оказват значително въздействие върху атмосферните процеси, повишавайки отражателната способност на тропосферата. Това води до нагряването на стратосферата и охлаждането на лежащата под нея тропосфера. Образуваните флуорни и хлорни съединения (особено ClO) водят до съществено намаление на концентрацията на озона, а HCl, HF и SO_2 , разтворени във водните капки падат като киселинен дъжд.

Тъй като достигат голяма височина, вулканичните облаци се разпространяват от **струйните течения** - въздушни потоци със скорости по-големи от 30 km/h и големи градиенти на скоростта.

ВЛИЯНИЕ НА ВУЛКАНИЧНИТЕ ОБЛАЦИ НАД ДЕЙНОСТТА НА АВИАЦИЯТА

Влиянието на вулканичната активност върху авиационната дейност, най-общо, се проявява в две направления - влияние върху летателните апарати и влияние върху работата на летищата, обезпечаващи полетите.

Влияние върху летателните апарати.

Тъй като основната част от аерозолите са твърди частици или такива с киселинно рН, те водят до *абразия* на предните стъкла и светлините за кацане, намалявайки видимостта по тази причина. Пилотът не може да работи по

правилата за визуалния полет и се налага да разчита на инструментите, които могат да отчитат грешно, поради блокиране с прах на сензорите (Pitot tube).

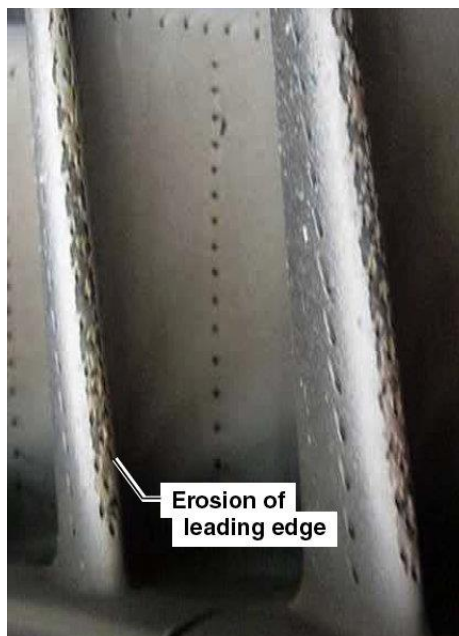


Абразия на двигателя

Водещите повърхности на крилата също се износват с голяма скорост, застрашавайки сигурността на полета. Проникването на вулканичната прах в двигателите води до абразивни повреди на перките на вентилаторите на компресора и може да се стигне до спирането му. Получените микроповреди върху предните акрилни стъкла и корпуса са особено опасни, защото могат да не се забележат с години.

Особен интерес представлява влиянието на вулканичната пепел върху *свръхзвуковите самолети*, тъй като точката ѝ на топене е в обсега на оперативната температура (повече от 1000°C) на двигателите им. Степента на въздействие зависи от концентрацията на праха в облака, времето което самолета прекарва там и действията на пилотите. Топенето на праха може да предизвика запушване на дюзите на турбината, компресора може да спре и двигателя да загуби тяга. Обикновено, препоръката е да се намали мощността и да се напусне облака чрез снижаване и завъртане на 180°.

Влияние върху работата на летищата

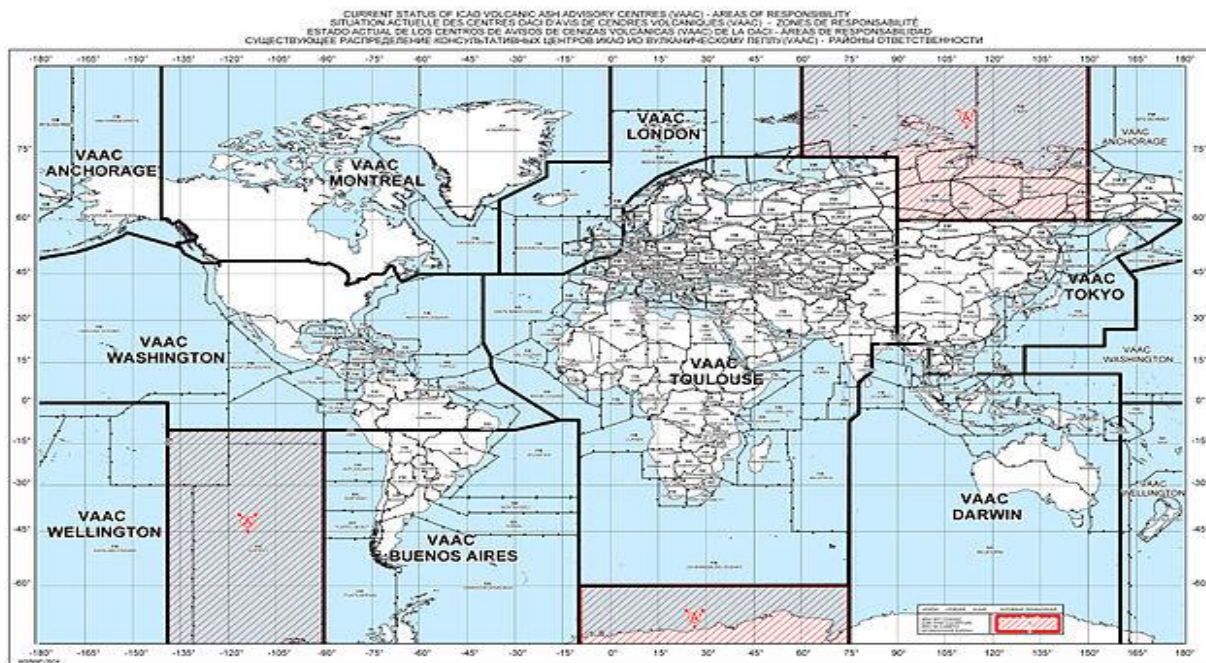


Erosion of leading edge

Проблемите в наземната логистика са свързани с факта, че дори малки прахови натрупвания по летищата намаляват видимостта и правят хлъзгави пистите и пътеките за рулиране. Прах, дори от няколко мм, трябва да бъде отстранен, за да може летището да функционира. Прахът навлиза и в комуникационните и електрически системи като прекъсва наземните връзки, поврежда сградите и паркираните самолети. *Основния проблем* е, че за разлика от обикновените прахови натрупвания, вулканичната пепел не изчезва след падане на дъжд, а трябва да бъде закопана дълбоко под земната повърхност, за да не бъде раздвижена отново от самолетите и вятъра.

Вулканичните облаци се откриват трудно от самолет, тъй като на борда няма подходяща регистрираща апаратура. Nicarnica Aviation, част от Norwegian Institute of Air Research е създава AVOID – Airborne Volcanic Object Infrared

Detector, който се пренася със самолет, регистрира вулканчни облаци от разстояние до 100 км и може да лети около тях. Той има две ИЧ камери, които регистрират концентрации от $<1 \text{ mg/m}^3$ до по-големи от 50 mg/m^3 , давайки на пилотите 7-10 мин предупреждение. Понастоящем, тази апаратура се тества от английската компания Easyjet.



Географско разположение на деветте центъра на VAAC

Допълнително се използват наземни и сателитни изображения, получени с радари и лидари. Тази информация се предава между метеорологичните офиси, вулканичните обсерватории и аеролините със съдействието на **Volcanic Ash Advisory Center (VAAC)** - група от експерти, отговорна за събирането и разпространението на информацията за атмосферните вулканични облаци, които могат да застрашат авиацията. От 2010 година има 9 такива центъра, покриващи различните географски региони, свързани с вулканична активност. Когато се регистрира наличието на вулканичен облак, VAAC събира достъпната информация и я използва в компютърни модели за предсказване пътя на праховият облак за различните ешелони, използвани от авиацията. Те изпращат предупреждение информацията по-нататък към авиационните и метеорологични офиси. В предупреждението ще бъде записано името на вулкана, страната, местоположението и височината на кратера, източника на информация (сателитно или пилотско наблюдение), детайли за избухването включващо времето на деня по Гринуич (UTC) и датата на избухването, детайли за праховия облак, включващи нивото на полета и размерите, детайли за текущото преместване и прогнози за 6, 12 и 18 часа напред и времето на следващото актуализиране на информацията.

Заклучение

Очевидно, проблемите, свързани със разпространение на вулканичните облаци и влиянието им върху авиацията, са, от една страна стари, доколкото са свързани със процесите на вулканични избухвания съпровождали цялата история на човечества, а от друга страна – еволюирали, заради напредъка на технологиите, позволяващи полети във все по-сложни атмосферни условия. Засега, тяхното разглеждане е основно свързано с предупрежденията за наличие на вулканична пепел във въздуха и пътищата за избягването ѝ. Очевидно, въздействието върху нея са предмет все още на далечното бъдеще.

Литература

[1] Guffanti, M.; Mayberry, G.C., Casadevall, T.J., Wunderman, R. (2008). "Volcanic hazards to airports". *Natural Hazards*.

[2] Miller, T.P.; Casadevall, T.J. (2000). "Volcanic ash hazards to aviation". In H, Sigurdsson; S.R., McNutt; H., Rymer et al.. *Encyclopedia of Volcanoes*. San Diego, USA: Elsevier Inc. pp. 1417.

[3] Rose, W.I.; Durant, A.J. (2009). "Fine ash content of explosive eruptions". *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **186** (1-2): 32–39.

[4] Wilson, T.M.; Stewart, C. (2012). "Volcanic Ash". In P, Bobrowsky. *Encyclopaedia of Natural Hazards*. Springer pp. 1000.

АКАД. В. ВЕРНАДСКИ И ИСТОРИЯ НА ГЕОДИНАМИКАТА. ГЕОФИЗИКА, НОВИ ПАРАДИГМИ, РАЗВИТИЕ И ПРОТИВОРЕЧИЯ

Бойко Рангелов

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

Резюме. Един популярен преглед на развитието на световната геодинамика с всички елементи на трудно пробиващия си път нов начин на мислене в Науките за Земята – с гениалните идеи на Алфред Вегенер (създателят на тектониката на континенталните плочи) и неговото отрицание от представителите на ортодоксалната наука по онова бурно време – 30-50-те години на миналия век. И със същите предизвикателства пред съвременниците, които не искат да се примирят с тезата, че всичко на този свят е вече измислено.

Ключови думи: геодинамика, нови теории и приложения.

1. Въведение

В края на 30-те години на миналия век Академик Владимир Иванович Вернадски формулира своята идея за „ноосферата” – интегритета между Земята и живите организми на нея. По същото време, зараждането и развитието на съвременната геодинамика е низ от противоречия, противоположаване и колизии, като тези подходи все още битуват в съвременната наука за Земята.

Един повод – 150 годишнината от раждението на Вернадски, неговия универсализъм и някои нови парадигми раждащи се в съвременността, са основните поводи да се хвърли едни, макар и бегъл поглед, към ставащото в съвременните науки за Земята – геология, геофизика, геодинамика. Преминала през епохата на фиксизма (с всичките аргументи от наблюдавани факти и явления – геосинклинали и антиклинали, изостазия и орудявания, нефтени и газови находища и мн. др.) съвременната геодинамика е фундаментално мобилистична концепция. Зародила се още по времето на Рене Декарт и Емануел Кант, преминала през идеята за слетите континенти (Африка и Южна Америка) изказана от Лаплас, тя достига своя разцвет и убедително присъствие след публикуваната през 1915 година книга „Произход на континентите и океаните” на човек, нямаш на пръв поглед нищо общо с геологията – Алфред Вегенер.

Блестящ метеоролог и полярник, същият загива през 1939 година, спасявайки своите колеги от последната си експедиция в Гренландия (като при това отлично знае, че отива на гибел). Просто чувството му за дълг пред колегите и приятелите, измества инстинкта за самосъхранение. Малцина знаят, че през 1933 година Вегенер посещава България във връзка с метеорологичните си изследвания.

Брилянтен учен и експериментатор, Вегенер изследва фосили от двете страни на Атлантика, с цел да възстанови палеоклиматичните условия в миналите геоложки времена. Натъква се на удивителни находки, показващи, че организмите живяли от двете страни на Южния Атлантук са едни и същи. Това го навежда на мисълта, че хипотезата за това че Южна Америка и Африка са били един континент в миналите геоложки времена, му дава основание да предложи най-революционната теория за геодинамичната еволюция на Земята. Според нея, континентите са били събрани в един общ континент и вследствие на вътрешноземни причини са започнали да се разделят бавно, но постоянно.

Хипотезата е посрещната на нож от битуващата по това време наука на фиксистите. Според нея, сушата и океаните извършват колебателни движения, но само във вертикална посока. Убедителни примери за това са хипотезите на Прат и Ейри за изостазията, които дават логическо физично обяснение на океанските падини и високите планини образувани на сушата. Друг убедителен пример е издигането на Скандинавия, след освобождаването ѝ от дебелия слой лед покриващ целия Скандинавски полуостров по време на последното заледряване на Земята. Цялата научна общност се надига срещу Вегенер. Вместо научна дискусия, започват голословни твърдения за високия вискозитет на земната кора (теза напълно вярна за кратки периоди от време), критики за бързината с която „се движат“ континентите и се стигне до абсурдните в науката критики – “метеоролозите да си гледат метеорологията и да оставят геодинамиката на геофизиците”. Вегенер си отива от този свят напълно огорчен и непризнат от световните „авторитети” (между които, сър Харолд Джефрис и руските учени-консерватори).

2. Теория на плочите и океанския спрединг – основа на новата глобална тектоника

В края на 30-те години, когато Вернадски развива своята универсална теза за ноосферата, в геофизиката се натрупват все повече факти, трудно обясними от тезите на фиксистите. Кио Вадати (Япония) се замисля и изследва макросейсмичните полета на дълбоките земетресение. Вижда, че има участъци отдалечени от епицентровете на силните дълбоки земетресения с по-високи интензивности, отколкото над самия епицентър. Това силно противоречи на идеята на фиксистите за вертикалните неподвижни блокове.

Веднага след войната започват мащабни изследвания на морското дъно и утайките по него за търсене на нефт и газ. Ехолотните снимки показват твърде специфичен релеф на дъното, което също противоречи на идеята за равното морско дъно. Срединноокеанските хребети са дълги издигнати планински вериги разположени по средата на Атлантическия океан. Сиея Уеда [9] прави своята дисертация в Калифорния и показва, че намагнитеността на морските утайки от двете страни на срединноокеанските хребети променя със скок посоката си. Не съществува друго обяснение, освен скокообразна смяна на

магнитните полюси. И още нещо – посоката на намагнитеност, запечатана от двете страни на хребетите е симетрично разположена, а пластове имат еднакви мощности. Този факт забива пирона в ковчега на фиксизма. Явлението не може да се обясни, без да се приеме, че новообразуваната земна кора от двете страни на хребета е резултат от „разтварящи” морското дъно движения, което напълно потвърждава теорията на Вегенер за „раздалечаването” на континентите Южна Америка и Африка. Моделните изчисления на скоростите на това раздалечаване съвпадат с пресметнатите от Вегенер. Въпросът къде отива „старата” земна кора, се потвърждава от изследванията на Вадати, който пръв предполага, че тя се подпъхва под континентите и там ражда дълбоките земетресения.

Е, така се ражда Новата Глобална Тектоника – един синтез за доминиращото хоризонтално движение на континентите и океанския спрединг. Bullard, Runcorn, Le Pichon, McKenzie, Bonin [6] са хората, които първи започват да пропагандират новата парадигма в поредица от публикации. Появява се и последното доказателство за раждането на нова земна кора под океанското дъно – т.н. „смокъри”. Това са подводни гейзери разположени по дъната на океанските хребети, които изпускат нагорещени газове и пара идващи от значителни дълбини и носещи химически вещества от дълбоките слоеве на земната кора и мантията.

Възниква въпросът – какво движи континентите и ги кара „да плуват” върху земния субстрат? Геофизиката открива още един важен факт – скоростта на напречните сеизмични вълни на дълбочини от около 350-400 км намалява, което е индикация за наличието на „размекнат” (по-хлъзгав) слой. Наречен е астеносфера. Хипотезата, която идва в главите на учените е, че върху този слой континентите могат да се придвижват по-лесно в хоризонтална посока. А движещите сили за това са конвективните движения в мантията на Земята. Наличието на т.н. горещи точки (места под земната кора, където като че ли, свети запалена свещ, която я нагрива), най-точно описва аналогията на представата за какво става дума в земните дълбини.

Най-типичен представител за гореща точка е поведението на островната верига на Хавайските острови. Скоростта с която се премества океанската земна кора, може да бъде изчислена по възрастта на хавайските вулканични острови, които се образуват от океанската плоча която се движи над една относително неподвижна гореща точка под нея. И така - в новородената теория (приета към момента за най-красивата геодинамична парадигма) всичко като че ли си идва на мястото. Основните постулати са:

- Континентални плочи изградени от континентална земна кора (с по-кисел състав и с възраст достигаща над 1 млрд. години) и океански плочи изградени от по-базични скали с максимална възраст около 250 млн.год.

- ясна поредица от взаимодействия между континенталните и океански плочи:

А) океанска с океанска – по два начина – чрез субдукция (т.е. подпъхване – има такива зони в Тихия и Индийския океан – например) и чрез трансформни

разломи (т.е. приплъзване – в рифтовите зони – дъното на Атлантика и в Тихи океан)

Б) океанска с континентална – същите взаимодействия (разлома Сан Андреас, Тихия океан – Япония, Индонезия и др.)

В) континентална с континентална – чрез трансформни разломи или сблъскване (Индия-Азия)

Г) „раждане” на нова земна кора – в океанските (Атлантика, Индийски, Тихи океан и др.) и континентални рифтови зони (Източна Африка, Исландия, Байкал)

В местата на субдукция (режим на компресия) стават най-мощните земетресения в резултат на триенето на подпхващата се плоча под тази над нея. Тук се раждат и основната част от вулканите, като резултат от триенето между двете плочи.

В местата на рифтогенез (режим на екстензия) стават също много земетресения, но те са по-слаби поради този режим. Той не позволява натрупването на подобни мащабни напрежения.

В местата на трансформни разломи – стават множество по-слаби и по-силни земетресения, те също са в режим на компресия, но преместванията са основно хоризонтални. Разбира се има цял спектър от „междинни” ситуации, при които движенията са комплексни – както хоризонтални, така и вертикални едновременно.

В резултат на този подход, науката геодинамика достига до едно прозрение, което е било немислимо преди това – осъществява реконструкции на палеогеографията на движението на континентите в миналите геоложки времена, с цялата условност на това понятие.

Така в около една страница текст може да се опише цялата прелест на Новата Глобална Тектоника. Разбира се изключенията са много – горещите точки, вътреплочовите земетресения, липсата на 3D конвективни клетки, липсата на субдукция по бреговете на Атлантика и мн.други. Но за това ще стане дума малко по-нататък.

3. Турбулентната теория – един нов подход към съвременната геодинамика

Основната, фундаментална концепция на тази теория се основава на предположението, че ротационните турбулентни движения са главните елементи на глобалните геодинамични структури, разположени в твърдата Земя – както на повърхността ѝ, така и в нейната вътрешност [2]. Те са активни във времето и отразяват развитието на Земята и нейната история. Наречени са коркинги и имат различни размери, форми и скорости на движение, съдържат различни компоненти с различни вертикални и хоризонтални премествания. Някои са по-активни, други по-спокойни, но всички те имат своите проявления в различните геодинамични структури наблюдавани върху земната повърхност

и в дълбочина. При така описаните предположения, се вижда, че това е една напълно мобилистична концепция.

В описателен план, една директна аналогия е представата, че тези движения и структури са аналози на атмосферните турбуленции, както и на океанските течения. Тези явления във флуидната обвивка на Земята са обичайни и наблюдаеми непрекъснато. Циклоните и антициклоните, океанските и морски течения могат да се разглеждат като пряка аналогия и на това което се случва в твърдата Земя. Явленията са подобни, структурите които те образуват също, както по размери и форма, така и с наличието на отделни части (“клонки”) от тях. Пространствената им конфигурация и конфигурациите на коркингите в твърдата Земя са също аналози. И докато атмосферните турбуленции се развиват в атмосферата, океанските и морски течения в хидросферата, то коркингите имат подобно поведение в “твърдата” Земя – в литосферата и дълбините ѝ – мантията и ядрото. Основните разлики, са средата в която се развиват (появяват и изчезват) и скоростта с която правят това.

Коркингите и техните елементи (или части от тях – наречени “клонки, разклонения”) са подобни по вид и форми на атмосферните и хидросферни турбуленции. Те си взаимодействуват и по същите начини като тях.

Средата в която се развиват тези природни явления обаче е принципно различна. За метеорологичните явления – това е атмосферата, за морските и океански течения – хидросферата, докато за коркингите това е “твърдата” Земя и нейните дълбини. Коркингите имат и същите основни свойства както атмосферните (и хидросферни) турбуленции – силно изразена нелинейност при възникването и развитието си, както и при взаимодействията си. Те се появяват и изчезват спонтанно във времето. Веднъж формирани, имат относително стабилно развитие във времето и пространството, до момента на разрушаването и изчезването си. Могат да оставят реликти след това. Коркингите могат да проникват надълбоко в недрата на земята или пък да имат по-повърхностни проявления. Така в най-общи черти подобията между атмосферните (хидросферни) образувания и коркингите са видът, разклоняващата се “ветрилообразна, спираловидна(но не винаги)” структура, различните форми и размери и взаимодействията между тях.

Основните различия се обуславят от средата в която се зараждат и развиват, скоростта на масите, които са въввлечени в турбулентните им движения (на самите тях и на техните елементи – разклонения) и възможностите за разполагането на техните оси в пространството (обикновено атмосферните турбуленции имат вертикално или субвертикално положение, океанските турбуленции са с по-комплицирано пространствено положение, но също и с относително големи хоризонтални компоненти). Коркингите благодарение на по-големия вискозитет на средата в която съществуват и се развиват, могат да имат не само вертикално, но дори и хоризонтално и/или “преобърнато” положение.

Вероятно основният енергетичен източник на движенията и генерирането на коркингите е ядрото на Земята, неговите движения и “пертурбации” с които балансира стабилността и пространственото положение на цялата Земя. Предполага се, че действа като източник на различните турбуленции в “твърдата” Земя. Множество от структурите в земната кора които се наблюдават понастоящем върху земната повърхност са вероятно съвременни коркинги, техните елементи (“клонки”) и/или реликти от преди съществували коркинги.

Ако подобна концепция бъде възприета, множество съществуващи или съвременни наблюдавани факти от земната геодинамика могат да намерят лесни и логични обяснения.

И така сумарно – основните геодинамични структури на Земята “живеещи” (или в състояние на относителен покой – неактивни в момента) са т.н коркинги. Те се характеризират като по-големи или по-малки турбуленции, с основен източник на енергия, която ги подхранва - земното ядро. Разполагат се в обема на твърдата земя, като въвличат с движението си маси от земната кора и мантията. Доминиращи са спираловидните турбулентни движения. Поради големия вискозитет, скоростта на движение на масите им е относително малка, но доста по-висока от досегашните представи (и може да бъде пряко измерена с GPS). Формата и размерите са различни и могат да имат широк диапазон на изменение. Могат да имат спираловидна (или част от спирална) форма и да се разклоняват. Образуваните от тях структури могат да се разполагат вертикално, наклонено или дори хоризонтално (“преобърнати коркинги”). Могат да си взаимодействуват като атмосферните или хидросферни турбуленции. Характеризират се със силни нелинейности в тяхното динамично поведение.

4. Някои важни факти и доказателства

Съществуват множество наблюдавани факти и явления, които могат да намерят едно по-лесно обяснение, ако основните постулати на турбулентната теория бъдат приети и с тяхна помощ потърсени тези обяснения. По-долу са описани само някои по-забележителни от тях:

1. Сеизмологични примери

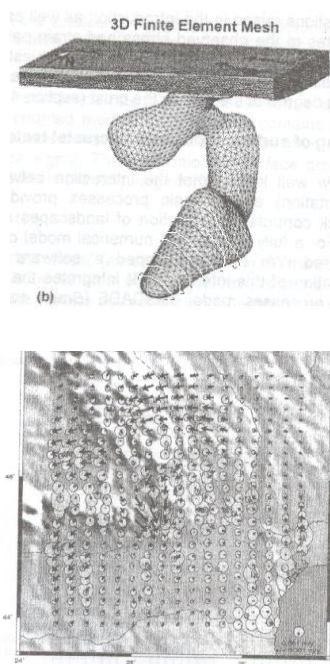
А) Вътреплочови земетресения

Съществуват доста примери от наблюдавани високомагнитудни земетресения разположени във вътреплочови области. Например земетресенията в Ню Мадрид – Мисури през 1811-1812 година предизвикват макросеизмично поле с огромна площ, която покрива почти целия Североамерикански континент. Напоследък, се появиха моделни изследвания, демонстриращи наличието на турбулентни явления специално под областна на земетресенията в Ню Мадрид – [3]. Ако се приемат основните постулати на турбулентната теория, подобни явления стават лесно обясними. Например, ако вътрешната част на

Северноамериканския коркинг се “върти” против часовниковата стрелка (както сочат данните от GPS измерванията публикувани от НАСА - (NASA web-site: <http://sideshow.jpl.nasa.gov/mbh/series.html>) то акумулираният стрес в дълбочина, може да предизвика подобни силни земетресения в резултат на различните скорости на движение на различните клонки на Северноамериканския коркинг.

В) Наличие на изолирани вътрепловови земетресения ставащи на междиннофокусни дълбочини.

Съществуват някои земетръсни огнища с доста специфично поведение – Вранча (в Карпатите), Хиндукуш и др. Те генерират междиннофокусни земетресения в области където няма субдукция – съответно дълбокопотънала земна кора и се намират в относително стабилни континентални плочи. Тези “особени” земетръсни огнища, показват много висока активност и генерират много силни земетресения в дълбочинен интервал от 100 до към 300 км. Повечето опити да се обясни наличието на тези земетръсни огнища със класическата теория на плочите засега не успяват. Нашата интерпретация е за активно действащи локални коркинги, които проникват дълбоко в земната мантия. Някои повърхности съвременни GPS измервания показват поразителна прилика със разклоняващи и “врязващи” се коркинги наблюдавани на земната повърхност над земетръсното огнище Вранча [8] - Фиг.1 а) и б) .



Фиг. 1. Турбуленции - огнище Вранча – Румъния а) 3D модел; б) GPS повърхностен модел (според [8])

С) “Въртене” на механизмите на земетресенията

Различни типове на земетръсните механизми (съответно оси на напреженията) се наблюдават в различните структурни елементи описвани като главни в

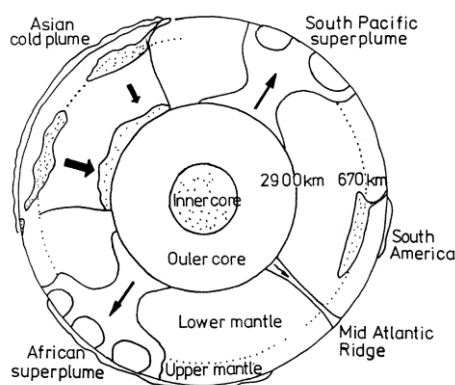
тектониката на плочите (рифтове, субдукционни и/или трансформни зони). Много често наблюдаваните механизми на земетресенията имат смесен характер. Най-характерните илюстрации от подобен характер се наблюдават на много места – Северната част на Андите, Егейската зона, районите на Вранча и Калабрийската дъга и другаде. Наличието на “прекъсвания” в екстензионните зони близо до конвергентните зони на плочовите граници са другия пример, който създава трудности за обяснение на подобно поведение. Всички модели търсещи обяснение на взаимодействията между трансформните разломи, субдукционните зони, пропаданията и другите компоненти на плейттектониката изискват допускането на ротационна компонента [6].

Д) Наличие на слаби земетресения ($M < 5.0$) с епицентри разположени практически навсякъде по повърхността на Земята като кластери или под формата на дифузна сеизмичност [5].

Факти от изучаването на дълбочинния строеж на Земята

А) Тектоника на възходящите и низходящи пертурбационни потоци (Plume tectonics)

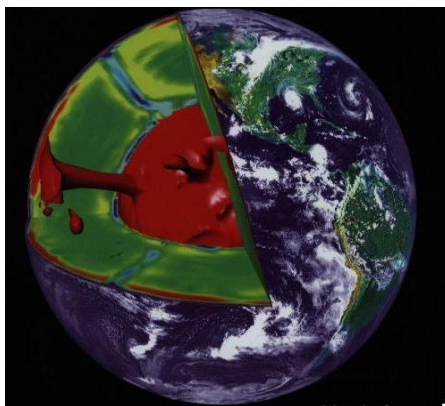
През последните няколко години, бурно се развива една концепция опитваща се да обясни движещите механизми на плейттектониката. Тази теза се базира на предположението на пертурбационните движения на по-горещи и по-охладени потоци. Предполага се, че “студените” маси изграждащи континенталната кора (разпространена най-масово в Евразия) потъва (като по-студена субстанция), а по-горещия материал се издига от големи дълбочини – главно в областта на Атлантическия рифт (като се смята дори, че източникът на този поток достига външното земно ядро. (Фиг.2.).



Фиг. 2. Тектоника на “пертурбационните потоци” се опитва да обясни дълбоката конвекция (според [10])

Повечето съвременни модели приемат доста бавна конвекция (слаба нелинейност), затруднявайки се да обяснят бързите радиални движения, както и критериите по които да отделят горещия от по-студения материал в земните недра. [7] – Фиг.3.

Турбулентната теория позволява много по-лесно обяснение на радиалните движения и по-голямата скорост на масов транспорт в дълбоките недра на Земята, само с допускането на спираловидни “вгриващи” се (подобни на движението на тирбушон) движения навън и навътре в Земята.



Фиг. 3. Цифрови модели доказват наличието на дълбокопроникващи коркинги (според [7])

В) Съвременни гравиметрични данни

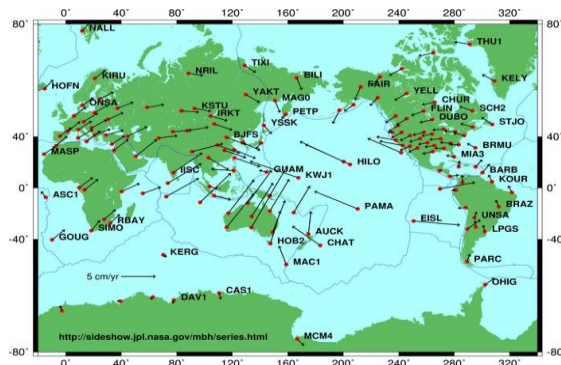
Публикуваното гравитационно поле на Земята измерено с помощта на сателитни техники показва много сложна и пъстра картина (GOCE model). Разпределението на достатъчно точно измерените положителни и отрицателни аномалии почти никога не съвпада с основните граници и структурни елементи на тектонските плочи. Нашата интерпретация предполага, че гравитационните аномалии отразяват и са “отговорни” за дълбочинното развитие и проникване на коркингите. Те могат да бъдат успешно използвани за очертаване и определяне на 3D пространственото положение на коркингите.

С) Хоризонталните нехомогенности

Хоризонталните нехомогенности също показват (според нашата интерпретация) развитието на дълбоко проникващите коркинги, както и тяхното пространствено положение в земните дълбини. Данните получени от сеизмичната томография показват широк диапазон на изменение на физичните свойства на субстанциите на големи дълбочини. Приемането на тезата за съществуване на коркингите с техните основни свойства, лесно обяснява тези изменения.

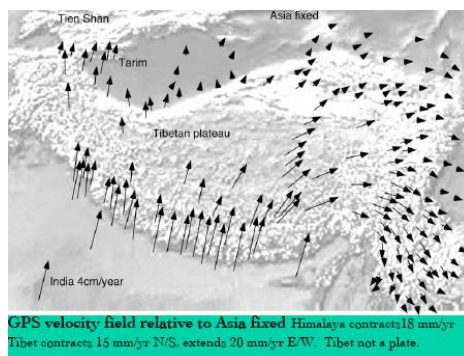
GPS измерванията – хоризонтални и вертикални (радиални) премествания:

Това е най-силното доказателство подкрепящо турбулентната теория. Съвременните доста уплътнени и високоточни сателитни и наземни данни от GPS 3D измерванията силно подкрепят наличието на т.н. коркинги. Ротационните и другите видове движения пряко се визуализират върху публикуваните карти на NASA – Фиг.4.



Фиг. 4. Средни скорости на движения измерени чрез GPS стътници (NASA web-site: <http://sideshow.jpl.nasa.gov/mbh/series.html>)

Много по-детайлните измервания на мрежата на Китай показва много ясно движенията на континенталните маси и техните разклоняващи се турбуленции в района на Тибетското плато [4]. – Фиг.5.



Фиг. 5. Поле на GPS измерванията в района на Тибет. Ясно се виждат турбулентните движения на земната повърхност. (според [4])

Всички тези примери, които никак не са малко, добре подкрепят предлаганата теория, като един нов, и доста по-прецизен апарат описващ геодинамиката на Земята.

5. Някои примери на коркинги разпознати досега

Глобални: Южен и Северен Пасифик, Южен и Северен Атлантик, Индийски океан, Австралия, Източна и Западна Азия, Арктика и Антарктика.

Регионални: Егейската област, Мексикански залив, Aegean Area, Mexico gulf, Червено море и Аденски залив, Исландия, Карибите, Море на Уедъл

Локални: Месински пролив, Южна Испания, Вранча, Хиндукуш, Боливийската междиннофокусна сеизмична зона

Горещи точки: Хавай, Западен Африкански бряг, Канарски острови, Острови Капо Верде, Мавриций и Реюнион [6].

Сравнението на последните публикации на P.Bird [1] и възможните коркинги показват добро съвпадение с наблюденията. Основната разлика е в механизма опитващ се да обясни тези наблюдения. По всички изглежда, че турбулентната теория е по-проста и дава по-лесни обяснения на наблюденията – специално относно GPS измерванията, аномалиите на гравитационното поле и др.

6. Практически примери и приложения

Тук няма да се спираме на всички примери подкрепящи тази нова теза. Обемът им е неимоверно голям. Само ще споменем двете практически приложения които са продукт от приемането на тази хипотеза [6]:

Вижда се, че съществуват множество различни геоложки, геофизични и геотектонски доказателства поддържащи турбулентната теория и свързаните с нея хипотези. Тектониката на плочите е проста теория (и поради това много използвана хипотеза – съдържа 4-5 основни елемента и допускания – плочи – континентални и океански, хоризонтални движения, конвергентни зони, субдукция, рифтове и трансформни разломи, и др.) и обяснява много от съвременната глобална геодинамика.

Турбулентната теория е още по-проста и изисква само припознаването на коркингите като основни елементи и приемането на ротационните движения. Така, много от наблюдаваните и получавани съвременни данни и информация (GPS спътникови данни, разпределение на гравитационно поле на Земята, горещи точки, тройни съчленения и много други) стават по-лесно обясними.

Ако този нов подход се възприеме, разпознаването на коркингите, изучаването на тяхната динамика, и еволюция може да помогне за разрешаването на множество важни практически въпроси свързани с всички клонове на съвременните Науки за Земята:

- Един от тях – с огромно практическо приложение, е въпросът за прогнозиране на земетресенията. Приемането на допускането, че турбуленциите в твърдата Земя са свързани със силно нелинейни явления и процеси, дава лесен отговор на въпроса “Защо досега науката не успява с краткосрочната прогноза на земетресенията?” Известно е, че нелинейните явления много трудно се поддават на лесни числени модели и наличието на ясни корелации е силно затруднено. Може би затова теорията на прогнозирането на земетресения “куца” и не позволява лесни отговори на въпроси от вида – “Кога ще е следващото силно земетресение?... и къде?”...
- Друг не по-малко важен от практическа гледна точка въпрос е свързан с енергийните ресурси на Земята и по-точно – с теорията на възникване на

нефта и наличието и/или отсъствието му в различните части на света. Без да се впускаме в подробности само ще споменем, че битуват 2 основни теории за произхода на нефта – “органичната” и “неорганичната”. Приемането на хипотезите на турбулентната теория, може лесно да примири привържениците (и същевременно непримири противници) на двете теории. Допускането, че съществуват “преобърнати” коркинги е хипотеза, която може да обясни наличието на нефт в магмени и метаморфни скали.

Има още множество проблеми, които осветявани с турбулентната теория, може би ще намерят едно по-вярно и коректно обяснение. Дали геодинамиката се нуждае от нови подходи и теории – само времето ще покаже.

Литература

[1] Bird, P., 2003. An updated digital model of plate boundaries, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 4 (3), pp. 1027-1102.

[2] Gurov R., B. Ranguelov., 2007. The corkscrew theory – a new mechanism of the solid Earth geodynamics, in “*Rotational processes in geology and physics*” (Ed. Milanovsky), URSS, Moscow, pp. 411-431.

[3] *Geophysical Research Letters*, 2007, No3 (cover page)

[4] Jinwei Ren., 2006. Deformation kinematics of Tibetan plateau determined from GPS observations, *Proc. “Geodesy”*, Beijing, pp.1-14.

[5] *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology (IHEES)*., 2002. Eds. W. Lee, H. Kanamori, P. Jennings and C. Kisslinger), Academic Press.853 pp.

[6] Рангелов Б.,2007. Турбулентната теория – едни нов поглед към геодинамиката., *Спис.на БГД.*, т.68, кн. 1-3, с. 175-183.

[7] Schubert G.,D.Turcotte, P.Olson., 2004. *Mantle Convection in the Earth and Planets*, Princeton, 896 pp.

[8] Schmitt G., Nukelt A., Knopfler A., Marcu C., Three dimensional plate kinematics in Romania., *Proc. Intl. Symp on Stong Vrancea Earthquakes and Risk Mitigation*. 4-6 Oct., 2007, Bucharest. Romania, pp.34-45.

[9] Uyeda S., 1980, *The New View of the Earth.*, Freeman and Co., SF, 312 pp.

[10] Uyeda S., 2002., Continental drift, Sea Floor Spreading and Plate/Plume Tectonics., pp. 51-67., in *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*. (Eds. W.Lee, H.Kanamori, P.Jennings and C.Kisslinger), Academic Press. 853pp.

ЧИСЛЕНИ СИМУЛАЦИИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ФУНКЦИЯТА НА РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ ПО СКОРОСТИ НА ЕЛЕКТРОНИ В ПЛАЗМА

Росица Павлова и Христо Търнев

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

Резюме. В доклада е представен модел, базиран на Монте Карло метод, за определяне на функцията на разпределение по скорости на електрони в нискотемпературна плазма. Резултатите от модела са сравнени с аналитични резултати, при което е получено много добро съвпадение, потвърждаващо правилността на приложената числена процедура.

Ключови думи: Монте Карло методи, нискотемпературна плазма.

1. Увод

Методите, базирани на симулация на движението на отделни частици са най-бързо развиващите се в последните години методи за моделиране на плазма [1-4]. При тях се решават уравненията на движение на голям брой частици и чрез осредняване се получават макроскопичните величини. Тяхно предимство е, че използват минимален брой начални предположения. Като недостатък могат да се посочат големите изисквания към компютърната техника и трудностите, които понякога възникват при тълкуване на резултатите.

Взаимодействието на заредени частици с неутралния газ обикновено се описва с Монте Карло методи. При тях се използват случайни числа за определяне на резултатите от ударите между частиците.

В случай, че пространственият заряд играе важна роля, неговото отчитане става с particle-in-cell метод, който се комбинира с Монте Карло метода за отчитане на ударите.

Може да се покаже, че методите за симулация на отделни частици са еквивалентни на решаване на кинетичното уравнение на Болцман [1]. При симулацията на отделни частици обаче в голяма степен се избягват математическите трудности, характерни за кинетичната теория.

В настоящата работа е разработен Монте Карло метод за моделиране на плазма при ниско налягане. Резултатите от симулацията са сравнени с известни от литературата аналитични резултати, получени в рамките на кинетичната теория. Доброто съвпадение на числените и аналитичните резултати верифицира разработения Монте Карло метод.

2. Описание на метода

Методите Монте Карло са числени методи, които използват поредица от случайни числа за представяне на статистически симулации.

При прилагане на метода за симулации в плазма, случайни числа определят: 1) момента на удара на електрон с атом, 2) посоката на движение на електрона след удара и 3) типа на удара.

1) Момент на удара.

Времето между два удара на електрон с атом е случайна величина. Вероятността един електрон да се движи в плазмата време t без да се удари с атом намалява експоненциално с течение на времето. Решава се обратната задача и се намира времето като функция на вероятността, като зависимостта е логаритмична. Вероятността се задава като случайно число, изменящо се от 0 до 1. Времето между два удара се определя от:

$$t = -\frac{1}{\nu} \ln(1 - \text{random}) \quad (1)$$

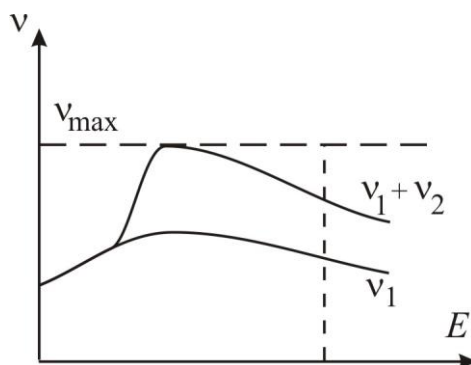
като ν е честотата на удари електрон – атом.

2) Посока на движение на електрона след удара.

Задачата се решава в сферични координати в пространството на скоростите. Изменението на посоката на движение на електрона в резултат на удара се определя от два ъгъла. Полярният ъгъл (ъгълът, който сключва проекцията на скоростта в равнината (v_x, v_y) с оста v_x) се определя от случайно число от 0 до 2π . Косинусът от азимуталния ъгъл (ъгълът, който сключва скоростта с оста v_z) се определя от случайно число от -1 до 1.

3) Тип на удара

В плазмата са възможни различни типове удари между електрон и атом – еластични, за възбуждане, за йонизация. Честотата на тези удари в общия случай е сложна функция на енергията на електрона, което прави невъзможно директното прилагане на формула (1), получена за случай на ν константа. В този случай се прилага техниката на нулевите удари, която тук ще бъде илюстрирана за случая на два вида удари



Фиг. 1. Определяне на типа на удара. Схематично представяне на зависимостта на честотите на удари от енергията на електрона.

На фигура 1 схематично са показани зависимостта от енергията на електрона на честотата на първия вид удари ν_1 и на сумата от честотите на първия и втория вид удари $\nu_1 + \nu_2$. Определя се максимумът на сумата $\nu_1 + \nu_2$ ν_{\max} . Тази максимална честота се използва в (1). За определяне на типа на удара се генерира случайно число между 0 и ν_{\max} . Ако това случайно число е по-малко от ν_1 при дадена енергия на електрона, имаме удар от вид 1. Ако случайното число е между ν_1 и $\nu_1 + \nu_2$, ударът е от вид 2. Ако случайното число е по-голямо от $\nu_1 + \nu_2$ имаме така наречения нулев удар. При него електронът продължава движението си със същата посока и скорост.

Сега ще бъде представена разработената програма за определяне на функцията на разпределение на електроните по скорости.

Като начални данни се задават електрично поле, начална скорост и положение на електрона. Определя се времето до следващият удар от (1). Решава се уравнението за движение на електрона и се получават координатите, скоростта и енергията на електрона в момента на следващия удар. По описаните по-горе методи се определят посоката на движение след удара и типа на удара. Изчислява се загубената енергия при този тип удар. След това се определя новата начална скорост и цикълът се повтаря за следващия удар. Скоростите на електрона в момента на всеки удар се запомнят за определяне на функцията на разпределение.

Функцията на разпределение може да бъде определена по два начина: като в даден момент от време определяме скоростта на голям брой електрони или като разглеждаме движението на един електрон достатъчно дълго време и определяме скоростта в голям брой моменти от време. Тук сме работили по вторият метод.

3. Резултати

Функцията на разпределение на електроните по скорости във външно електрично поле може да бъде получена в кинетичната теория при приближено решаване на уравнението на Болцман, като се отчита анизотропията, предизвикана от полето [5, 6]. В общия случай на произволно електрично поле и сложна зависимост на честотата на удари от скоростта на частиците, каквато съществува при реалните газове, задачата не може да бъде решена аналитично. Аналитичните резултати могат да бъдат получени при постоянно електрично поле и някои опростяващи предположения за зависимостта на честотата на удари от скоростта.

Тук ще бъдат сравнени резултати от числената симулация с аналитични резултати от кинетичната теория за случаите на постоянна честота и постоянно сечение на еластичните удари електрон-атом. Получени са и резултати в аргон, където, макар и само на качествено ниво, е проверено влиянието на нееластичните удари.

А. Постоянна честота на ударите и постоянно електрично поле

В този случай, съгласно кинетичната теория [5], функцията на разпределение на електроните по скорости е максвелова с температура определена от израза:

$$kT_e = \frac{1}{3} \frac{m_a e^2 E_x^2}{m_e^2 v^2} \quad (2)$$

където k е константата на Болцман, T_e електронната температура, m_a е масата на атомите, e е зарядът на електрона, E_x е интензитетът на електричното поле, m_e е масата на електрона и v е честотата на еластични удари електрон-атом.

Използвайки тази температура, на фигура 2 са начертани теоретичните криви за функцията на разпределение на електроните по една от компонентите на скоростта

$$f_x(v_x) = A_1 \exp\left(-\frac{m_e v_x^2}{2kT_e}\right) \quad (3)$$

и по големината на скоростта:

$$f(v) = A 4\pi v^2 \exp\left(-\frac{m_e v^2}{2kT_e}\right) \quad (4)$$

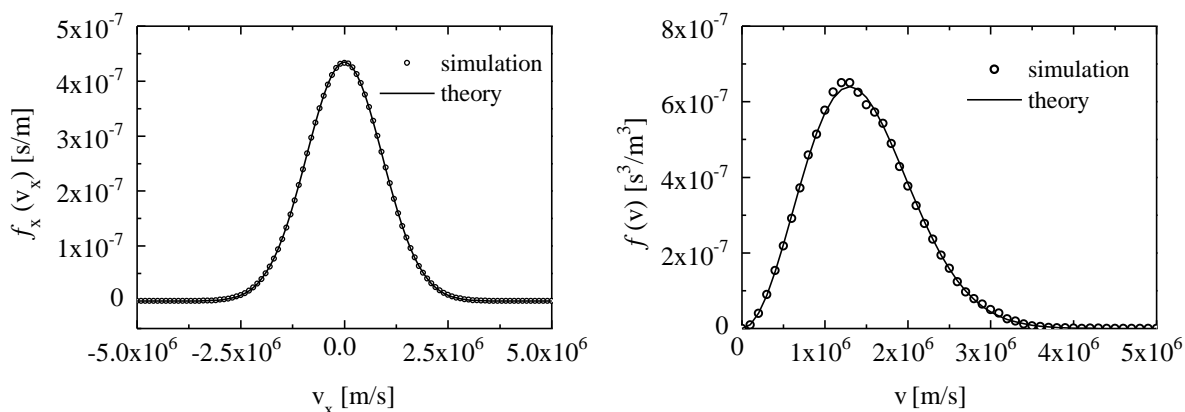
като A_1 и A са съответните нормиращи константи.

Електронната температура от симулацията е определена, като са изчислени енергиите на електрона в момента на всеки удар, намерена е средната енергия $\langle E \rangle$ и от $\langle E \rangle = 3/2kT_e$ е изчислена температурата. Резултатите от кинетичната теория и от симулацията са много близки: 55 582 К от аналитичните и 55 477 К от числените пресмятания, като отклонението е около 0.2 %.

По дефиниция функцията на разпределение на електроните по скорости е равна на броя от електроните ΔN , имащи скорост в някакъв малък интервал от скорости dv , разделена на големината на този интервал и на пълния брой на електроните N :

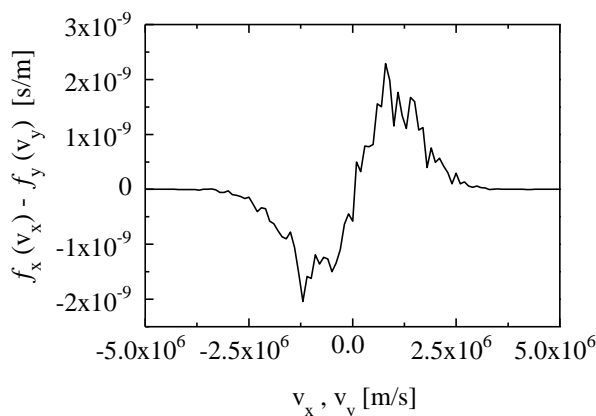
$$f(v) = \frac{\Delta N(v)}{N dv} \quad (5)$$

Тази дефиниция е използвана директно при определяне на функцията на разпределение от симулацията. Интервалът, в който се изменят скоростите на електроните в момента на удар с атом е разделен на много подинтервали (типична стойност 30). Преброяват се ударите ΔN , при които скоростта попада в даден подинтервал и по формула (5) се изчислява f . На фигура 2 се вижда много доброто съвпадение на резултатите от кинетичната теория и симулацията.



Фиг. 2. Функции на разпределение по една от компонентите на скоростта (лявата фигура) и по големината на скоростта (дясната фигура), получени от кинетичната теория (линия) и от числените симулации (символи) при поле $E_x = 1 \text{ V/m}$, брой на ударите 5×10^7 и честота на ударите $3 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$.

Електричното поле предизвиква анизотропия на функцията на разпределение: тя се измества в посока на електричната сила, в нашия случай в посока x .



Фиг. 3. Анизотропна част на функцията на разпределение. Електричната сила е насочена в посока x .

Тъй като в посока y не действат никакви сили, функцията на разпределение на y компонентата на скоростта е симетрична относно нулата. Разликата $f_x(v_x) - f_y(v_y)$ дава анизотропната част на функцията на разпределение (Фигура 3), като полученият резултат има очакваната от литературни данни форма [5].

Тъй като ние използваме статистически метод, за да се получи добър резултат осредняването трябва да се направи след като електронът е претърпял достатъчно голям брой удари. При малък брой удари отклонението от

теоретичният резултат е значително, като с увеличаването на броя на ударите се приближаваме към получаване на Максвеловата функция на разпределение.

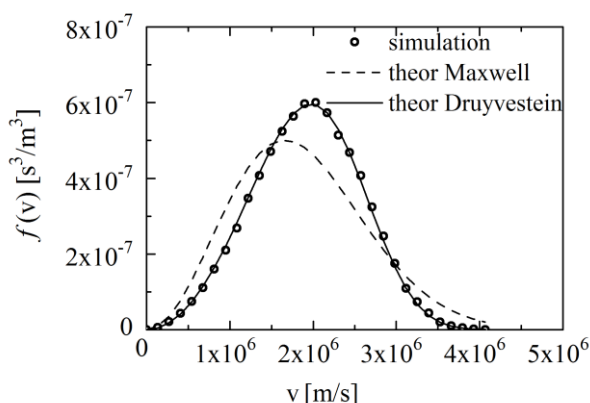
Б. Постоянно сечение на ударите и постоянно електрично поле

В този случай честотата на удари, която е равна на произведението на концентрацията на атомите n , сечението σ и скоростта на електроните v , $\nu = n\sigma v$, не е константа, а нараства линейно със скоростта. Резултатът от кинетичната теория е функция на разпределение на Дрювестейн:

$$f(v) = A \exp\left(-\frac{(n\sigma)^2 v^4}{b}\right) \quad (6)$$

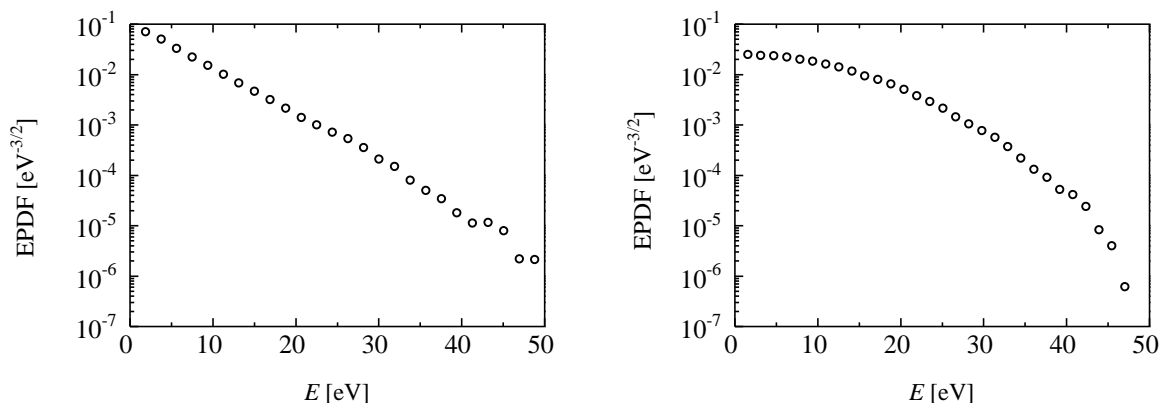
където b е константа, зависи от електричното поле и масата на атомите.

На фигура 4 се вижда много добротото съвпадение на резултата от симулацията със теорията. Тук за сравнение е показана и Максвеловата функция на разпределение. Стойностите на средната енергия, определени от кинетичната теория $\langle E \rangle = 11.59$ eV и от симулацията $\langle E \rangle = 11.74$ eV също са близки.



Фиг. 4. Функция на разпределение по големината на скоростта, получена от кинетичната теория (плътна линия) и от числените симулации (символи) при поле $E_x = 1$ V/m, брой на ударите 5×10^7 и произведение $n\sigma = 10$ m⁻¹. За сравнение е дадена Максвелова функция на разпределение (пунктирна линия).

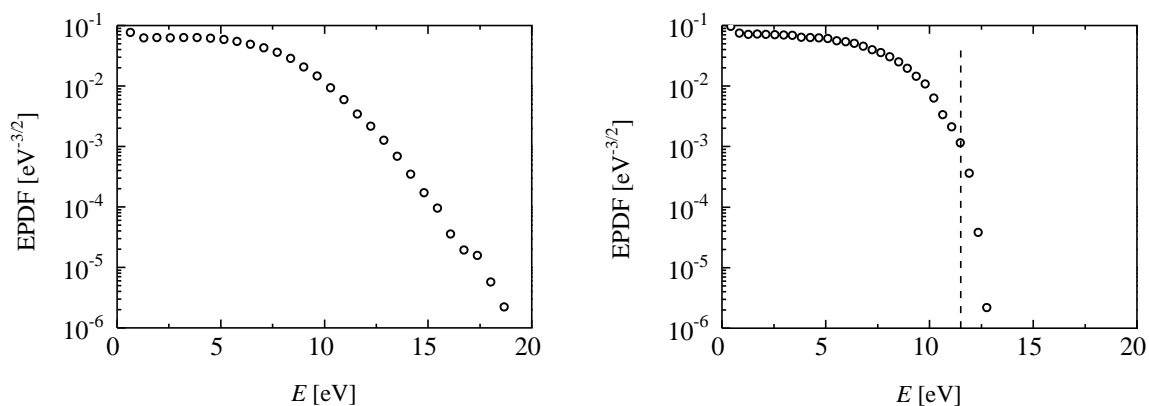
В практиката много често се използва и функцията на разпределение на частиците по енергия $f(E)$, а също така и т.нар. electron energy probability function EEPF $f(E)/\sqrt{E}$. Предимството при нея е, че при Максвеловата функция на разпределение се получава права линия в полулогаритмичен мащаб. Резултатите за EEPF за разглежданите по-горе случаи на функция на разпределение на Максвел и на Дрювестейн с показани на фигура 5. Вижда се, че при Максвеловата функция на разпределение в полулогаритмичен мащаб зависимостта наистина е линейна.



Фиг. 5. Резултати от симулацията за EEPF за разглежданите по-горе случаи на постоянна честота на ударите и Максвелова функция на разпределение (лявата фигура) и постоянно сечение и функция на разпределение на Дрюестейн (дясната фигура).

В. Влияние на нееластичните удари

В дотук показаните резултати разглеждахме само еластични удари. Тук ще въведем и нееластични удари, като за пример ще разгледаме разряд в аргон. В реални газове честотите на удари или сеченията не са константи, а са функция на енергията на електроните и аналитично решение на уравнението на Болцман не може да бъде получено. Затова ще направим сравнение на два резултата от симулация: 1) с отчитане само на еластични удари електрон-атом и 2) с отчитане на еластични удари електрон-атом и нееластични удари за възбуждане на аргоновия атом. Характерно за нееластични удари е наличието на прагова енергия.



Фиг. 6. Резултати от симулацията за EEPF в аргон. Само еластични удари на лявата фигура и еластични и нееластични удари на дясната фигура. Пунктирната линия показва праговата енергия, от която започват нееластичните удари. $E_x = 1 \text{ V/m}$, брой на ударите 5×10^7 и концентрация на атомите $n = 2 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$.

При енергии под праговата се наблюдават само еластични удари, водещи до малка загуба на енергия, а при енергии над праговата се наблюдават и нееластични удари, които водят до много по-голяма загуба на енергия от електрона в сравнение с еластичните. Следователно нееластичните удари водят до намаляване на високоенергетичните електрони.

На фигура 6 са показани резултати за два случая: само за еластични удари и еластични и нееластични удари. От фигурата ясно се вижда, че броят на електроните с по-голяма от праговата енергия рязко намалява, както и трябва да се очаква.

4. Заключение

Разработен е Монте Карло модел, описващ ударите на електрони с атоми в плазма. Получени са резултати за средната енергия на електроните и за функцията на разпределение на електроните по скорости и енергия. Направени са сравнения с аналитични резултати, получени в рамките на кинетичната теория, които потвърждават верността на резултатите от числената симулация.

Натрупан е опит за оптималните стойности на задаваните в симулацията параметри.

До тук моделът е приложен за случай на постоянно електрично поле. Понататъшните планове са за прилагане на модела за структура на електричното поле, характерна за индуктивни разряди.

Литература

- [1] Z. Donko, *Plasma Sources Sci. Technol.*, **20**, 024001 (2011)
- [2] S. Longo, *Plasma Sources Sci. Technol.*, **15**, S181 (2006)
- [3] J. P. Verboncoeur, *Plasma Phys. Control. Fusion*, **47**, A231 (2005)
- [4] M. M. Turner, *Phys. of Plasmas*, **13**, 033506 (2006)
- [5] В. Е. Голант, А. П. Жилинский и И. Е. Сахаров, *Основы физики плазмы*. М., Атомиздат (1977)
- [6] M. A. Lieberman and A. J. Lichtenberg, *Principles of Plasma Discharges and Materials Processing* 2nd ed. Wiley-Interscience, New York (2005)

АНАЛИТИЧНО ОПИСАНИЕ НА СКОК ОТ ГОЛЯМА ВИСОЧИНА

Димитър Г. СТОЯНОВ

ИПФ-Сливен, ТУ-София, dgstoyanov_ipf@abv.bg

Резюме. В работата аналитично се описва свободното падане на тяло в изотермична атмосфера от голяма височина. Получена е аналитичната зависимост на скоростта на движение на тялото от текущата височина и от началната височина на падане.

Ключови думи: свободно падане, движение във вискозна среда.

1. УВОД

През 2010 г. фирмата „Red Bull“ става спонсор на проект „Red Bull Stratos“ [1] за рекорден скок без парашут по отношение на височината. След осъществяване на два подготвителни скока (на 15 март 2012 г. и на 25 юли 2012 г.), на 14 октомври 2012 г. беше извършен решаващият скок. В [2] четем: “На 14 октомври 2012 г. Феликс Баумгартнер се издига с балон на 39 km надморска височина (т.е. в стратосферата), скача и след свободно падане, продължило 4 минути и 19 секунди, се приземява с парашут. С постижението си поставя няколко световни рекорда, включително за височина на подобен тип скокове. Също така Баумгартнер става първия човек, който преминава звуковата бариера (скоростта на звука) само със скафандър, т.е. без да се намира в моторизирано превозно средство.”

Цел на настоящата работа е да се направи аналитично математическо описание на свободно падане на тежко тяло от голяма височина с отчитане на промяната на плътността на въздуха.

2. СКОРОСТ НА ДВИЖЕНИЕ НА ТЯЛОТО

2.1 Постановка на задачата

Разглеждаме свободно падане на тяло с маса m от височина z_0 с нулева начална скорост. Върху тялото ще действат силата на тежестта $m \cdot \vec{g}$ и силата на съпротивление \vec{F}_R от движението на тялото в средата на въздушната атмосфера. Поради голямата скорост на движение, съпротивлението е от Нютонов тип (2).

Втори принцип на Нютон дава за скоростта на тялото \vec{V} [4]:

$$m \cdot \frac{d\vec{V}}{dt} = m \cdot \vec{g} + \vec{F}_R \quad (1)$$



Фиг. 1 Снимка от скока на Ф. Баумгартнер [3] на 14 октомври 2012 г.

Силата на съпротивление \vec{F}_R върху тялото, приемаме, че има вида [4]:

$$|\vec{F}_R| = C_X \cdot S \cdot \frac{\rho \cdot \vec{V}^2}{2} \quad (2)$$

Където:

- ρ - плътност на газовата среда на атмосферата;
- S - площ на напречното сечение на тялото (перпендикулярно на вектора на скоростта);
- C_X - аеродинамичен коефициент на съпротивление (безразмерна величина), свързан с обтичането на тялото от въздуха.

Ще описваме движението на тялото в Декартова координатна система, равнината XOY на която лежи на морското ниво. Оста OZ е насочена в зенита. При строго вертикално падане на тялото ще отчитаме само координата z - височината и V_z компонентата на скоростта.

Тогава (1) добива вида

$$\frac{dV_z}{dt} = -g + \frac{C_X \cdot S}{m} \cdot \frac{\rho \cdot V_z^2}{2} \quad (3)$$

За определяне на плътността на атмосферата ще използваме зависимостта на изотермична атмосфера

$$\rho(z) = \rho(0) \cdot \exp\left(-\frac{\mu \cdot g \cdot z}{R \cdot T}\right) = \rho(0) \cdot \exp\left(-\frac{z}{z_1}\right). \quad (4)$$

Тук z_1 е характерен атмосферен параметър (височина), който в зависимост от диапазона на височините при нормални условия се изменя от 6 до 8 km. В настоящата работа параметъра е приет да има стойност 6.8 km.

С отчитане на (4) и след известни преобразования получаваме

$$\frac{dV_z^2}{dz} = -2 \cdot g + \frac{C_X \cdot S \cdot \rho(0)}{m} \cdot V_z^2 \cdot \exp\left(-\frac{z}{z_1}\right) \quad (5)$$

2.2 Преобразуване на уравнението

Първата стъпка към решаване на уравнението е неговото обезразмеряване. За мащаб на височината ще изберем z_1 , т.е.

$$x = \frac{z}{z_1}. \quad (6)$$

За безразмерен квадрат на скоростта ще приемем

$$y^2 = \frac{V_z^2}{2 \cdot g \cdot z_1}. \quad (7)$$

Групираме произведението от константи във втория член от дясната страна в общ коефициент A , който е постоянен в тази задача

$$A = \frac{C_X \cdot S \cdot \rho(0) \cdot z_1}{m}. \quad (8)$$

Тогава получаваме

$$\frac{dy^2}{dx} = -1 + A.y^2.exp(-x). \quad (9)$$

Така полученото уравнение (9) и ще решаваме нататък.

2.3 Решаване на уравнението

Ще запишем уравнението във вида:

$$\frac{dy^2}{dx} - A.y^2.exp(-x) = -1. \quad (10)$$

Според [5], това уравнение е линейно по отношение на y^2 ОДУ от първи ред с общо решение

$$y^2.exp(Y) = - \int_{x_0}^x exp(Y).dx, \quad (11)$$

където

$$Y(x) = -A. \int_{x_0}^x exp(-x).dx = A. \left[e^{-x} - e^{-x_0} \right], \quad (12)$$

и с x_0 е означена началната стойност на параметъра (6)

$$x_0 = \frac{z_0}{z_1}. \quad (13)$$

За опростяване на записа ще дефинираме нова променлива $\eta(x)$

$$\eta(x) = A.e^{-x}. \quad (14)$$

Тогава ще можем да получим

$$\eta_0 = \eta(x_0) = A.e^{-x_0}, \quad (15)$$

и

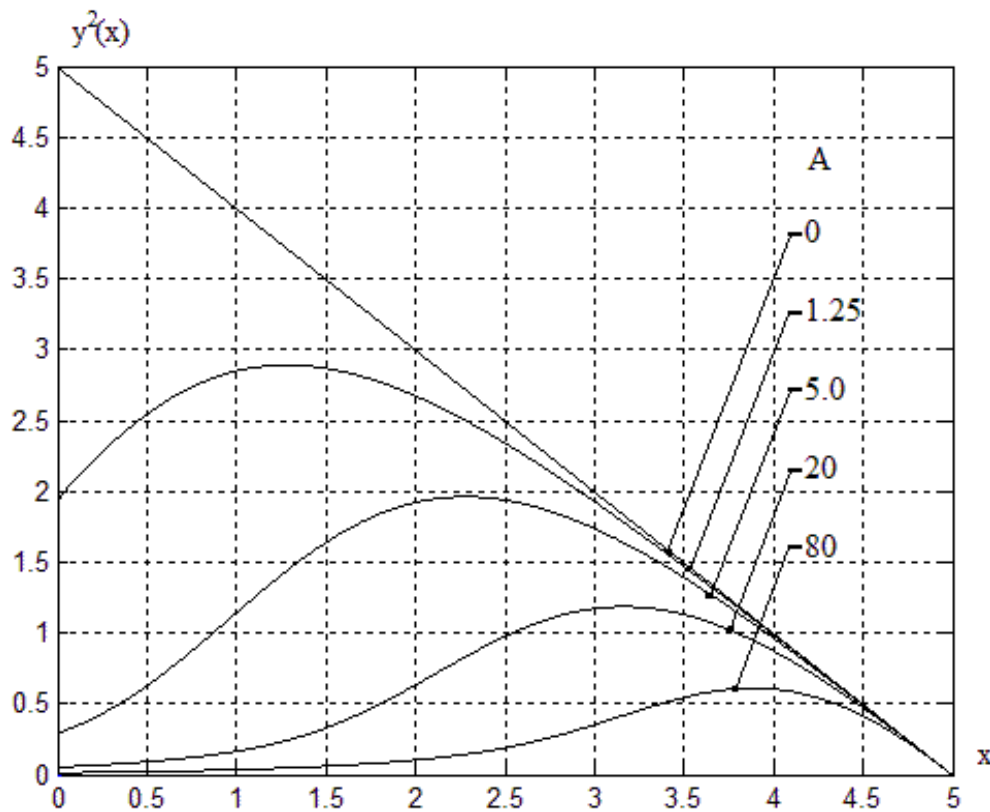
$$Y(x) = \eta(x) - \eta(x_0). \quad (16)$$

Това позволява да напишем

$$y^2(x) = e^{-\eta} \cdot \int_{\eta_0}^{\eta} \frac{e^{\eta}}{\eta} \cdot d\eta \quad (17)$$

В (17) интеграла представлява специалната функция $Ei(\eta)$ - интегрална показателна функция [6]. Затова окончателно можем да запишем

$$y^2(x) = e^{-\eta} \cdot [Ei(\eta) - Ei(\eta_0)] \quad (18)$$



Фиг. 2 Графика на решението на (18) за различни стойности на параметъра A .

3. АНАЛИЗ НА РЕШЕНИЕТО

При липса на триене ($A=0$), решението на (10) е

$$y^2(x) = x_0 - x, \quad (19)$$

При наличие на триене, решението (18) е по-ниско от (19).

На Фиг.2 са дадени като пример решенията на (18) за няколко стойности на параметъра A при $x_0 = 5$. Решенията са получени и графиките са построени с помощта на програмния продукт MATLAB, в който интегралната показателна функция съществува като подпрограма.

От фигурата се вижда, че в процеса на падане, за всеки параметър A , различен от нула, отначало скоростта на движение на тялото нараства. Това нарастване е предизвикано от ускоряването на тялото в полето на земното ускорение в условията на малка плътност на въздуха. С намаляване на височината на тялото, расте плътността на атмосферата, което води до увеличаване на съпротивлението на средата. Това забавя увеличението на скоростта на движение на тялото. На някаква височина силата на тежестта и съпротивлението на средата се изравняват. В този момент тялото е придобило т.н. „терминална скорост”. На графиката това съответства на максималната скорост при всеки параметър A . При следващите моменти още по-голямото съпротивление на средата забавя тялото и скоростта монотонно намалява.

От фигурата се вижда, че с увеличаване параметъра на триене A квадрата на скоростта на тялото силно намалява. Освен това можем да направим наблюдението, че намалява и максималната скорост при дадено A , като положението на максимума се премества към по-големи височини.

Бяха пресметнати скоростите на движение за трите скока на Феликс Баумгартнер, посочени в **Таблица 1**. Като изходните данни се ползваха началните височини на скоковете. В резултат на подбор е избрана еднаква и за трите скока константа $A = 77$.

Таблица 1. Данни за скоковете на Феликс Баумгартнер [1]

| Дата на скока | Начална височина z_0 , km | Максимална скорост V_m , m/s |
|--------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| 15 март 2012г. | 21.818 | 163 |
| 25 юли 2012г. | 29.460 | 240 |
| 14 октомври 2012г. | 39.045 | 373 |

Получените скорости са представени графично на Фиг.3. Както се вижда от Фиг. 3 за максималните скорости на първите два скока има добро съответствие с изчислените стойности.

Но за последния скок изчисленията дават по-малка максимална скорост. Възможно обяснение на това е факта, че в резултат на завъртане или въртене на тялото да имаме малко изменение и на константата A . За отчитане на този факт бяха направени пресмятания за още две константи, които са $\pm 10\%$ от посочената по-горе. Графиките на тези зависимости също са показани на фигурата. Така за последния скок имаме показани три непрекъснати криви - за

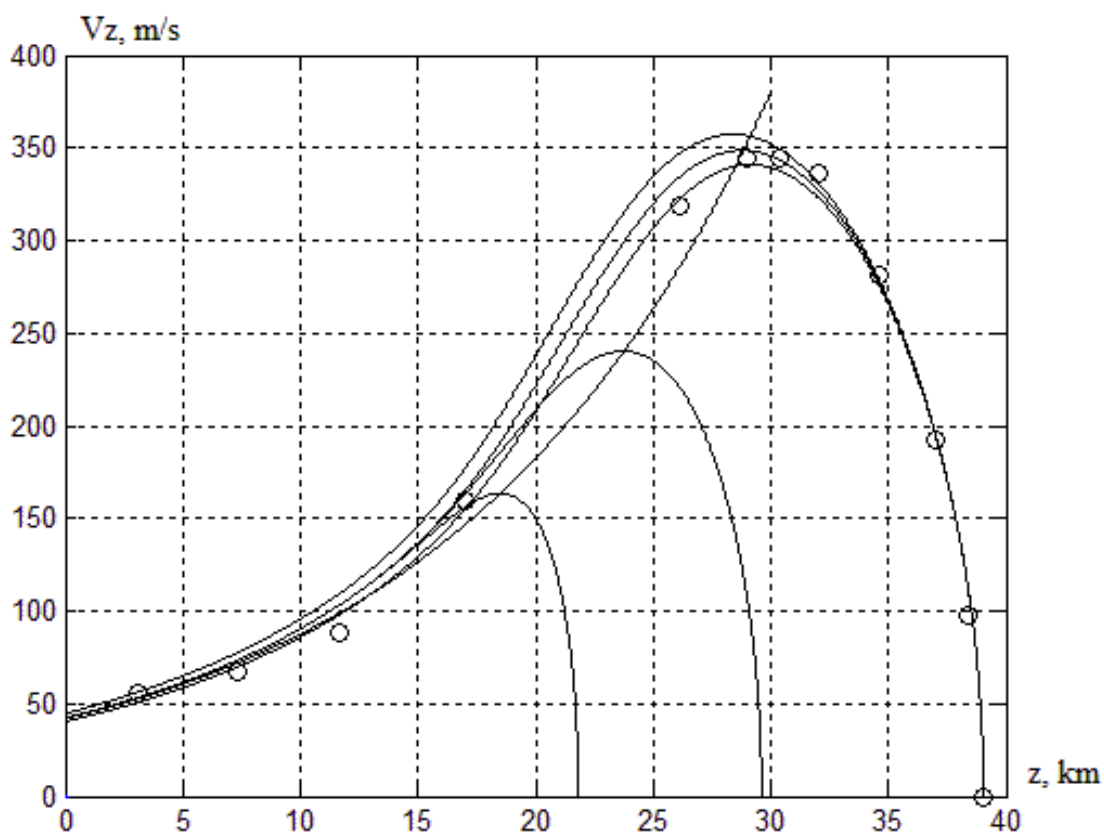
трите различни константи A . Такава вариация на константата се оказва недостатъчна да компенсиране на разликата. Друга причина за разликите е възможно да бъде преодоляването на звуковата бариера и свързаната с това промяна на обтичането на тялото от въздуха.

Но от друга страна, направените пресмятания за третия скок, са в добро съответствие с данните за скоростта от [7] по протежение на целия скок. Данните от [7] са показани на фигурата като кръгчета.

На същата фигура е показана линията, върху която лежат максимумите на скоростта на всички криви с еднаква константа и различни начални височини. Връзката между максималната стойност y_m и височината x_m , при която се постига се получава от (10), чрез нулиране на производната

$$y_m^2 = \frac{e^{x_m}}{A}. \quad (20)$$

Това е кривата на “терминалната скорост”.



Фиг. 3. Графика на решението на (18) за трите скока на Баумгартнер.

4. Заключение

Значението на скока на Феликс Баумгартнер не се свежда само до поставянето на нов рекорд за височинен скок с преодоляване на звуковата бариера. Скокът е ценен практически опит за създаване на технологии за спасяване на астронавти и военни летци в екстрени ситуации. Може би в този смисъл не е учудваща липсата в ИНТЕРНЕТ до този момент на по-подробна телеметрична информация за скока.

В заключение можем да кажем, че е получена аналитичната зависимост на скоростта на движение на свободно падащо тяло от голяма височина. Получената теоретична зависимост е сравнена с данни за скоковете на Феликс Баумгартнер и е получено добро съответствие с част от данните.

Литература

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Red_Bull_Stratos/Mission_data

[2] http://en.wikipedia.org/wiki/Felix_Baumgartner

[3] <http://i12bent.tumblr.com/post/33584589763/earlier-today-felix-baumgartner-jumped-from-the>

[4] Савельев И. В. *Курс физики т.1, Механика, молекулярная физика*, Москва, Изд. „Наука”, 1989.

[5] Камке Э. *Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям*, Москва, изд. „Наука”, 1976, 35 стр.

[6] Абрамовиц М., Стиган И. *СПРАВОЧНИК ПО СПЕЦИАЛЬНЫМ ФУНКЦИЯМ с формулами, графиками и математическими таблицами*, Москва, изд. „Наука”, 1979, 56 стр.

[7] http://theengineerspulse.blogspot.com/2012/10/mechanical-analysis-of-baumgartners_15.html

Шистов газ – възможности и рискове

Мая Григорова¹

¹ Геологопроучвателен факултет, Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски”, 1700 София, ул. Проф. Боян Каменов, e-mail: maya_mgu@abv.bg

Резюме. С напредване на процесите на експлоатация на известните находища и с повишаване степента на изученост на перспективните територии, откриването на нови източници на минерални и енергийни суровини става все по-сложно и скъпо струващо. През последните години се наблюдава тенденция към увеличаване на търсецо-проучвателните работи и на добива на енергийни суровини. Все повече се засилва и интересът към т.нар. „неконвенционални енергийни суровини“, характеризиращи се като трудно извлекатели и изискващи прилагането на сложни технологии. Настоящата работа е фокусирана върху възможностите и рисковете при добива на шистов газ от шистови скали в България. Извършен е обзор на предпоставките за търсене на находища на нефтени въглеводороди, разгледани са етапите на проучаване при разработване на природен газ от шисти, посочени са рисковете при прилагане на технологията хидравлично напукване.

Ключови думи: шистов газ, хидравлично напукване, енергийни суровини

1. Въведение

През последните десетилетия световната икономика се сблъсква с глобалния проблем за осигуряване на огромните, непрестанно растящи потребности от все по-разнообразни суровини и енергия. На съвременен етап се изразходват големи количества нефт, природен газ, въглища, черни и цветни метали. Необходимостта от обезпечаване с минерални и енергийни ресурси изисква увеличаване на усилията за тяхното откриване, а сложността на възникващите при това проблеми определя нови подходи за тяхното решаване, методи за изследване и усъвършенстване на техническите средства за търсене и проучване [1].

Геоложките въглеводородни формации са създадени при специфични условия от органични съединения на морски седименти. Част от въглеводородите се намират в т.нар. шистови скали - група метаморфни скали, отличаващи се със слоеста структура и наличието на редица минерали като силикати, хлорити, кварц, и други. За разлика от конвенционалния петрол и газ, които се намират в порести и разпукани земни пластове, което ги прави полесни за добиване, неконвенционалният петрол и газ в шистовите слоеве са складиращи в миниатюрни пукнатини и порести „джобове“.



Фиг. 1. Шистова скала

Тези скали се характеризират с изключително ниска пропускливост, залежите на единица обем в тях са малки в сравнение с конвенционалните и са разпръснати на големи площи от десетки хиляди квадратни километри. Освен това поради ниското съдържание на въглеводороди в майчините скали добивите са по-малки, а специалните технологии, които трябва да се използват ги оскъпяват допълнително, защото изискват огромни количества вода и вкарването на химикали като добавка [2].



Фиг. 2. Шистова скала, съдържаща пори наситени с природен газ

1. Обзор и предпоставки за търсене на неконвенционални източници на енергия в България

Геоложкият строеж на България е изключително разнообразен. На територията на страната се разкриват разнообразни по състав и възраст скали подложени на многократна тектонска дейност. Това многообразие от скали и палеогеодинамични обстановки е предпоставка за наличието на множество различни по вид и произход минерални суровини. В тяхното разпределение съществува определено зонироване предопределено от геоложките и тектонски фактори. Мизийската платформа и континенталният шелф, където се разкриват дебели седиментни комплекси, са основни територии за търсене на находища на нефтени въглеводороди [3].

Според Националния баланс на запасите и ресурсите на полезните изкопаеми през 2010 г. България е имала почти 3 млрд. м³ запаси от газ и около 239 000 тона нефт и кондензат. Наличието на тези запаси и добив са твърде незначителни имайки предвид годишното потребление само на газ в страната около 2.6 млрд. куб. м. Въпреки това, този добив е един принос към диверсификацията на енергийната система на България. Резултатите от

многогодишните проучвания показват, че едва ли могат да се очакват открития на значителни по запаси находища от конвенционални находища на нефт и газ. Една възможна перспектива е търсенето на т.н. неконвенционални находища на „шистов газ” [3]. Геоложките предположения за наличието на шистов газ в България са съсредоточени в “Етрополска аргелитна формация” на територията на областите Ловеч и Плевен, като ресурсите там се оценяват на 300 млрд. куб. метра и 56 млн. куб. метра извлекаем кондензат. Шистовият газ край с. Девенци, се оценява на 6 млрд. куб. метра. Геоложкото откритие “Койнаре” е с прогнозни ресурси от 8 млрд. куб. метра.

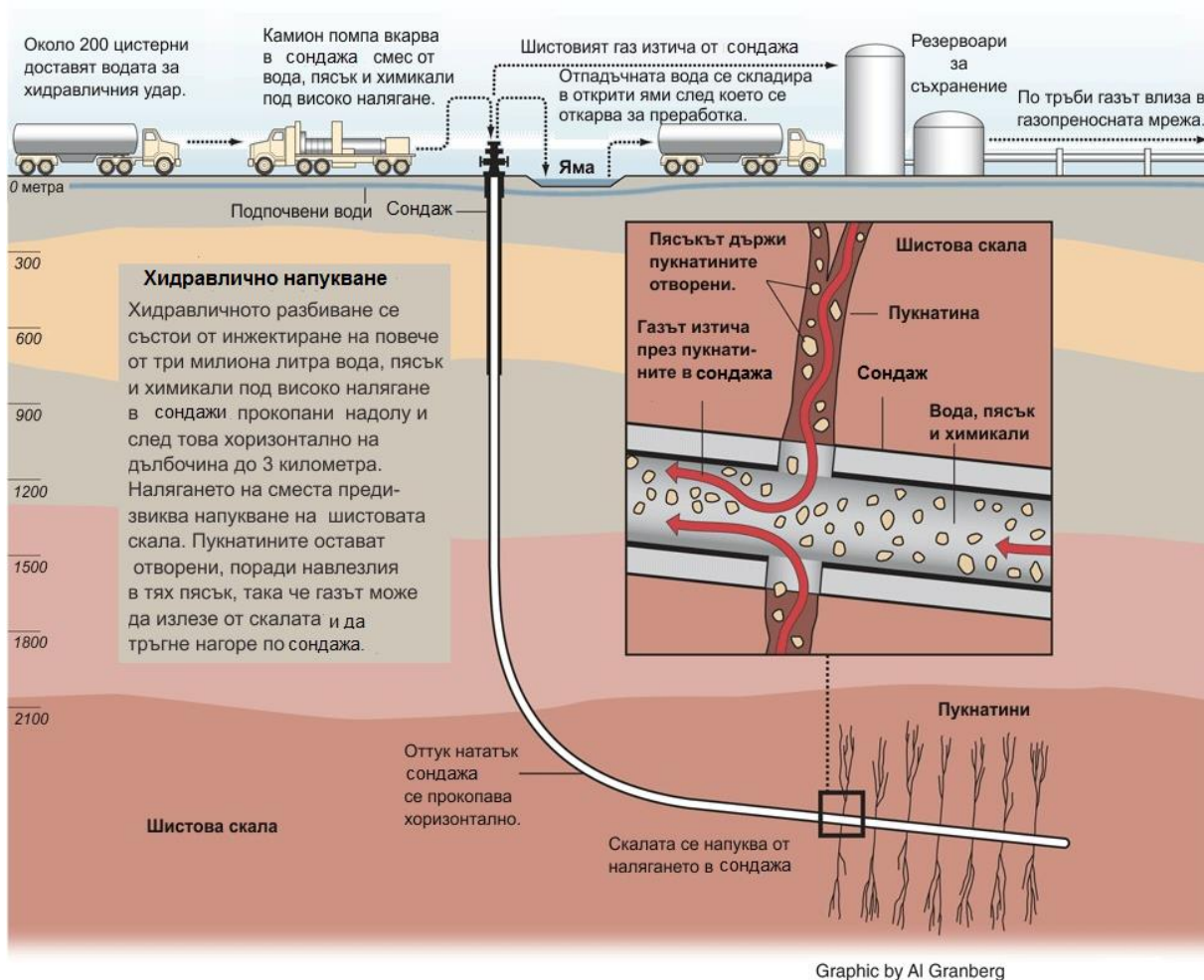
Откритите в България количества шистов газ, по някои прогнози покриват нуждите на икономиката за около 30 години. Разкритието е направено през август 2010 г., недалеч е от първото откритие на шистов газ край с. Девенци от американската компания “Дайрект петролеум”.

2. Етапи на проучването

Разработването на природен газ от шисти представлява многостепенен процес, който отнема години, преди дори да бъде взето решение за разработване на дадено находище за дългосрочен добив. Сеизмичните проучвания са едни от първите дейности, които се извършват на терена и се използват за откриване на възможни газоносни формации. Чрез използването на сеизмичните данни се свежда до минимум въздействието върху околната среда, тъй като се ограничава броя сондажи, които трябва да бъдат прокарани, за да се направи откритие. Сеизмичното наблюдение е метод, при който се използва информацията от отразени вълни от подземни скални структури, за да се открият възможни нефто- и газонаситени формации. Чрез изучаване на отраженията се цели да се определи дълбочината и структурите на погребаните геоложки формации. Този анализ помага да се идентифицират нефто- и газонаситените резервоари, скрити под земната повърхност.

Когато сондажната площадка бъде изградена, започва етапът на сондирането. От една площадка могат да се разработят множество сондажи, като по този начин отпечатъкът върху околната среда се свежда до минимум. В случай, че резултатите от проучвателното сондиране са благоприятни, би могло да се предприемат редица дейности, за да се оцени и изпита жизнеспособността за добив на газ в тази площадка. Може да се извършат хоризонтално сондиране и хидравлично напукване, за да се изпита потенциалът на шистите за напукване и освобождаване на уловения в него газ. По време на хидравличното напукване в сондажа се нагнетяват под високо налягане флуиди, състоящи се от 99,5 процента вода и 0,5 процента добавки, за да се образуват цепнатини и пукнатини в скалата. Това позволява на природния газ да потече в компресорните тръби и да излезе на повърхността. В случай, че резултатите продължат да бъдат окуражаващи, се прокарават още хоризонтални сондажи и продължава да се прилага хидравлично напукване. Сондажите се прокарават

вертикално до дълбочина хиляди метри под водоносните хоризонти и се изолират с няколко слоя стомана и цимент. Колоната и циментът са изключително важни компоненти, с които се гарантира, че природният газ в сондажния отвор е изолиран от околните геоложки формации и водоносни хоризонти. Тази бариера предпазва подземните води, като възпира флуидите, които се нагнетяват в сондажа, а извличания природен газ задържа в сондажния отвор.



Фиг. 6. Илюстрация на технологията за добив на шистов газ (<http://www.propublica.org/special/hydraulic-fracturing-national>)

След като се достигне желаната дълбочина, сондажът се отклонява в хоризонтална посока за да се обхване по-голяма площ от шистовите скали. При този метод са необходими по-малко сондажи за разработване на газово находище, така че се използва по-малка земна площ за сондажни операции.

Когато сондирането бъде завършено, в хоризонталната част на сондажа се спуска стоманена експлоатационна колона, която се циментира на място. Това осигурява постоянна и надеждна изолация на сондажа и предотвратява изтичане на газ и течности, докато те се извличат към повърхността.

За да се създаде път, по който природният газ да потече в сондажа, се използва електрически куршумен перфоратор, с който се правят малки отвори

през стоманената експлоатационна колона и цимента в шистовите скали. След което се прилага хидравлично напукване, за да се създадат пукнатини в скалата, позволяващи на природния газ да потече в сондажната тръба и да излезе на повърхността.

Земята, която е била използвана за сондажните операции, се рекултивира до първоначалното ѝ състояние и на повърхността остават само устието на сондажа и воден резервоар на площ, по-малка от един хектар [4].

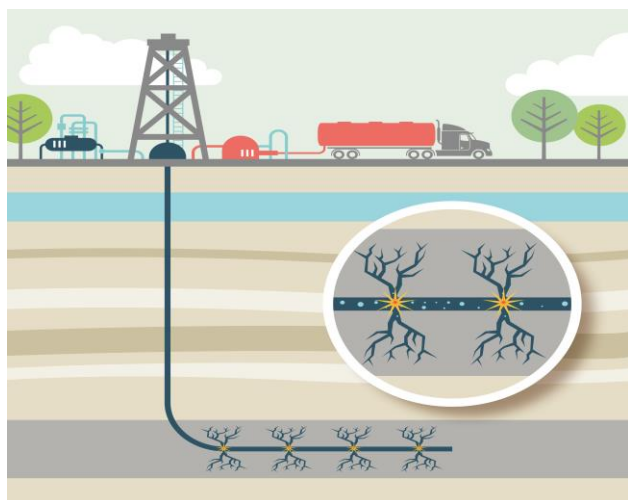
3. Хидравлично напукване (Hydraulic Fracking) - същност на технологията

Хидравличното напукване е технология, разработена през 40-те години на двадесети век, и оттогава е прилагана за добив на повече от 600 трилиона кубически фута природен газ и над 7 милиарда барела нефт.

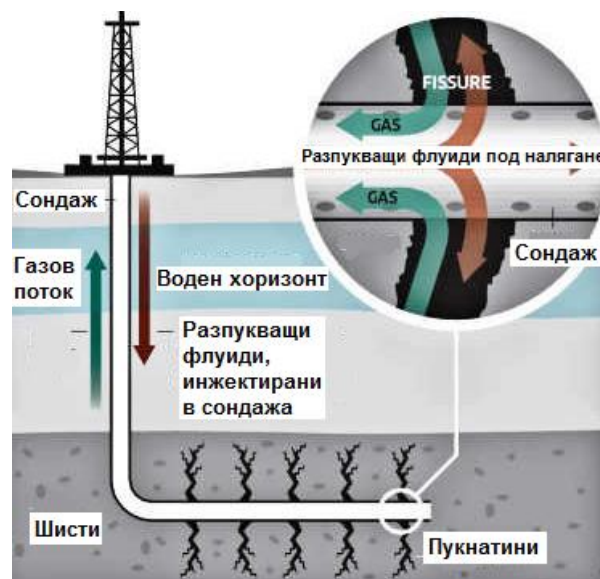
Технологията се използва за създаване на пространства на голяма дълбочина в порите на скалите, за да се освободят нефтът и природният газ, така че да могат да бъдат извлечени на повърхността. Използва се налягането на водата, за да създадат пукнатини дълбоко под земята в шистови формации, които позволяват на нефта и природния газ да текат.

Технологията представлява впръскване под огромно налягане (до 1000 атмосфери) чрез сонди на милиони литри вода, смесена с над 600 химикала, на голяма дълбочина в земните недра (1.5 до 6 км) с цел разкъсване на шистовите пласти и освобождаване на съдържащия се там природен газ [4].

Хидравличното разбиване в комбинация с хоризонтално сондиране дава възможност да се добива газ от резервоари, които досега са се считали за изключително трудно достъпни. Сондата образува отвор, след което дълбоко в него се създават пукнатини (фиг 3).



Фиг. 3. Илюстрация на хидравлично напукване



Фиг. 4. Хидравлично напукване и поток на флуидите

Благодарение на впръсканата под голямо налягане т.нар. фрактинг течност пукнатините се разширяват и разпространяват в скалата и така се увеличава площта, от която може да бъде извлечен природният газ. Като стабилизатор в инжектираната фрактинг течност често се използва пясък, за да се предотврати затварянето на пукнатините след първоначалното инжектиране.

Оставяйки пукнатините отворени, става възможно освободеният чрез разбиването газ да тръгне нагоре по кладенеца.

При извършване на хидравлично напукване „напукващите флуиди” или „нагнетяваните флуиди”, съдържащи основно вода и пясък, се нагнетяват под високо налягане в продуктивната формация, създавайки пукнатини, които позволяват на флуидите да се придвижат свободно от скалните пори, в които са уловени (фиг. 4).



Фиг. 5. Флуиден разтвор, използван при хидравлично напукване

Флуидът, използван при този процес, обикновено се състои от 99,5 процента вода и пясък и 0,5 процента добавки. Съдържанието на добавките е възможно да бъде променяно в съответствие с конкретните геоложки особености на терена.

4. Рискове при прилагане на технологията хидравлично напукване

Преди да се пристъпи към разработката на находищата е необходима икономическа обосновка в дългосрочен план за ефекта от експлоатация на находището. При това трябва да се отчита и фактът, че характерът на ландшафта ще се промени от естествен към техногенен и райони, в които се разчита да се развиват туризъм и селско стопанство, едва ли биха могли да ги съвместят с добива на шистов газ [5].

За мащабен добив на шистов газ е прилагана успешно само една технология известна под името „хидравлично разбиване“. Елементите на използваната

технология, които могат да съдържат рискове за увреждане на околната среда са следните:

➤ **Изграждане на наземна инфраструктура, която съпътства проучването;**

Технологията предполага изграждане на наземна инфраструктура за всяка отделна сонда – пътища, сондажна площадка и свързаните с нея резервоари за вода, резервоари-утаители за отработените води и съоръжения за пречистването им, съоръжения за улавяне на газа и неговото пренасяне. Възможните отрицателни въздействия, като пряко унищожаване на площи на природни местообитания може да се минимизира, като се прилагат избягващи, смекчаващи и компенсирани мерки за свеждане на въздействието от проучвателните работи до приемливи нива, при стриктно спазване на технологичната дисциплина.

➤ **Преминаване на сондажа през водоносни хоризонти;**

Този риск зависи от разстоянието между водоносния хоризонт и местата на взривяване в хоризонталните сондажи, от силата и броя на взривовете, от скоковете в налягането и тяхната продължителност, от геологичния характер на пластовете, през които преминава сондажа.

➤ **Използване на химически вещества за повишаване степента на извличане на газа;**

Използваните като основни детергенти и помощни химични вещества са широкоизползвани в промишлеността и бита. Работните концентрации са ниски. Основната част от тях (50-70%) в процеса на добива подлежат на улавяне и пречистване. Останалата част от тях остава в шистовите слоеве и след закриване на находището. Използваните вещества за подобряване на извличането на газа са над 200, като със сигурност сред тях има и секретни (необявени) експериментални добавки. Съставките зависят от състава на шистите и това само по себе си е предпоставка за експериментиране при разработка на нови находища.

➤ **Използване на големи количества вода за производствени нужди;**

Количествата на водата зависят от обема на проучвателните работи.

➤ **Създаване на предпоставки за нежелателни явления като дрениране на подпочвени води и предизвикване на локални трусове/земетресения, като следствие от проучвателните дейности;**

Съществува възможност при нарушаване целостта на сондажа да се достигне до замърсяване на подпочвените води както с реагентите от технологичния процес, така и с газовата смес от находището. Взривяванията в шистите с цел мобилизиране на включения в тях газ са подземни, на голяма

дълбочина, над 3000 м, с определена мощност, силно ограничени по време. Поради отдалечеността на взривовете от земната повърхност, вероятно те не биха довели до безпокойство на повърхността на терена [5].

Всички рискове, свързани с проучванията за търсене на находища от шистов газ и оценка на техните запаси се отнасят и за етапа на експлоатация. В допълнение на тях обаче, трябва да се отчете фактът, че технологията за добив на шистов газ предполага наличието на голям брой сондажи, защото всеки сондаж има обхват само в района, покрит от хоризонталните пробиви (след достигане на хоризонта на находището вертикалното сондиране променя посоката и прокарва хоризонтални тръби, в които чрез контролирани взривове стените на сондажния отвор и прилежащите газоносни шисти се пропукват). В пукнатините се впръсква под налягане вода с реагенти, а след това се изпомпва отделеният газ. При голям брой сондажи вероятността от аварии нараства пропорционално на броя на сондите. При природни бедствия, земетресения, които могат да доведат до разместване на пластове и разкъсване на сондажите в района с подложено на активна експлоатация находище, щетите биха могли да достигнат размерите на екологична катастрофа [5].

5. Заключение

Икономическият потенциал на една страна, развитието и благосъстоянието на настоящето общество и бъдещите поколения зависят до голяма степен от минерално – суровинната база, мащабите на добив и преработка на полезните изкопаеми.

Технологиите и обществото трябва да се развиват, за да се достигне до нови икономически разумни алтернативи за осигуряване на равнопоставеност между сегашните и бъдещите поколения по отношение на невъзобновяемите природни ресурси. Добивът на шистов газ е само една от перспективите за насърчаване на ресурсната ефективност като важен елемент за постигане на социално и икономическо развитие в контекста на ограничен достъп до ресурси и силна зависимост от вноса на суровини. Безопасността на технологията, както и риска при проучаването и добива на шистов газ, тепърва предстои да бъдат оценени въз основа на открит, двустранен, разумен диалог, основан на научни и инженерни факти.

Устойчивото използване на суровините, което включва устойчиво производство и потребление, е важно условие за дългосрочен просперитет, както в рамките на Европейския съюз, така и в световен мащаб.

Литература

[1] Р. Доков, С. Симов, М. Желязкова-Панайотова, Г. Димов, М. Стайков, Хр. Стойков, Списание на БГД, год. XLVIII, том 1, 1987, Състояние и насоки за

развитието на минерално-суровинната база и геологпроучвателната дейност в НР България.

[2] <http://forthenature.org>

[3] <http://www.mi.government.bg/> Проект на Национална стратегия за развитие на минната индустрия до 2030 г.

[4] <http://www.chevron.bg>

[5] Становище на Института по биоразнообразие и екосистемни изследвания при БАН (ИБЕИ - БАН) относно Оценка на риска при проучване и добив на шистов газ. Становището е прието от НС на ИБЕИ на 19.07.2011 г.

НЕЛИНЕЙНИ СТАТИСТИЧЕСКИ МОДЕЛИ ЗА ИЗХОДНИТЕ ПАРАМЕТРИ НА CuBr ЛАЗЕР

Николай Денев¹ и Илийчо Илиев²

¹ Департамент по приложна физика, Технически университет-София
e-mail: ndenevtph@dir.bg

² Катедра „Математика, физика и химия”,
Технически университет -София –Филиал Пловдив, e-mail: iliev55@abv.bg

Резюме. На основата на голямо количество експериментални данни с методите на регресионния анализ са развити нелинейни модели от втора и трета степен за изходната лазерна мощност и ефективност за CuBr лазер. Направено е сравнение с известни експериментални данни, като е получено съвпадение в рамките на 4-6 %. Решени са частични задачи, свързани с прогнозиране и разработване на нови лазерни източници.

Ключови думи: статистически модел, регресионен анализ, CuBr лазер.

1. Увод

Лазерите с пари на медта и нейните съединения продължават да бъдат предмет на активни научни изследвания. Този тип лазери продължават да са най-мощният източник във видимата област ($\lambda = 510.6$ и 578.2 nm). Те намират широко приложение в различни области на медицината и медицинските изследвания, в индустрията за микрообработка на материали: пробиване, рязане, маркиране и гравирание. Широко се използват и за научни изследвания-за изотопно разделяне на различните химически елементи, във физико-химията, за напompване на други типове лазери. По тази причина те са предмет на определен интерес и са едни от 12-те най-комерсиални лазери в света. Произвеждат се в редица страни на света - България, Русия, САЩ, Китай, Англия и др.

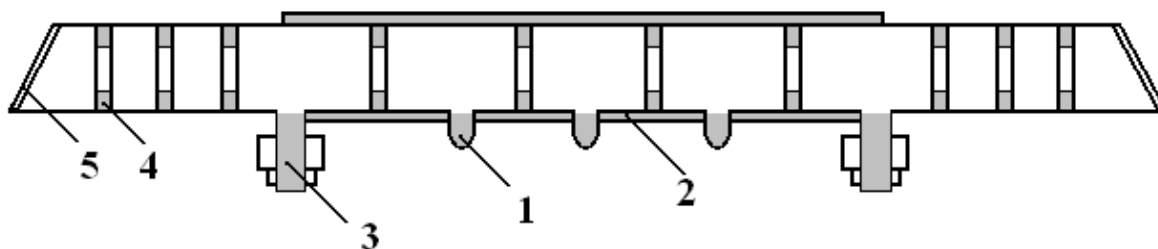
Конкретен обект на изследване е една от разновидностите на лазери с халогениди на медта - лазер с пари на меден бромид (CuBr), излъчващ лазерна генерация във видимия диапазон. Този лазер се смята за добре изучен, но работата по повишаване на изходната лазерна мощност продължава да бъде актуална, защото това би разширило още повече неговото приложение и комерсиална значимост. [1,2]

2. Обект на изследване

Обект на изследване е лазер с пари на меден бромид, който е оригинална българска разработка и е създаден в Лабораторията по лазери с метални пари,

Институт по физика на твърдото тяло „Академик Георги Наджаков”, БАН, София. Първият патент, свързан с този тип лазер е N. V. Sabotinov, et al., Bulg. patent No.:28674, 1975.

Принципната схема на лазерния източник е дадена на Фиг. 1.



Фиг. 1. Принципна схема на лазерна тръба:

1- резервоари с меден бромид, 2- топлинна изолация на активния обем, 3- медни електроди, 4-вътрешни диафрагми, 5- изходни прозорци

Лазерът с пари на меден бромид е сред 12-те лазерни източника, които имат широко приложение и са от комерсиален интерес.

Използвани са около 400 експериментални резултати.

Разгледани са общо 12 величини. От тях независимите са 10, а 2 са зависими. Описанието им е дадено в таблица. 1.

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

| Независими входни величини | Размерност |
|---|-------------|
| D – вътрешен диаметър на лазерната тръба | mm |
| dr – вътрешен диаметър на пръстените | mm |
| L – разстояние между електродите | cm |
| P_{in} – входна мощност | kW |
| P_{H2} – налягане на водорода | Torr |
| PL – специфична мощност на единица дължина | W/cm |
| P_{rf} – честота на повторение на импулсите | kHz |
| P_{Ne} – налягане на неона | Torr |
| C – еквивалентен капацитет на кондензаторната батерия | pF |
| Tr – температура на резервоара с меден бромид | $^{\circ}C$ |

| Зависими изходни величини | |
|---|---|
| P_{out} – изходна лазерна мощност (лазерна генерация) | W |
| Eff – лазерна ефективност | % |

3. Многомерен регресионен анализ

Регресионният анализ е статистически метод на изследване влиянието на една или няколко независими величини на една (или повече) независима променлива y . Тук отново ще отбележим, че независимите променливи се наричат още регресори или предиктори, а зависимите- критериални или отклик. Многомерният регресионен анализ (РА) има голямо приложение в различни области [3].

Целта на РА е да се определи степента на детерминираност на вариациите на зависимата променлива от предикторите, да се предсказват нови значения на зависимата променлива от зависимите и да се определи относителното влияние на отделните предиктори в поведението на зависимата променлива.

Необходимо е намиране на функционална зависимост от вида:

$$\hat{y} = f(x_1, x_2, \dots, x_p; a_1, a_2, \dots, a_m) \quad (1)$$

която изразява влиянието на отделните независими променливи върху зависимата. Уравнението (1) се нарича регресионен модел или уравнение на регресия на y относно x , а са коефициентите (параметрите) на регресия, подлежащи на определяне.

Регресионното уравнение може да бъде линейно или нелинейно. За изчисляване на коефициентите на линейна регресия се използват голям брой методи, които са модификации на метода на най-малките квадрати. Ще споменем без да описваме подробно следните методи, използвани в този труд: линейна регресия, стъпкова регресия, обратно стъпкова регресия, регресия с главните елементи. Многомерният регресионен анализ се прилага в различни варианти, от които в случая ще използваме Регресия с главните елементи (РГЕ) - (Principal Component Analysis), [4]. Тази регресия може да се използва, когато изходните променливи са мултиколинеарни.

3.1. Нелинеен регресионен модел от втора степен за изходната лазерна мощност P_{out} [5].

Нелинейното уравнение ще търсим от вида:

$$P_{out} = a_0 + \sum_{i=0}^{10} \sum_{j=i+1}^{10} a_{ij} Y_{ij} Y_{ij} \quad (2)$$

Уравнение (2) обхваща всички комбинации от първа и втора степен на 10те независими величини, които са 66 на брой. За определяне на неизвестните коефициенти задаваме в диалоговия прозорец на програмният продукт SPSS:

Analyze/ Regression/ Linear/Backward. В този случай се проверява статистическата надеждност на всяко едно от събираемите в уравнение (2), като ненадеждните автоматически се отхвърлят. Получените резултати са показани в Таблица 2. Коефициентите на регресионното уравнение са получени след извършването на 21 стъпки.

Таблица 2. Значения на нестандартизирани и стандартизирани коефициенти за P_{out} , проведен с метода на обратната (Backward) регресия.

Coefficients^a

| Model | | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. |
|-------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|
| | | B | Std. Error | Beta | | |
| 21 | (Constant) | -53.017 | 6.877 | | -7.710 | .000 |
| | D_PH2 | -.877 | .218 | -.344 | -4.016 | .000 |
| | dr_PL | -.042 | .014 | -.195 | -2.947 | .003 |
| | dr_PH2 | 2.066 | .318 | .860 | 6.490 | .000 |
| | L_PL | .163 | .012 | 2.866 | 13.184 | .000 |
| | L_PRF | -.001 | .000 | -.025 | -2.375 | .018 |
| | L_C | -.180 | .037 | -.568 | -4.922 | .000 |
| | Pin_PL | -2.464 | .540 | -.945 | -4.565 | .000 |
| | Pin_PH2 | -36.405 | 10.558 | -.988 | -3.448 | .001 |
| | Pin_C | -7.682 | 2.202 | -.485 | -3.488 | .001 |
| | PL_PH2 | 5.851 | .773 | .427 | 7.566 | .000 |
| | C_Tr | .043 | .003 | .318 | 12.555 | .000 |
| | Pin_2 | 2.161 | .989 | .424 | 2.186 | .029 |
| | PH2_2 | -48.181 | 11.069 | -.216 | -4.353 | .000 |

a. Dependent Variable: P_{out}

На основа на получените таблични резултати можем да формулираме следните нестандартизирано и стандартизирано уравнения:

$$\begin{aligned} \hat{P}_{out} = & -53,017 - 0,877.D.PH2 - 0,042.dr.PL + 2,066.dr.PH2 + \\ & 0,163.L.PL - 0,001.L.PRF - 0,180.L.C - 2,464.Pin.PL - \\ & 36,405.Pin.PH2 - 7,682.Pin.C + 5,851.PL.PH2 + 0,043.C.Tr \\ & + 2,161.Pin^2 - 48,181.PH2^2 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \bar{P}_{out} = & -0,344.D.PH2 - 0,195.dr.PL + 0,860.dr.PH2 + \\ & 2,866.L.PL - 0,025.L.PRF - 0,568.L.C - 0,945.Pin.PL - \\ & 0,988.Pin.PH2 - 0,485.Pin.C + 0,427.PL.PH2 + 0,318.C.Tr \\ & + 0,424.Pin^2 - 0,216.PH2^2 \end{aligned} \quad (4)$$

В нестандартизираното уравнение (3) участват 9 независими величини: D, dr, L, Pin, PL, PH2, PRF, C и Tr. Не участва само величината P_{ne} .

Тук е мястото да отбележим отново, че коефициентите в стандартизираното уравнение (4) показват относителното влияние на всяка двойка физични величини на P_{out} . Знакът пред тях показва посоката на влияние върху P_{out} - за нейното намаляване или увеличаване.

На следващата таблица 3. са показани част от направените компютърни симулации на основата на уравнение (3) за известни експериментални резултати. Извършено е сравнение със съответните експериментални данни в областта на високите стойности на P_{out} .

Средната относителна грешка е 5.74%, която е най-добрата от всички развити модели да този момент.

Таблица 3. Сравнение на стойностите на изходната лазерна мощност P_{out} , получени с уравнение (3) с тези от експеримента.

| P_{out}, W | P_{outPre}, W | $\delta, \%$ |
|--------------|-----------------|--------------|
| 108 | 112.5 | 4.2 |
| 110 | 105.1 | 4.4 |
| 112 | 105.0 | 6.3 |
| 112 | 105.1 | 6.2 |
| 112 | 104.8 | 6.4 |
| 118 | 112.4 | 4.7 |
| 120 | 112.3 | 6.4 |
| 120 | 112.1 | 6.6 |
| 120 | 112.2 | 6.5 |

В следващата таблица 4 са показани резултати, отнасящи се за нови лазерни източници. В нея е отчетено сложното нелинейно взаимодействие на независимите величини в уравнение (3). Оказва се, че за да нараства зависимата величина P_{out} , е необходимо величините D и d_r да не се променят, величините L , P_{in} и C трябва да нарастват, а PH_2 и PRF трябва да намаляват. Величината T_r е оставена без промяна.

Таблица 4. Предсказани стойности на „предполагам експеримент“ с уравнение (3)

| $D,$ mm | $d_r,$ mm | $L,$ cm | $P_{in},$ kW | $PL,$ W/cm | $PH_2,$ Torr | $PRF,$ kHz | $P_{ne},$ Torr | $C,$ pF | $T_r,$ K | $P_{outPre},$ W |
|------------|--------------|------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-------------------|------------|-------------|--------------------|
| 58 | 58 | 205 | 5.1 | 12.43 | 0.55 | 17.0 | 20 | 1.31 | 490 | 117.9 |
| 58 | 58 | 210 | 5.2 | 12.38 | 0.54 | 16.5 | 20 | 1.32 | 490 | 122.2 |
| 58 | 58 | 215 | 5.3 | 12.32 | 0.53 | 16.0 | 20 | 1.33 | 490 | 126.5 |
| 58 | 58 | 220 | 5.4 | 12.27 | 0.52 | 15.5 | 20 | 1.34 | 490 | 131.0 |
| 58 | 58 | 225 | 5.5 | 12.22 | 0.51 | 15.0 | 20 | 1.35 | 490 | 135.5 |
| 58 | 58 | 230 | 5.6 | 12.17 | 0.50 | 14.5 | 20 | 1.36 | 490 | 140.1 |
| 58 | 58 | 235 | 5.7 | 12.12 | 0.49 | 14.0 | 20 | 1.37 | 490 | 144.8 |

3.2. Частичен нелинеен регресионен модел от трета степен за лазерната ефективност Fff [5].

Регресионните уравнения за лазерната ефективност ще търсим във вида:

$$\begin{aligned} \hat{Eff} = & \text{дясна част ур.(3)} + a_{66}.C.PRF.Pin + \\ & a_{67}.Pne.PRF.Pin + a_{68}.Pin.C.dr + a_{69}.PL.PRF.PH2 \\ & + a_{70}.D.PRF.D + a_{71}.C.PL.PRF + a_{72}.D.PRF.PH2 + a_{73}.D^3 \\ & + a_{74}.L^3 + a_{75}.dr^3 + a_{76}.Pin^3 + a_{77}.PL^3 + a_{78}.PRF^3 + a_{79}.Pne^3 \\ & + a_{80}.PH2^3 + a_{81}.C^3 + a_{82}.Tr^3 \end{aligned} \quad (5)$$

За определяне на статистически значимите коефициенти се прилага постъпкова регресия (Stepwise). Получените резултати са показани с таблица 5.

Таблица 5. Стойности на статистически значимите коефициенти за модел от трета степен за Eff.

| | | Coefficients ^a | | | | |
|-------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|---------|------|
| Model | | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. |
| | | B | Std. Error | Beta | | |
| 19 | (Constant) | .934 | .263 | | 3.555 | .000 |
| | dr_PH2 | .075 | .006 | 1.257 | 12.827 | .000 |
| | Pin_C_dr | -.005 | .000 | -.881 | -13.402 | .000 |
| | PH2_3 | -3.122 | .397 | -.357 | -7.859 | .000 |
| | Pin | 1.518 | .194 | 2.150 | 7.823 | .000 |
| | PH2_Pne | -.018 | .004 | -.121 | -4.069 | .000 |
| | D_PL | -.001 | .000 | -.192 | -6.922 | .000 |
| | C_PL_PRF | .005 | .001 | 1.998 | 5.557 | .000 |
| | PRF_2 | -9.9E-005 | .000 | -.407 | -5.016 | .000 |
| | Pin_2 | -.064 | .019 | -.507 | -3.423 | .001 |
| | PRF_C | -.049 | .011 | -1.582 | -4.579 | .000 |
| | PL | -.128 | .022 | -.367 | -5.864 | .000 |
| | PL_PH2 | .129 | .029 | .380 | 4.389 | .000 |
| | Pin_PH2 | -.966 | .297 | -1.058 | -3.255 | .001 |

a. Dependent Variable: Eff

Полученото регресионно уравнение от трета степен за лазерната ефективност има следния вид:

$$\begin{aligned} \hat{Eff} = & 0,934 + 0,075dr.PH2 - 0,005Pin.C.dr - 3.122PH2^3 + 1.518.Pin \\ & - 0,018.PH2.Pne - 0,001.D.PL + 0,005.C.PL.PRF \\ & - 9,9.10^{-5}.PRF^2 - 0,064.Pin^2 - 0,049.PRF.C \\ & - 0.128.PL + 0,129.PL.PH2 - 0,966.Pin.PH2 \end{aligned} \quad (6)$$

Съответното стандартизирано уравнение е:

$$\begin{aligned} \bar{Eff} = & 1,257.dr.PH2 - 0,881.Pin.C.dr - 0,357.PH2^3 + 2,150.Pin \\ & - 0,121.PH2.Pne - 0,192.D.PL + 1.998.C.PL.PRF \\ & - 0,407.PRF^2 - 0,507.Pin^2 - 1.582.PRF.C \\ & - 0.367.PL + 0,380.PL.PH2 - 1.058.Pin.PH2 \end{aligned} \quad (7)$$

Извършена е проверка за адекватност на развития регресионен модел. За тази цел с уравнение (6) са направени изчисления за лазерната ефективност за известни експериментални резултати. В областта на лазерите с висока изходна мощност част от получените резултати са показани в таблица 6. В първата колона са показани експериментални стойности на изходната лазерна мощност P_{out} . Във втората- съответните стойности на подаваната електрическа мощност P_{in} . В третата колона са изчислените стойности на лазерната ефективност по формулата $Eff = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100, \%$. В колона 4 са показани прогнозните резултати на лазерната ефективност съгласно уравнение (6), а в последната 5 колона – относителната грешка в проценти.

Таблица 6. Сравнение на лазерната ефективност съгласно експериментални данни и уравнение (6).

| | P_{out}, W | P_{in}, kW | Eff, % | EffPred, % | Delta, % |
|----|--------------|--------------|----------|------------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 101 | 4.5 | 2.24 | 2.37 | 5.40 |
| 2 | 102 | 5.0 | 2.04 | 1.95 | 4.51 |
| 3 | 102 | 3.5 | 2.91 | 2.76 | 5.16 |
| 4 | 104 | 4.0 | 2.60 | 2.41 | 7.29 |
| 5 | 108 | 5.0 | 2.16 | 2.28 | 5.75 |
| 6 | 110 | 4.5 | 2.44 | 2.37 | 2.93 |
| 7 | 112 | 4.5 | 2.49 | 2.38 | 4.24 |
| 8 | 112 | 4.5 | 2.49 | 2.39 | 3.97 |
| 9 | 118 | 5.0 | 2.36 | 2.30 | 2.55 |
| 10 | 120 | 5.0 | 2.40 | 2.31 | 3.86 |
| 11 | 120 | 5.0 | 2.40 | 2.34 | 2.60 |
| 12 | 120 | 5.0 | 2.40 | 2.32 | 3.22 |

Средната относителна грешка е 4.29%. Статистическите показатели са следните: $R=0.974$, $R^2=0.949$, Std. Error of the Estimate = 0.205

Следващата стъпка е прогнозиране на ново поведение на величината лазерна ефективност за данни, различни от експерименталните, на основа на уравнение

(6). Част от получените резултати са показани в таблица 7. Фиксирани са геометричните размери D , dr и L . От направените компютърни симулации следва, че за да расте Eff е необходимо величините P_{in} , PL , PH_2 , P_{ne} и C да намаляват.

Таблица 7. Прогнозиране на лазерната ефективност за нови лазерни източници.

| D , mm | dr , mm | L , cm | P_{in} , kW | PL W/cm | PH_2 , Torr | PRF , kHz | P_{ne} , Torr | C , pF | Tr , $^{\circ}C$ | $EffPr$ e, % |
|-------------|--------------|-------------|------------------|--------------|------------------|----------------|--------------------|-------------|-----------------------|--------------------|
| 58 | 58 | 200 | 5.0 | 12.5 | 0.6 | 17.5 | 20 | 1.30 | 490 | 2.40 |
| 58 | 58 | 200 | 4.9 | 12.25 | 0.6 | 17.5 | 20 | 1.30 | 490 | 2.41 |
| 58 | 58 | 200 | 4.9 | 12.25 | 0.5 | 17.5 | 19 | 1.30 | 490 | 2.61 |
| 58 | 58 | 200 | 4.8 | 12.00 | 0.5 | 18 | 19 | 1.25 | 490 | 2.66 |
| 58 | 58 | 200 | 4.8 | 12.00 | 0.45 | 18 | 18 | 1.25 | 490 | 2.73 |
| 58 | 58 | 200 | 4.7 | 11.75 | 0.45 | 19 | 18 | 1.20 | 490 | 2.79 |
| 58 | 58 | 200 | 4.7 | 11.75 | 0.4 | 19 | 18 | 1.20 | 490 | 2.82 |

4. Анализ на получените резултати

А) Получените регресионни уравнения силно зависят от статистическата извадка. Малка промяна на първоначалните величини променя съществено съответното регресионно уравнение.

Б) Търсенето на нелинейно решение на поставената задача показва, че всъщност е възможно съществуването на повече от едно решение. Всеки един от развитите модели може да описва поведението на лазерния източник при определени условия.

В) Изследване на поведението на изходната лазерна мощност с развитите нелинейни модели показва силна зависимост на P_{out} и Eff от първоначалните данни. Малки и несъществени промени на няколко независими величини (в рамките на грешката на измерителните прибори) поради тяхното сложно нелинейно взаимодействие по между им, могат да доведат до значителни и често нежелани последствия в поведението на лазерния източник.

Г) Развитите нелинейни модели показват най-добри резултати, както в статистически смисъл, така и като точност при отразяване на известни експериментални данни. Това предполага, че в същност процесите в лазерната тръба са само нелинейни и всяка независима величина влияе на изходната лазерна мощност и лазерната ефективност само със сложното нелинейно взаимодействие с други величини.

5. Заключение

Развити са нелинейни статистически модели за лазерната мощност и ефективност за CuBr лазер. Направени са сравнения на получените резултати с известни експериментални данни. Извършени са числени експерименти с цел подобряване на съществуващи и разработване на нови лазерни източници. Проведен е анализ на получените резултати.

Литература

[1] N.V. Sabotinov, Metal vapor lasers, in Gas Lasers, eds M.Endo, R.F Walter, CRC Press, Boca Ration, 2006.

[2] C.E. Webb, Handbook of Laser Technology and Applications, vol.1-3, Institute of Physics Publishing, 2004

[3] A. C. Rencher, Methods of multivariate analysis, 2 ed., John Wiley, New York, 2002.

[4] Massy, W. F., Principal components regression in exploratory statistical research, J American statistical Association 60, pp. 234-246, 1965.

[5] Николай Денев. Статистическо изследване на изходните характеристики на CuBr лазер. Автореферат на дисертационен труд за придобиване на образователната и научна степен „Доктор”. Издателство „Марин Дринов”, БАН, 2013, 37 с.

Специалност „Инженерна физика“ – разработване на нов лабораторен практикум за „Физика 1“

Елена Халова и Невена Кожухарова,

Департамент по приложна физика, ТУ-София, бул. „Кл. Охридски“ №8

e-mails: ehalova@tu-sofia.bg , nkojuharova@tu-sofia.bg

Резюме: През настоящата учебна година започна обучението на студенти в новата специалност „Инженерна физика“, създадена към ТУ-София. При предвидени значително повече часове в програмата по физика в сравнение с общия бакалавърски курс, бе необходимо да се подготви и нова програма за „Физика – 1 част“. В настоящата работа е представен подготвения нов лабораторен практикум, съобразен с по-обширното изучаване на темите от разделите механика, молекулна физика и термодинамика и електростатика и електромагнетизъм, които са същността на тематиката в курса.

Ключови думи: лабораторен практикум, механика, молекулна физика и термодинамика, електростатика, електромагнетизъм.

I. Увод

Учебната програма на курса по „Физика – 1 част“ за специалността „Инженерна физика“ е предвидена за 45 часа лекции и 30 часа лабораторни упражнения при следното съотношение:

| Раздел | Лекции | ЛУ |
|----------------------------------|----------|---------|
| Механика | 16 (35%) | 6 (22%) |
| Молекулна физика и термодинамика | 9 (20%) | 8 (26%) |
| Електростатика | 11 (25%) | 8 (26%) |
| Електромагнетизъм | 9 (20%) | 8 (26%) |

В скобите е дадено процентното тегло на материала от съответния раздел. В най-добрия случай двете числа трябва да са приблизително равни. Това не е напълно постигнато в практикума поради две основни причини, свързани с недостатъчното финансиране за изцяло нова лаборатория и практическата невъзможност да се подготвят лабораторни упражнения за представяне на всяка от темите от лекционния курс.

В настоящия доклад са представени като примери по едно упражнение от всеки раздел в таблицата. За всяко от упражненията са представени целите и принципа, а след това и задачите за изпълнение. Те са подредени в три цикъла, което е обусловено от необходимостта да се използват измерителните уреди през всеки един от циклите.

Групата студенти е разделена на малки подгрупи, което от една страна се изисква от спецификата на упражненията, тъй като част от задачите трябва да

се изпълняват от повече от един студент, но от друга страна – способстват за по-добра индивидуална работа с всеки един от тях.

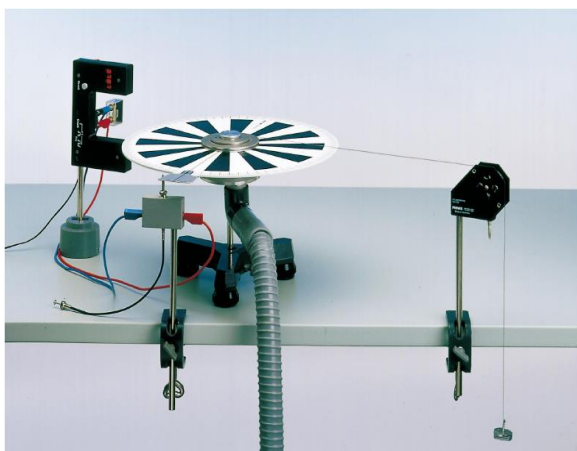
Първото занятие традиционно включва темата за теория на грешките.

По време на целия курс се обръща вниманието на студентите върху работата със съвременни измервателни уреди, както и правилата за безопасна работа с уреди, работещи при високо напрежение, газове при повишено налягане. Запознават се студентите с построяване и разчитане на графики и обработка на резултати от измервания.

В настоящия доклад като примери са включени следните упражнения от съответните раздели.

Раздел Механика

Момент на сила и момент на импулса



Фиг. 1. Момент на сила и момент на импулса

Измерват се ъгълът на завъртане и ъгловата скорост на тяло, което се върти без триене и върху което действа въртящ момент, като функция на времето. Ъгловото ускорение се определя като функция на момента на силата.

Опите са свързани с определяне на:

1. ъгъла на завъртане като функция на времето.
2. ъгловата скорост като функция на времето.
3. ъгловото ускорение като функция на действащата сила.
4. ъгловото ускорение като функция на момента на силата.

Раздел Молекулна физика и термодинамика

Разпределение на Максвел по скорости.



Фиг. 2. Разпределение на Максвел на частиците по скорости.

С помощта на механичен моделен апарат се демонстрират изводите на кинетичната теория на газовете. Симулира се движение на газови молекули и се определя скоростта им чрез регистриране на достигнатото разстояние при излитане на топчета през отвор. Топчетата изпълняват ролята на газовите молекули. Експерименталното разпределение на топчетата по скоростите се сравнява с теоретичното уравнение на Максвел-Болцман.

Изпълняват се следните задачи:

1. Измерване на разпределението на

стъклените топчета по скорости.

2. Сравняване на резултата с теоретичното поведение, описано от разпределението на Максвел-Болцман.

Механичен еквивалент на топлината



Фиг. 3. *Експериментален модел: Механичен еквивалент на топлината.*

При този експеримент, метално тяло се върти и се загрява вследствие на триене в опъната лента от синтетичен материал.

Механичният еквивалент на топлината се получава чрез определяне на механичната работа и увеличаването на топлинната енергия, получена от повишаването на температурата. Ако приемем, че съществува еквивалентност на механична работа и топлина, може се определи специфичния топлинен капацитет на материалите.

Експерименталните задачи за изпълнение са:

1. Определяне на механичния еквивалент на топлината.
2. Определяне на специфичния топлинен капацитет на алуминий и месинг.

Раздел Електростатика

Закон на Кулон



Фиг. 4. *Експериментална установка за измерване на електростатичната сила на привличане, действаща върху сфера.*

Малка електрически заредена сфера е разположена на известно разстояние пред заземена метална плоча. Повърхнинният заряд върху плочата и заредената сфера пораждат електрично поле поради електростатичната индукция. Електростатичната сила, действаща върху сферата може да бъде измерена с чувствителен торзионен динамометър.

Задачите за изпълнение са следните:

1. Доказване на връзката между действащата сила и заряда върху сферата.

2. Доказване на връзката между сила и разстояние между сферата и металната плоча.
3. Определяне на диелектричната константа.

Раздел Електромагнетизъм

Сила, действаща върху проводник по който протича ток



Фиг. 5. Сила, действаща върху проводник, по който протича ток.

Определяне с помощта на везна на силата, действаща на проводников контур, по който протича ток, поставен в хомогенно магнитно поле (сила на Лоренц). Проводникови контури с различна дължина са окачени на везна и се определя силата на Лоренц като функция от тока и магнитната индукция, изменяща се чрез промяна на тока през бобина. Хомогенното магнитно поле се поражда от електромагнит.

Задачите са:

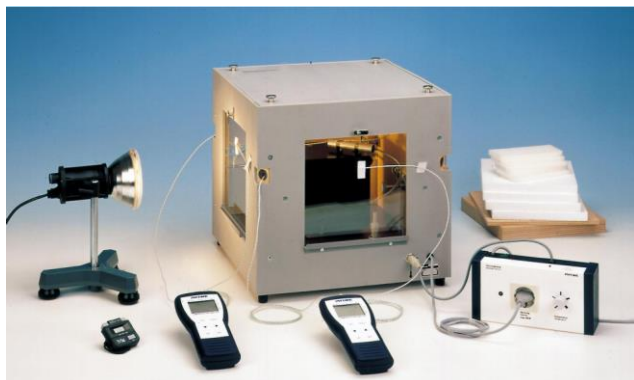
1. Определяне посоката на силата като функция от тока през контура и

посоката на магнитното поле

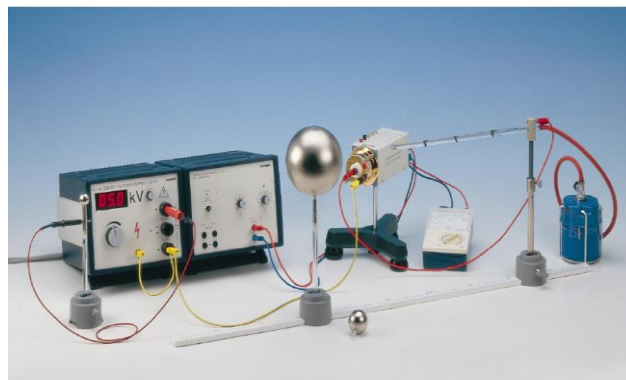
2. Измерване на силата като функция на тока през проводникови контури с различни размери при постоянна магнитна индукция. Изчисляване на магнитна индукция.

3. Измерване на силата като функция на тока през бобините на електромагнита. В областта между бобините се приема, че магнитната индукция с достатъчна точност е пропорционална на тока през тях.

С цел за разширяване и обогатяване на лабораторния практикум по физика за специалността „Инженерна физика“ е предвидено пускането в действие на нови лабораторни упражнения през следващата учебна година. Акцентирано е върху липсващи теми в практикума, така че той да съответства още по-добре на основните теми в лекционния курс. Някои от предвидените нови лабораторни упражнения са: Барометрична формула; Закон на Био-Савар. Магнитно поле на прав проводник; Теплопроводност и топлинна изолация; Интензитет и потенциал на електрично поле на метални сфери.



Топлопроводност и топлоизолация



Интензитет и потенциал на електрично поле на метални сфери



Барометрична формула



Магнитно поле на прави проводници

В заключение следва да се отбележи, че е разработен е нов лабораторен практикум с разширен хорариум по Обща физика I част за специалност "Инженерна физика" в ТУ-София. Предвидени са допълнителни лабораторни упражнения постигане на оптимално съотношение по включените в програмата раздели.

Свръхтънки слоеве, получени чрез йонна имплантация

Сашка Александрова и Елена Халова

Департамент по приложна физика, Технически Университет – София,
бул. „Кл. Охридски” 8, 1000 София
salex@tu-sofia.bg, ehalova@tu-sofia.bg

Резюме. В настоящия доклад са представени възможностите, които предлага йонната имплантация за модификация на повърхности и получаване на свръхтънки слоеве за технологични приложения в модерните електронни и оптоелектронни прибори.

Ключови думи: имплантация, SiO_xN_y , тънки слоеве

1. УВОД

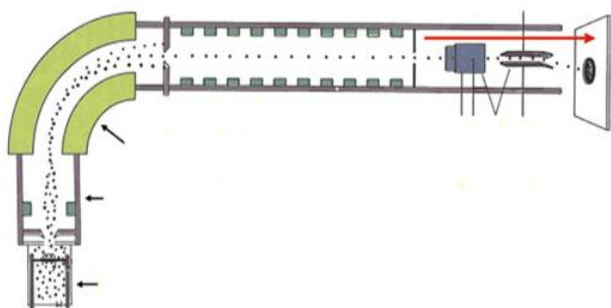
Тънки и свръхтънки слоеве от различни материали се използват в полупроводниковата електроника още от средата на миналия век. В модерното развитие на твърдотелните технологии в посока на получаване и използване на наноразмерни елементи и структури, най-вече за постигане на по-високо бързодействие на приборите, свръхтънките слоеве играят основна роля. Структури, включващи свръхтънки слоеве, се превръщат в ключов елемент при разработване и проектиране на нови наноразмерни прибори.

Сред многобройните области на приложение на свръхтънките слоеве са микроелектрониката, оптиката, фотониката, медицината, сензориката, защитни покрития за произведения на изкуството и др. В близко бъдеще се очаква развитие на конвенционалната микроелектрониката чрез използване на нанотехнологи, както и постепенно заместване с наноелектроника. Интересни направления са например магнитоелектрониката и едноелектрониката. За изграждане на съответните елементи са необходими наноразмерни структури, които включват съответно многослойни структури от редуващи се свръхтънки метални и диелектрични слоеве или метални области или полупроводникови кластери в тънки SiO_2 слоеве за пренос на единични електрони. Разработването на подобни структури е важно и за приложения във фотониката например за емитиращи материали и за елементи на рентгеновата оптика и литография.

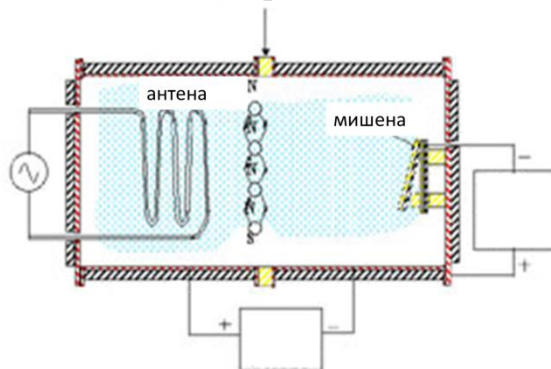
Получаването на такива слоеве и наноструктури е свързано с решаване на редица проблеми относно възможностите за получаване на елементи с контролируеми на нано ниво свойства по отношение на техния състав, структура и пространствена архитектура в общия строеж на прибора.

2. Експериментални методи

Една уникална възможност предлага йонната имплантация, технология, известна и разработена за целите на микроелектрониката в процеса на нейното развитие. Тази технология предлага контролируемо изграждане на триразмерни структури и обща матрица, най-често полупроводникова подложка чрез вариране на имплантационната доза и енергия. Схема на конвенционален имплантатор е дадена на фиг. 1. Един от основните недостатъци е неизбежното внасяне на така наречените имплантационни дефекти, като ваканции (липсващи атоми във възел на кристалната решетка), атоми в междувъзлие (както от имплантираните атоми, така и от матрицата), дълбоко имплантирани атоми (каналирание). По тази причина през годините са положени значителни усилия и средства за изследване на природата на тези дефекти, което да даде възможност за контрол върху образуването им и възможностите за елиминиране на нежеланите последствия. Търсени са и възможности за разработване на подходящи имплантационни технологии за намаляването им, както по време на самата имплантация, така и в един следимплантационен процес.



Фиг. 1. Конвенционален имплантатор



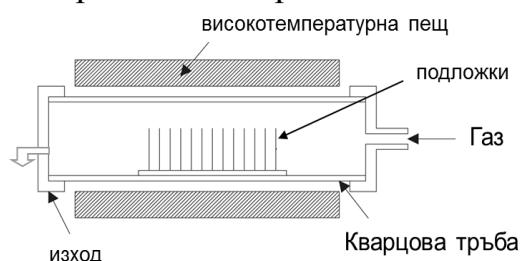
Фиг. 2. Плазмен имплантатор

Така например, имплантация със сравнително ниска енергия на йоните означава и по-ниски нива на формиране на дефекти в матрицата. Работейки в това направление, изследователите разработиха така наречената „имерсионна йонна плазмена“ имплантация (фиг. 2), при която стандартният имплантационен високоенергетичен сноп е заменен с използване на плазмена среда, в която йоните имат по-ниски енергии. Мишената е „потопена“ в плазмена среда, съдържаща йоните, които да се имплантират. Този процес има и предимството за създаване на свръхтънки слоеве, разположени плитко под повърхността на подложката, които са от особено значение в електронната технология на прибори с малки размери. Всеки технологичен процес обаче е свързан и с недостатъци. Тук това са отново възможностите за контрол, тъй като например в плазмата има както еднократно йонизирани атоми, така и многократно йонизирани, молекулни йони, както и проблеми, свързани с ограничаване на имплантацията по площта на матрицата, тъй като няма

концентриран имплантационен сноп. Всички тези особености следва да се отчитат при използване на имерсионната имплантация.

3. Резултати и дискусия

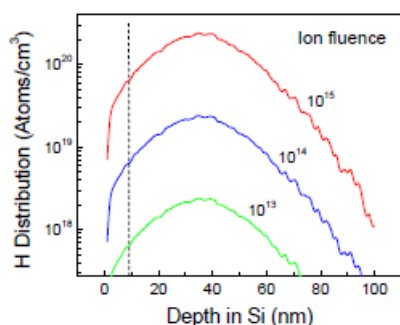
В настоящия параграф са представени резултати от изследвания на модификация на повърхности и синтез на свръхтънки слоеве посредством имерсионна плазмена йонна имплантация. Синтез или термична обработка за отстраняване на радиационни дефекти се прилага в стандартна пещ (фиг. 3.)



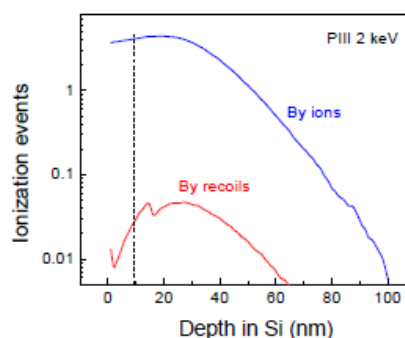
Фиг. 3. Синтез или отгряване в O_2 - или N_2 среда

За модификация на Si е използвана имплантация на водородни йони H^+ . Тази процедура е приложена като подготвителна стъпка преди окисление на Si повърхност и преди формиране на свръхтънък SiO_2 слой. При обработка във водородна високочестотна плазма се предполага, че H-плазма ще насити с H приповърхностната област и ще позволи окисление при понижени температури с

достатъчна технологично-релевантна скорост. Имплантацията на H^+ позволява контролирано внасяне на водород в определени области, докато използването на термични операции води до засилен мигриращ водород. Имплантацията на леки H^+ йони не би следвало да причини сериозни повреди в решетката на Si. Въпреки това, ефектите на йонизация могат да бъдат значителни. За изясняване на този въпрос преди имплантационния процес е проведено моделиране на профилите на имплантираните йони и на създадените от тях дефекти. Резултатите от SRIM моделирането показват висока концентрация на H в приповърхностната област на Si и йонизационни процеси в Si подложка, дължащи се на имерсионната йонна плазмена имплантация с H^+ (PIII с H^+). Съответните профили са представени на фиг. 4 и 5.



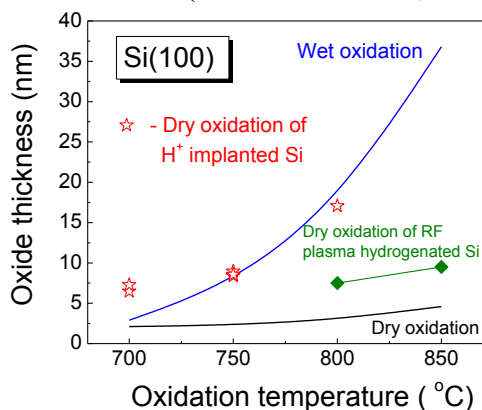
Фиг. 4. Профил на имплантираните йони



Фиг. 5. Профил на дефектите

При окисляване на имплантираната област на Si се очаква повишена скорост на окисление. Благодарение на имплантираните дефекти се улеснява дифузията на окисляващите частици. Наличието на H атоми в повърхностния слой на Si може също да води до повишаване на скоростта на окислителния процес.

Илюстрация на повишената скорост е дадена на фиг. 6. За оксиди, израснати върху имплантиран Si при определена температура на окисление, експерименталните точки се отнасят за различна доза имплантирани йони. На фигурата данните (отворени звездички) за скоростта на окисляване на имплантиран Si са сравнени със скоростта на окисляване на Si според модела на Deal-Grove (плътни линии) [1] в мокра и суха кислородна атмосфера.



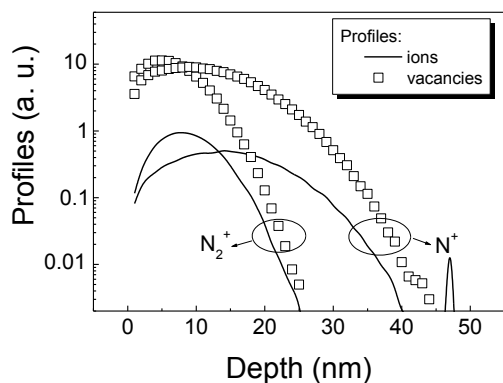
Фиг. 6. Сравнителни данни за скоростта на окисление. Време за окисление 30 min

[2], което също е показано на фиг. 6 (ромбове).

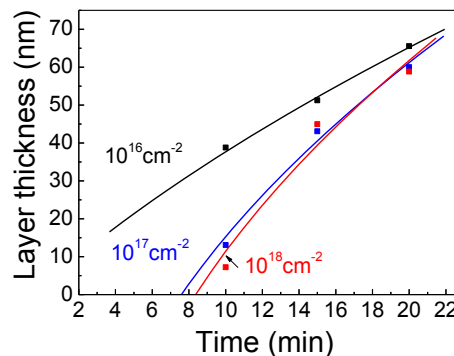
Тези резултати показват, че хидрогенирането чрез имерсионна йонна плазмена имплантация дава възможност за постигане на значително увеличение на скоростта на окисление при ниски температури (700°C) до стойности, характерни за мокро окисление.

Илюстрация на приложение на плазмена йонна имплантация за синтез на слоеве е чрез използване на азотни йони N⁺ с дози в диапазона от 10¹⁶ до 10¹⁸ cm⁻². С цел да се синтезират силициеви оксинитридни-SiO_xN_y слоеве, имплантираните Si подложки се окисляват в суха кислородна среда при температура 1050°C при различна продължителност.

Процесът на формиране на SiO_xN_y до голяма степен се определя от профила на имплантирания азот и на индуцираните дефекти, като ваканции и атоми в междувъзлия. Резултатите от моделирането на профилите за доза 10¹⁶ cm⁻² са представени на фиг. 7, като е взето под внимание наличието в плазмената среда на два вида йони N⁺ и N₂⁺. При формиране на SiO_xN_y ваканциите играят важна роля за улесняване на дифузията на окисляващите частици, както и наличните свободни за N и/или Si атоми места.



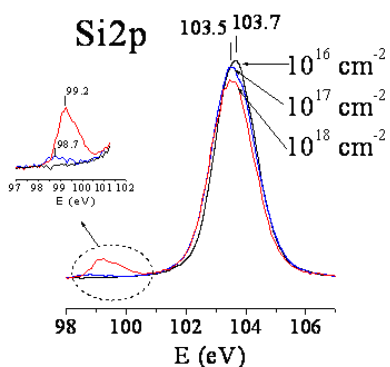
Фиг. 7. Профили на йоните и дефектите за N^+ и N_2^+ имплантиращи частици



Фиг. 8. Сравнителни данни за скоростта на окисление. Време за окисление 30 min.

Известно е, че включването на азот в силиций забавя кинетиката на окисление [3]. Тази тенденция се вижда добре на фиг. 8. За най-малките дози дебелината на получения слой е много близо до тази, получена при неимплантиран силиций. Това е индикация, че образуваният слой най-вероятно съдържа ниска концентрация на азот. С повишаване на дозата, скоростта на формиране на слоя намалява, както се очаква поради забавящото действие на азотните атоми. При увеличаване на дозата до 10^{18} cm^{-2} , скоростта на окисление силно се увеличава, което може да се обясни с генериране на допълнителни дефекти по повърхността Si по време на плазмената имплантация, които улесняват дифузията на кислорода и образуването на оксиден слой.

Поради сложната термодинамиката на Si-O-N система, която зависи от наличната концентрация на реагиращите атоми, кинетиката на включения азот в Si мрежа предполага образуването на SiO_xN_y слоеве с различно пространствено разпределение на N. Заедно с O-Si и Si-N връзки, е възможно и формиране на Si наночастици.



Фиг. 9. XPS спектри на $\text{Si}2p$ нива в слоеве, формиращи в Si, имплантиран с различна N^+ доза

Потвърждение за формиране на Si-Si клъстери се получава от анализа на спектрите XPS. На фиг. 9 е показан XPS спектър за $\text{Si}2p$ нива в слоеве, образувани в Si, имплантиран с различни дози N^+ . При увеличаване на дозата на N^+ до и над 10^{17} cm^{-2} , освен основния пик при около 103,5 eV, който обикновено се приписва на окислено състояние на Si, като $\text{Si}^{4+}(\text{SiO}_2)$, се появява допълнителен пик с по-ниска енергия на връзката 99,2 eV [4]. Увеличение на пика е показано на вложката на фиг. 9. Този пик може да се припише на елементарен Si в израснатия слой. Поради високата температура при отгряването, свободните Si атоми могат да се

групират в оксидната матрица, което води до образуване Si-Si кълъстери. Образуването на Si-Si кълъстери започва при доза 10^{17} cm^{-2} и нараства с увеличението ѝ до 10^{18} cm^{-2} . Този процес е подпомогнат от наличните N атоми.

4. Заключение

В заключение следва да се отбележи, че имерсионната йонна плазмена имплантация представлява ефективен метод за модификация на повърхности и синтез на свръхтънки слоеве. Хидрогениране на Si повърхност дава възможност за постигане на значително увеличение на скоростта на окисление при ниски температури. Модификацията на Si повърхност чрез имплантация на N^+ позволява получаване на слоеве наноструктурирани SiO_xN_y с вградени Si наночастици.

Литература

- [1] B. E Deal, A. S. Grove *J. Appl. Phys.* **36** (1965) 3770.
- [2] A. Szekeres, S. Alexandrova, P. Lytvyn, M. Kompitsas *J. Phys: Conf. Ser* **10** (2005) 246.
- [3] D. Skarlatos, C. Tsamis, D. Tsoukalas, *J. Appl. Phys.* **93** (2003) 1832-1838.
- [4] J. Moulder, W. F. Stickle, P. E. Sobol, K. D. Bomben, *Handbook of X-Ray Photoelectron Spectroscopy*, ULVAC-PHI, Inc. 370 Enzo, Chigasaki 253-8522, Japan, 1995.

ПРЕОБРАЗУВАНЕ НА ФОТОМЕТРИЧНИ ВЕЛИЧИНИ В РАДИОМЕТРИЧНИ В ОПТИЧНА СИСТЕМА С ПОЛУПРОВОДНИКОВИ ФОТОЕЛЕМЕНТИ

Тодор Арабаджиев

Департамент по приложна физика, ТУ-София, бл. „Климент Охридски“ 8
e-mail: tna@tu-sofia.bg

Резюме. Представен е методът на преобразуване на фотометрични величини в радиометрични и е разгледан пример за такова преобразуване за монохроматичен и немонахроматичен източник. Даден е отговор на въпроси съществени в оптичните измервания като метода за пресмятане на енергетичната интензивност $[W/sr]$ и енергетичната светимост $[W/cm^2]$ при известна светлинна интензивност $[cd]$, както и на каква оптична мощност съответства генерирания от силициев фотодиод фототок.

Ключови думи: фотометрични и радиометрични величини и преобразувания.

1. Увод

Светодиодите от една страна и фотодиодите от друга са често използвани в съвременната оптоелектроника - първите като евтени, но изключително ефективни светлинни източници, а вторите за детекция на оптично излъчване. Светодиодите, както и повечето светлинни източници във видимата област се отличават с това, че техните основни енергетични характеристики се дават от производителите във фотометрични мерни единици - свързани със спектралната чувствителност на човешкото око. От тук възниква въпросът, предмет на настоящата статия - Как да преобразуваме дадените от производителите във фотометрични единици величини в привичните ни радиометрични такива. Кратки сведения за основните радиометрични и съответно фотометрични (в квадратните скобки) величини могат да се видят в следващата таблица [1]:

| Quantity | Unit Name | Symbol |
|--|--|---------------------------------------|
| Radiant flux [Luminous flux] | watts [lumens] | W [lm] |
| Radiant energy [Quantity of light] | joules [lumen · sec.] | J [lm·s] |
| Irradiance [Illuminance] | watts per square meter [lux] | W/m^2 [lx] |
| Radiant emittance [Luminous emittance] | watts per square meter [lumens per square meter] | W/m^2 [lm/m ²] |
| Radiant intensity [Luminous intensity] | watts per steradian [candelas] | W/sr [cd] |
| Radiance [Luminance] | watts per steradian · square meter [candelas per square meter] | $W/sr \cdot m^2$ [cd/m ²] |

2. Метод за преобразуване на фотометрични в радиометрични величини с конкретен пример.

Всяка фотометрична величина може да бъде получена от своя радиометричен аналог посредством следното преобразуване [1, 2]:

$$x_n = K_m \int x_n(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

Където x_v е фотометричната величина, x е радиометричната а $v(\lambda)$ е т.нар. функция на визуалния отговор на окоето (*spectral luminous efficiency*). За функцията на визуалния отговор можем да запишем:

$$v(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K_m} \quad (2)$$

Където величината $K(\lambda)$ с размерност [lm/W] е т. нар. *spectral luminous efficacy* а K_m е нейната максимална стойност. При дневна светлина $K_m=683$ [lm/W] а $v(\lambda)$ за целия видим диапазон може да се види от долната таблица 1.

Таблица 1. Функция на визуалния отговор (*spectral luminous efficiency*) $v(\lambda)$.

| Wavelength (nm) | Luminous Efficiency | Wavelength (nm) | Luminous Efficiency |
|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------|
| 400 | 0.0004 | 600 | 0.631 |
| 10 | 0.0012 | 10 | 0.503 |
| 20 | 0.0040 | 20 | 0.381 |
| 30 | 0.0116 | 30 | 0.265 |
| 40 | 0.023 | 40 | 0.175 |
| 450 | 0.038 | 650 | 0.107 |
| 60 | 0.060 | 60 | 0.061 |
| 70 | 0.091 | 70 | 0.032 |
| 80 | 0.139 | 80 | 0.017 |
| 90 | 0.208 | 90 | 0.0082 |
| 500 | 0.323 | 700 | 0.0041 |
| 10 | 0.503 | 10 | 0.0021 |
| 20 | 0.710 | 20 | 0.00105 |
| 30 | 0.862 | 30 | 0.00052 |
| 40 | 0.954 | 40 | 0.00025 |
| 550 | 0.995 | 750 | 0.00012 |
| 555 | 1.0 | 60 | 0.00006 |
| 60 | 0.995 | | |
| 70 | 0.952 | | |
| 80 | 0.870 | | |
| 90 | 0.757 | | |

Нека като първи конкретен пример за преобразуване на фотометрични величини в радиометрични да определим енергетичната интензивност на излъчването I_v (radiant intensity) на светодиод разглеждан приближено като на *монохроматичен* светлинен източник. Нека неговата светлинна интензивност (luminous intensity) е $I_v = 20 \text{ mcd}$, а пика на излъчването му е на дължина на вълната $\lambda=660\text{nm}$. Така получаваме:

$$I = \frac{I_n}{K_m v(\lambda)} = \frac{0.020 [\text{cd} = \text{lm} / \text{sr}]}{683 [\text{lm} / \text{W}] \cdot 0.061} = 0.48 [\text{mW} / \text{sr}] \quad (3)$$

Нека да разгледаме още веднъж този пример с разликата, че разглеждаме полупроводниковия светодиод като *немонохроматичен* светлинен източник. Нека $f(\lambda)$ представя спектралната функция на излъчване на светодиода, която може да се вземе от данните на производителя за всеки конкретен светодиод. Стойностите на $f(\lambda)$ и $v(\lambda)$ са дадени в следващата таблица 2.

Таблица 2 Спектрална функция на излъчването на конкретен светодиод (червен) $f(\lambda)$ и съответната функция на визуалния отговор $v(\lambda)$.

| λ [nm] | $f(\lambda)$ | $v(\lambda)$ |
|----------------|--------------|--------------|
| 610 | 0 | 0.503 |
| 620 | 0.08 | 0.381 |
| 630 | 0.20 | 0.265 |
| 640 | 0.35 | 0.175 |
| 650 | 0.60 | 0.107 |
| 660 | 1.0 | 0.061 |
| 670 | 0.60 | 0.032 |
| 680 | 0.35 | 0.017 |
| 690 | 0.20 | 0.0082 |
| 700 | 0.08 | 0.0041 |
| 710 | 0 | 0.0021 |

Пресмятаме интензитета числено, като същевременно го нормираме спрямо $f(\lambda)$ така че да получим максимална стойност 1.

$$I_n = K_m I_T \int f(\lambda) v(\lambda) d\lambda = 683 I \frac{\sum_i f_i v_i}{\sum_i f_i} \quad (4)$$

$$I = \frac{\sum_i I_n v_i}{683 \sum_i f_i} = 0.34 \frac{\text{mW}}{\text{sr}} \quad (5)$$

Имаме известна разлика в резултата в двата случая, в които разглеждахме светодиода като *монохроматичен* и като *немонохроматичен* източник на излъчване. Изхождайки от физични аргументи следва да приемем резултата във втория случай за по-точен.

3. Метод за преобразуване на [W/sr] в [W/cm²] и пример за пресмятане на генерирания според излъчването фототок.

Основно разглеждане, което трябва да направим, за да можем да конструираме успешно фотодетектор базиран на полупроводников фотодиод е да установим връзката между енергетичната интензивност на излъчването I на светодиода определен в единици [W/sr] (radiant intensity) и енергетичната му

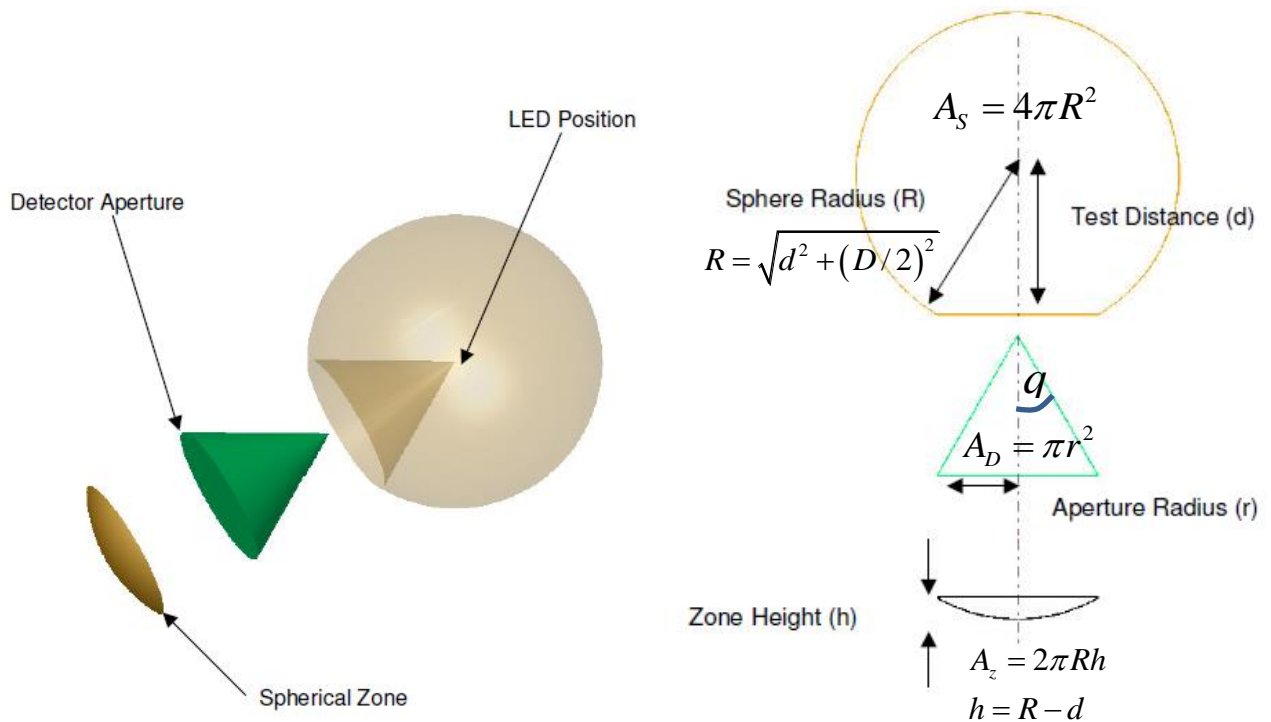
светимост E в единици $[W/cm^2]$ (radiant emittance) и съответно генерирания от фотодиода фототок. Това става по следния алгоритъм:

$$I \left[\frac{W}{sr} \right] = \alpha \left[\frac{cm^2}{sr} \right] E \left[\frac{W}{cm^2} \right] \tag{6}$$

Където $\alpha [cm^2 / sr]$ е коефициент на преобразуване, който дава връзката между енергетичната интензивност и енергетичната светимост.

$$\alpha = \frac{A_D}{\omega} \tag{7}$$

Както се вижда за да пресметнем константата на преобразуване, ни е необходим пространственият ъгъл формиран от светодиода и детектора и активната площ A_D на фотодиода. Най-общо основната схема, използвана при това пресмятане е представена по долу [3].



Фиг. 1. Схема, използвана за пресмятане на пространствения ъгъл.

Вляво е представена сферичната зона на излъчване на светодиода. Вдясно A_S е лицето на сферата, R е радиусът на сферата изчислен чрез разстоянието до активната повърхност на светодиода d и диаметърът на апертурата D , A_D е площта на активната зона на фотодиода разгледана като окръжност с радиус равен на радиуса на апертурата r , A_z е лицето на отрязъка от сферата в която излъчването пада върху активната зона на фотодиода. Знаейки тези параметри можем да изчислим пространствения ъгъл ω формиран от светодиода и детектора по формулата:

$$\omega = \frac{4\pi A_z}{A_s} = \frac{4\pi(2\pi Rh)}{4\pi R^2} = \frac{2\pi h}{R} \quad (8)$$

Можем да пресметнем пространствения ъгъл и ако точно знаем ъгъла на насоченост на излъчването на светодиода θ по формулата:

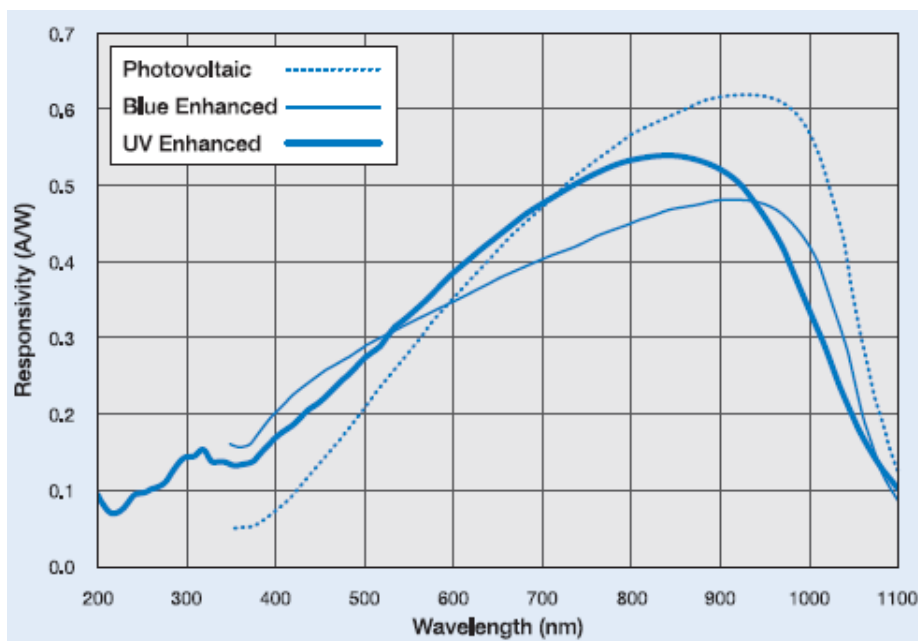
$$w = 2p(1 - \cos(q)) \quad (9)$$

Друга важна стъпка е пресмятането на генерирания фототок в приемника в зависимост от енергетичната интензивност излъчването. За да го определим освен енергетичната интензивност $I[W/sr]$ ни е необходима и спектралната чувствителност на материала, от който е изграден приемника. Чувствителността R_f на фотодетектора давана в мерни единици $[A/W]$, представлява отношението на генерирания фототок към излъчената оптична мощност.

$$P[W] = I[W/sr]\omega[sr] \quad (10)$$

$$i[A] = R_f[A/W]P[W]$$

Във видимата спектрална област обикновено се използват фотодиоди изградени на основата на силиций, които имат представената по-долу крива на чувствителност [1,2,3].



Фиг. 2. Чувствителност на Si-фотодиод: пунктир – обикновен фотодиод, тънка линия – фотодиод с подобрена чувствителност в синята област, дебела линия – фотодиод с подобрена чувствителност в ултравиолетовата област.

Нека за повече яснота да пресметнем следния пример:

Детектор с апертура $D=2.06\text{мм}$ е поставен на разстояние $d=14.99\text{мм}$ от червен светодиод при радиус на сферата $R=15.025\text{мм}$. Да се намери пространствения ъгъл, формиран от светодиода и детектора, коефициента на преобразуване $\alpha[\text{cm}^2/\text{sr}]$ и енергетичната светимост $[\text{mW}/\text{cm}^2]$. Какъв фототок генерира силициевия фотодиод ако чувствителността му е $0.40[\text{mA}/\text{mW}]$ и $I=25[\text{mW}/\text{sr}]$.

$$h = R - d = 15.025 - 14.99 = 0.035\text{мм}$$

$$\Omega = \frac{4\pi A_s}{A_s} = \frac{4\pi(2\pi Rh)}{4\pi R^2} = \frac{2\pi h}{R} = \frac{2\pi(0.035)}{15.025} = 0.015\text{sr}$$

$$A_D = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 = 3.333\text{cm}^2$$

$$\alpha = \frac{A_D}{\omega} = \frac{3.333}{0.015} = 222.2 [\text{cm}^2 / \text{sr}]$$

(11)

$$E \left[\frac{\text{mW}}{\text{cm}^2} \right] = I \left[\frac{\text{mW}}{\text{sr}} \right] / \alpha \left[\frac{\text{cm}^2}{\text{sr}} \right] = \frac{25}{222.2} = 0.113 \left[\frac{\text{mW}}{\text{cm}^2} \right]$$

$$P = I\omega = 25 [\text{mW} / \text{sr}] 0.015 [\text{sr}] = 0.375 [\text{mW}]$$

$$i = R_f P = 0,4 [\text{mA} / \text{mW}] 0.375 [\text{mW}] = 150 [\mu\text{A}]$$

4. Заключение

Представен е основният метод за преобразуване на фотометрични величини в радиометрични. Разписани са два основни случая на такова преобразуване при монохроматичен и немонахроматичен светлинен източник. Представени са основните формули за изчисляване на пространствения ъгъл между източника и детектора, коефициента на преобразуване $[\text{W}/\text{sr}] - [\text{W}/\text{cm}^2]$, генерирания от Si-фотодиод фототок, разгледан е конкретен числов пример.

Литература

[1] Electro-optics handbook 2ed, Ronald W. Waynant, editor, Marwood N. Ediger, McGraw-Hill, 2000

[2] J. A. Shaw, Converting LED photometric to radiometric values, Montana State University, 2012.

[3] Application Bulletin 222, Optek Technology Inc., 2003

РАЗСЕЙВАНЕ НА ХАРМОНИЧНИ SH ВЪЛНИ В ПИЕЗОЕЛЕКТРИЧНИ МАТЕРИАЛИ С ПУКНАТИНИ

Йонко Стойнов

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

Резюме. Формулирана е задачата за разсейване от пукнатини в пиезоелектрични материали. Методът е базиран на представяне на разсеяното поле с гранично интегрално уравнение в честотната област. Получени са резултати за скока на механичното преместване и електричния потенциал близо до върха на пукнатината и асимптотиката на производните на фундаменталното решение в далечната зона.

Ключови думи: пиезоелектрични материали с пукнатини, SH вълни, права и обратна задача, МГИУ.

1. Увод

Пиезоелектричните материали се използват широко в модерната електронна индустрия. Техните многобройни приложения се дължат на способността им да превръщат механичната енергия в електрична и обратно.

Правия пиезоелектричен ефект е открит от Пиер и Жак Кюри през 1880г.: прилагането на механично налягане върху някои кристали като кварц или сегнетова сол (калиево-натриев тартрат) генерира електрични заряди. Този ефект е в основата на сензорите за динамична сила и електричните генератори за събиране на вибрационна енергия.

Обратния пиезоелектричен ефект се състои в механичната деформация на пиезоелектричния материал дължаща се на приложеното електрично поле. Този ефект е бил предсказан през 1881 г. от Липман въз основа на термодинамически съображения и експериментално доказан от братята Кюри през същата година и се използва при вибрационни, звукови и ултразвукови генератори, както и в системи за детекция.

Следват някои примери за приложение на пиезоелектричните материали в съвременната индустрия.



Безконтактен сензор за въртящ момент: измерва въртящия момент или скоростта на ротация на неподвижна ос или въртящ се вал без контакт.



Сензор за скорост. Превръща механичната енергия в електрична. Генератор за мощност на MESSIER BUGGATI, A380 AIRBUS aircraft.



Проследява и локализира градски водопроводи, като използва акустични вълни. Датчикът работи при ниски честоти с вибрации с високи амплитуди за звукови емисии на далечни разстояния.



Въртящ се пиезоелектричен мотор за позициониране с висока прецизност и с приложения в космическата индустрия.

Тъй като тези материали са крехки, те са чувствителни към пукнатини, което може да доведе до загуба на структурна цялост и/или функционални свойства. Ето защо прилагането на принципите на механиката на разрушенията играе важна роля.

Основен постулат на линейната механика на разрушенията е че поведението на пукнатините (дали те нарастват или не и колко бързо нарастват) се определя единствено от стойността на коефициента на интензивност на напрежение.

Възникват следните две важни за практиката задачи:

Права задача за разсейване: при дадено външно натоварване да се определи концентрацията на напрежение в краищата на пукнатината, както и напреженията в произволна точка от тялото.

Обратна задача за разсейване: при дадено външно натоварване, ако са известни данни по границата на тялото да се получи информация за концентрацията на напрежение в краищата на пукнатината.

Правата задача е сравнително по-добре изучена.

Разработването на метод за решаване на обратната задача за разсейване започва с работите на Achenbach et al. [1] (1997) и Sotiropoulos и Achenbach [2] (1998). Други изследвания в тази област са направени от Colton and Kress [3], H. Vui [4], R. Kress [5], Rangelov и Dineva [6], [7], Rangelov et al. [8], Rangelov [9].

Целта на това изложение е да се формулира задача за разсейване в пиезоелектрична равнина и да се представят резултати за скока на механичното преместване и електричния потенциал близо до върха на пукнатината, както и производните на фундаменталните решения в далечната зона.

2. Описание на задачата

Пиезоелектрични материали, като бариев титанат $BaTiO_3$ или оловен цирконат титанат PZT са трансверзално изотропни с ос на симетрия съвпадаща с посоката на поляризация. Разглеждаме правоъгълна координатна система $Ox_1x_2x_3$ и приемаме, че оста на симетрия е по Ox_3 , а изотропната равнина е Ox_1x_2 . Връзката между механичното и електричното поле се дава от следните конститутивни уравненията:

$$\sigma = Cs - eE, \quad (1)$$

$$D = e^t s + \varepsilon E, \quad (2)$$

където σ и D са съответно тензора на напрежението, вектора на електрическата индукция; s и E са съответно тензора на деформация, вектора на интензитета на електричното поле; C и ε са съответно тензор на еластичността, тензор на диелектричната константа; e е тензор на пиезоелектричните коефициенти. Тензорите участващи в конститутивните уравнения за този вид хомогенни среди имат следния вид, виж Hou et al. [10], Li [11]:

$$C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & 0 & 0 & 0 \\ c_{12} & c_{11} & c_{13} & 0 & 0 & 0 \\ c_{13} & c_{13} & c_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (c_{11} - c_{12})/2 \end{pmatrix}, \mathbf{e} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & e_{31} \\ 0 & 0 & e_{31} \\ 0 & 0 & e_{33} \\ 0 & e_{15} & 0 \\ e_{15} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_{11} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{33} \end{pmatrix},$$

Разглеждаме случая, когато пиезоелектричното тяло е подложено на SH вълна. В този случай е изпълнено:

$$u_1 = u_2 = 0, E_3 = 0, \quad (3)$$

където u_i е компонентата на еластичното преместване, а E_i е компонентата на интензитета на електричното поле по оста Ox_i , $i=1,2,3$. В нашия модел тези величини са едни и същи във всички равнини перпендикулярни на оста на симетрия и затова не зависят от x_3 -задачата е двумерна. Различни от нула са единствено еластичното преместване $u_3(x_1, x_2, t)$ и интензитета на електрическото поле $E_i(x_1, x_2, t)$, $i=1,2$. Тук, както и по-нататък с t ще означаваме променливата за време. Връзката между компонентите на интензитета на електрическото поле и електричния потенциал е следната $E_i = -\varphi_{,i}$, $i=1,2$. Тук $_{,i}$ като долен индекс означава диференциране по променливата x_i .

Като използваме, че средата е трансверзално изотропна, задачата е двумерна, връзката деформация преместване: $s_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i})$ и условията (3) и заместим в (1) и (2) получаваме:

$$\sigma_{13} = c_{44}u_{3,1} + e_{15}\varphi_{,1}, \quad \sigma_{23} = c_{44}u_{3,2} + e_{15}\varphi_{,2} \quad (4)$$

$$D_1 = e_{15}u_{3,1} - \varepsilon_{11}\varphi_{,1}, \quad D_2 = e_{15}u_{3,2} - \varepsilon_{11}\varphi_{,2}, \quad D_3 = 0. \quad (5)$$

Това са конститутивните уравнения за трансверзално изотропна пиезоелектрична среда, подложена на SH вълна. С цел използване на по-компактен запис на уравненията, въвеждаме обобщен тензор на еластичността:

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

както и обобщено преместване и обобщено напрежение:

$$u_J = \begin{cases} u_3, J=3 \\ \varphi, J=4 \end{cases}, \quad \sigma_{iJ} = \begin{cases} \sigma_{i3}, J=3 \\ D_i, J=4 \end{cases}.$$

Тогава (4) и (5) могат да се запишат така:

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} u_{k,l}. \quad (6)$$

Тук, както и по-долу ще разбираме сумиране по повтарящи се индекси.

Като използваме уравнението на движение в теорията на еластичността:

$$\sigma_{ij,i} + f_j = \rho \frac{\partial^2 u_j}{\partial t^2}, \quad (7)$$

където f_j са обемните сили, ρ е плътността и закона на Гаус:

$$\operatorname{div} \mathbf{D} = D_{i,i} = f_e, \quad (8)$$

където f_e плътността на електрическите заряди, заместим (4) и (5) и предположим че $f_j = 0$ и $f_e = 0$, получаваме основните управляващи диференциални уравнения за пиезоелектрично тяло, подложено на SH вълна:

$$\begin{cases} c_{44} \Delta u_3 + e_{15} \Delta \varphi = \frac{\partial^2 u_3}{\partial t^2} \\ e_{15} \Delta u_3 - \varepsilon_{11} \Delta \varphi = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Тук $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ е двумерния оператор на Лаплас.

Ще разгледаме случая, когато зависимостта на приложения външен динамичен товар от времето е хармонична със зададена честота ω . Като разделим на общия множител $e^{i\omega t}$ стигаме до следната система:

$$\begin{cases} c_{44} \Delta u_3 + e_{15} \Delta \varphi + \rho \omega^2 u_3 = 0 \\ e_{15} \Delta u_3 - \varepsilon_{11} \Delta \varphi = 0. \end{cases} \quad (10)$$

В компактна форма (10) може да бъде записано така:

$$\sigma_{ij,i} + \rho_{JK} \omega^2 u_K = 0, \quad (11)$$

където $\rho_{JK} = \begin{cases} \rho, J = K = 3 \\ 0, J = 4 \text{ или } K = 4 \end{cases}$.

Взаимодействието на падащата вълна с пукнатината предизвиква отразени вълни. Общото вълново поле в дадена точка $x = (x_1, x_2)$ се намира с принципа на суперпозицията: като сума на падащото (in) и разсеяното (sc) вълново поле.

Декомпозицията:

$$u_j = u_j^{in} + u_j^{sc}$$

е в сила за обобщеното преместване. Аналогични равенства са в сила за обобщеното напрежение σ_{ij} и обобщеното усилие $t_j = \sigma_{ij} n_i$, където $n = (n_1, n_2)$ е нормалния вектор. Падащото вълново поле е известно, а разсеяното поле трябва да бъде определено, така че да удовлетворява условието $u_j^{sc} \rightarrow 0$, при $x \rightarrow \infty$ и граничните условия:

$$t_j = t_j^{in} + t_j^{sc} = 0 \text{ или } t_j^{in} = -t_j^{sc} \text{ върху пукнатината } \Gamma. \quad (12)$$

Тези условия съответстват на непропусклива пукнатина, т. е. пукнатина свободна от механични усилия и от повърхнинни заряди. Това предположение се базира на факта, че пропускливостта на пиезокерамиките е с няколко порядъка по-висока отколкото на въздуха или вакуума вътре в пукнатината и е широко използвано в литературата.

Ще решим граничната задача (11), (12) като я сведем до система интегродиференциални уравнения върху пукнатината и решим системата числено. За тази цел ни трябва фундаментално решение на (11).

Фундаментално решение на (11) наричаме решение на системата:

$$\sigma_{iJM,i}^* + \rho_{JK}\omega^2 u_{KM}^* = -\delta_{JM}\delta(x,\xi), \quad (13)$$

където $\sigma_{iJM}^* = C_{iJKl}u_{KM,i}^*$, δ_{JM} е символ на Кронекер, $\delta(x,\xi)$ е делта функцията на

Дирак: $\int_{-\infty}^{\infty} \delta(x,\xi)\varphi(x)dx = \varphi(\xi)$, $\delta(x,\xi) = \begin{cases} 1, x = \xi \\ 0, x \neq \xi \end{cases}$. Фундаменталното решение е

намерено с прилагане на права и обратна трансформация на Радон и има вида:

$$u_{KM}^* = \frac{1}{4\pi^2} (\alpha_{KM} \int_{|m|=1} K(e^{ik|s-\tau|}) \Big|_{s=\langle x,m \rangle} dm + \beta_{KM} \int_{|m|=1} K(|s-\tau|) \Big|_{s=\langle x,m \rangle} dm), \quad (14)$$

където:

$$K(|s-\tau|) = 2 \ln |s-\tau|$$

$$K(e^{ik|s-\tau|}) = -ik \{ i\pi e^{ik\beta} - 2[ci(k\beta)\cos(k\beta) + si(k\beta)\sin(k\beta)] \} \Big|_{\beta=|s-\tau|},$$

$$k = \sqrt{\frac{\rho}{\tilde{a}}}\omega, \quad ci(u) = -\int_u^{\infty} \frac{\cos t}{t} dt, \quad si(u) = -\int_u^{\infty} \frac{\sin t}{t} dt,$$

а коефициентите α_{KM} и β_{KM} , $K, M = 3, 4$ се изразяват с константите на материала по следния начин:

$$\alpha_{33} = -\frac{1}{2ik\tilde{a}}, \quad \alpha_{34} = \alpha_{43} = -\frac{e_{15}}{2ik\varepsilon_{11}\tilde{a}}, \quad \alpha_{44} = -\frac{e_{15}^2}{2ik\varepsilon_{11}^2\tilde{a}}$$

$$\beta_{33} = \beta_{34} = \beta_{43} = 0, \quad \beta_{44} = \frac{1}{2\varepsilon_{11}}$$

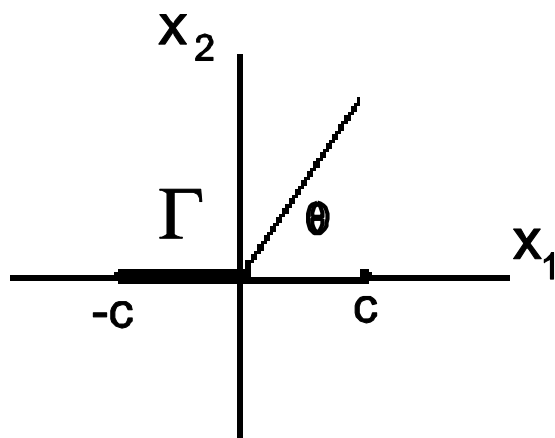
След като фундаменталното решение е известно граничната задача (11), (12) се свежда до следното интегродиференциално уравнение върху пукнатината (Wang и Zhang [12], Gross et al. [13]):

$$t_J^{sc}(\xi) = -C_{iJM_s} n_i(\xi) \int_{\Gamma} [(\sigma_{iJM}^* \Delta u_{J,i} - \rho_{JK}\omega^2 \Delta u_J u_{KM}^*) \delta_{js} - \sigma_{jJM}^* \Delta u_{J,s}] n_j dl(x) \quad (15)$$

където $\Delta u_J = u_J \Big|_{\Gamma^+} - u_J \Big|_{\Gamma^-}$, $\Gamma = \Gamma^+ \cup \Gamma^-$. В (15) неизвестните са Δu_J -скока на

преместването и потенциала по пукнатината.

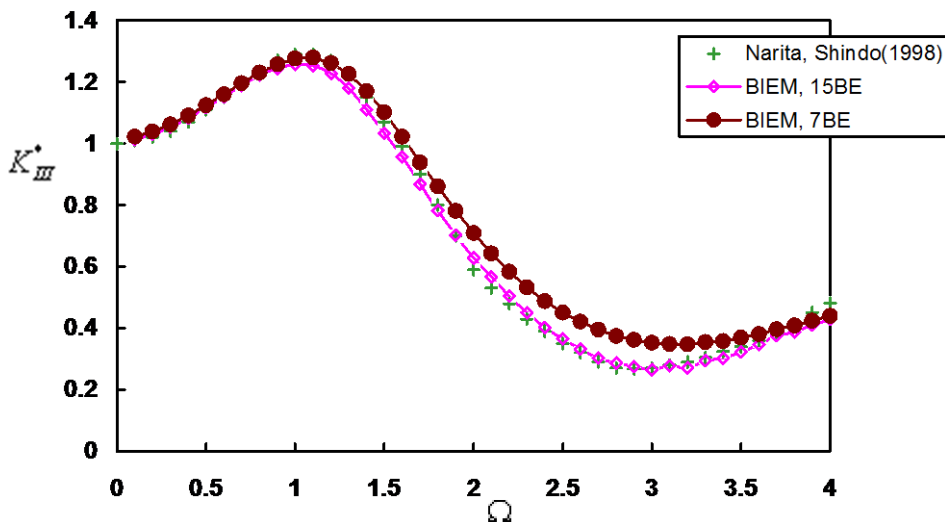
Разглеждаме хоризонтална, права пукнатина, симетрично разположена по оста Ox_1 , с полудължина $c=5\text{mm}$ (Фиг. 1).



Фиг. 1. Пукнатина в пиезоелектрична среда подложена на SH вълна (θ -ъгъл на падащата вълна).

След дискретизация на (15) получаваме алгебрична система за неизвестните. Разработен е софтуер на FORTRAN 77 за числено решаване на тази система. Направен е тест с резултатите на Narita и Shindo [14] за материала **BaTiO₃** който има следните характеристики: $c_{44} = 43 \times 10^9 \text{ N.m}^{-2}$, $e_{15} = 11.6 \text{ C.m}^{-2}$, $\epsilon_{11} = 112 \times 10^{-10} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, $\rho = 5800 \text{ kg/m}^3$ и нормално падаща вълна ($\theta = \frac{\pi}{2}$).

Сравнението е дадено на Фиг.2. За числените пресмятания са използвани 7 и 15 гранични елемента. Вижда се много добро съвпадение на резултатите.



Фиг. 2. Нормализираният коефициент на интензивност на напрежението $K_{III}^* = \frac{K_{III}}{t_3^{in} \sqrt{\pi c}}$ в зависимост от нормализираната честота $\Omega = c \sqrt{\rho c_{44}^{-1}} \omega$ за пиезоелектричния материал **BaTiO₃**

$$K_{III} = \lim_{x \rightarrow \pm c} t_3 \sqrt{2\pi(x_1 \mp c)}.$$

3. Асимптотика на скока на преместването и електрическият потенциал в близост до върха на пукнатината

Следвайки Кондратиев[15] търсим u_3 и φ в следния вид:

$$u_3 = P \operatorname{Re}(-i\sqrt{z^2 - c^2}), \varphi = Q \operatorname{Re}(-i\sqrt{z^2 - c^2}) \quad (16)$$

където P и Q са константи, $z = x + iy$. Интересуваме се от асимптотиката на тези функции бвизо до върха на пукнатината. За целта правим смяна на променливите $z = c + re^{i\theta}$ като r е разстоянието до върха на пукнатината, θ е ъгъла между радиус вектора и абцисната ос. Преобразуваме по следния начин:

$$\sqrt{z^2 - c^2} = \sqrt{z - c}\sqrt{z + c} = \sqrt{re^{i\theta}}\sqrt{z + c}$$

и като заместим в (16) ще получим при $r \rightarrow 0$:

$$u_3 = P \operatorname{Re}(-i\sqrt{re^{i\theta/2}}\sqrt{2c}) = P\sqrt{2cr} \sin \frac{\theta}{2} \quad (17)$$

и аналогично

$$\varphi = Q\sqrt{2cr} \sin \frac{\theta}{2}. \quad (18)$$

От друга страна

$$\sigma_{23} \approx \frac{K_{III}}{\sqrt{2cr}} \text{ и } D_2 \approx \frac{K_D}{\sqrt{2cr}}, \quad (19)$$

където K_{III} е коефициента на интензивност на напрежението, а K_D е коефициента на интензивност на електрическата индукция. Като използваме конститутивните уравнения (4), (5) и асимптотиката на $u_{3,2}$ и $\varphi_{,2}$ за $r \rightarrow 0$:

$$u_{3,2} = -P\sqrt{\frac{c}{2r}} \cos \frac{\theta}{2} \text{ и } \varphi_{,2} = -Q\sqrt{\frac{c}{2r}} \cos \frac{\theta}{2}$$

намираме връзка между P, Q, K_{III} и K_D :

$$\begin{pmatrix} P \\ Q \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{\pi c}} Y \begin{pmatrix} K_{III} \\ K_D \end{pmatrix}, \quad (20)$$

където

$$Y = \frac{1}{1+k} \begin{pmatrix} c_{44}^{-1} & ke_{15}^{-1} \\ ke_{15}^{-1} & -\varepsilon_{11}^{-1} \end{pmatrix}, \quad k = \frac{e_{15}^2}{c_{44}\varepsilon_{11}}.$$

Следвайки Suo et. al. [16] записваме Y във вида:

$$Y = \begin{pmatrix} \frac{1}{C_T} & \frac{1}{e} \\ \frac{1}{e} & -\frac{1}{\varepsilon} \end{pmatrix}.$$

Сега като заместим (20) в (17) и (18) намираме търсените асимптотики:

$$\Delta u_3 = 4\sqrt{\frac{r}{2\pi}}\left(\frac{K_{III}}{C_T} + \frac{K_D}{e}\right) \text{ и } \Delta\varphi = 4\sqrt{\frac{r}{2\pi}}\left(\frac{K_{III}}{e} - \frac{K_D}{\varepsilon}\right). \quad (21)$$

4. Асимптотика на производните на фундаменталното решение в далечната зона

Като вземем пред вид (14), виждаме че за да намерим асимптотиката на производните се нуждаем от:

$$\begin{aligned} \partial_s K(e^{ik|s-\tau|}) &= \\ &= -ik\left(-k\pi e^{ik\beta} - \frac{2}{\beta} + 2k(ci(k\beta)\sin(k\beta) - si(k\beta)\cos(k\beta))\right) \Big|_{\beta=|s-\tau|} \operatorname{sgn}(s-\tau). \\ \partial_s K(|s-\tau|) &= \frac{2}{s-\tau}. \end{aligned}$$

Правим смяна на променливите

$$\begin{aligned} x_1 = r \cos \theta & \quad m_1 = \cos \varphi \\ x_2 = r \sin \theta & \quad \text{И} \quad m_2 = \sin \varphi. \end{aligned}$$

След заместване се оказва, че трябва да търсим асимптотиката на интеграл от вида:

$$\int_0^{2\pi} \cos \varphi e^{ikr|\cos \varphi|} d\varphi.$$

Прилагаме метода на стационарната фаза, Федорюк, [17]:

$$\int_0^{\pi/2} \cos \varphi e^{ikr \cos \varphi} d\varphi = \int_0^{\varepsilon} \cos \varphi e^{ikr \cos \varphi} d\varphi + \int_{\varepsilon}^{\pi/2} \cos \varphi e^{ikr \cos \varphi} d\varphi.$$

Показва се, че $\int_{\varepsilon}^{\pi/2} \cos \varphi e^{ikr \cos \varphi} d\varphi = o\left(\frac{1}{\sqrt{r}}\right)$. Първия интеграл оценяме така:

$$\int_0^{\varepsilon} \cos \varphi e^{ikr \cos \varphi} d\varphi \approx \int_0^{\varepsilon} \cos \theta e^{ikr(1-\frac{\theta^2}{2})} d\theta \approx e^{ikr} \int_0^{\infty} e^{-ikr\frac{\theta^2}{2}} d\theta.$$

В последния интеграл правим смяна на променливите $\varphi = ye^{-i\frac{\pi}{4}}$ и като използваме интеграла на Поасон получаваме:

$$e^{ikr} \int_0^{\infty} e^{-ikr\frac{\varphi^2}{2}} d\varphi = e^{ikr} \int_0^{\infty} e^{-ikr\frac{(ye^{-i\frac{\pi}{4}})^2}{2}} e^{-i\frac{\pi}{4}} dy = e^{ikr} e^{-i\frac{\pi}{4}} \int_0^{\infty} e^{-kr\frac{y^2}{2}} dy = e^{ikr-i\frac{\pi}{4}} \sqrt{\frac{\pi}{2kr}}.$$

Използвайки аналогичен подход за $\int_0^{2\pi} \cos \varphi e^{ikr|\cos \varphi|} d\varphi$ стигаме до:

$$\int_0^{2\pi} \cos \varphi e^{ikr|\cos \varphi|} d\varphi \approx 4e^{ikr-i\frac{\pi}{4}} \sqrt{\frac{\pi}{2kr}}. \quad (22)$$

Асимптотиката на другите събираеми можем да оценим отново с метода на стационарната фаза, като използваме представянето:

$$\int_0^{2\pi} (ci(kr \cos \varphi) \sin(kr \cos \varphi) - si(kr \cos \varphi) \cos(kr \cos \varphi)) d\varphi = \int_1^\infty \int_0^{2\pi} \frac{e^{ikr \cos \varphi (\xi-1)} - e^{-ikr \cos \varphi (\xi-1)}}{2i\xi} d\varphi d\xi$$

и установяваме:

$$\int_0^{2\pi} (ci(kr \cos \varphi) \sin(kr \cos \varphi) - si(kr \cos \varphi) \cos(kr \cos \varphi)) d\varphi = o\left(\frac{1}{\sqrt{r}}\right). \quad (23)$$

Вземайки предвид (21) и (22) за асимптотиките на производните на фундаменталното решение намираме:

$$u_{KM,q}^* = h_{KMq} e^{ikr - i\frac{\pi}{4}} \frac{1}{\sqrt{r}} + o\left(\frac{1}{\sqrt{r}}\right), r \rightarrow \infty, \quad (24)$$

където h_{KMq} зависят от константите на материала и честотата.

Прилагайки теоремата на Бети-Релей за реципрочност и (24) стигаме до следното равенство:

$$u_j^{sc}(x, \omega) = W_{pqj}(x, \omega) I_{pq} + o\left(\frac{1}{\sqrt{r}}\right), \quad (25)$$

където

$$I_{pq} = \int_{\Gamma} (\Delta u_p n_q + \Delta u_q n_p) d\Gamma.$$

Като използваме (21), (25) и допуснем параболично поведение на Δu_j по пукнатината получаваме връзка между u_j^{sc} при $r \rightarrow \infty$ и коефициентите на интензивност на напрежението, които се пресмятат в краищата на пукнатината.

5. Заключение

Използваният подход може да се използва при решаване на задачи за разсейване в пиезоелектрични материали с друг вид анизотропност (не само трансверзално изотропни), както и за задачи за разсейване в магнитоелектроеластични среди (например композита $BaTiO_3 / CoFe_2O_4$). Могат да се разглеждат обратни задачи за разсейване, като се отчита външната граница (ограничена област).

Разработената методика намира приложение в следните области:

- изчисляването на КИН намира пряко приложение в механиката на разрушенията за прогнозиране на надежността и качеството на съоразенията изградени от пиезоелектрични материали

- в теория на разпространение на вълни в свързани полета.

- в ултразвуков безразрушителен контрол на пиезоелектрични материали

- в решаване на обратни задачи за идентификация на местоположението, формата, размера, геометрията на пукнатината.

Литература

- [1] Achenbach J., D. Sotiropoulos, H. Zhu, Characterization of crack from ultrasonic scattering data, *Journal of Applied Mechanics*, **54**, 754-760 (1987).
- [2] Sotiropoulos D., J. Achenbach, Crack characterization by an inverse scattering method, *Int. J. Solids and Str.*, **24**, 165-175 (1988).
- [3] Colton D., R. Kress, Inverse acoustic and electromagnetic scattering theory, Springer-Verlag, Berlin, 1992.
- [4] Bui H., Inverse Problems in Mechanics of Materials, An Introduction, CRC Press, New York, 1994.
- [5] Kress R., Inverse elastic scattering from a crack, *Inverse problems*, **12**, 667-684 (1996).
- [6] Rangelov T., P. Dineva, Inverse scattering problems in cracked elastic plane, *C. R. Acad. Sci. Bulg.*, **55**, 19-22 (2002).
- [7] Rangelov T., P. Dineva, Inverse scattering by cracks in elastic plane, *Nonsmooth/Nonconvex Mechanics with Appl. In Eng.*, edd. C.C. Baniotopoulos, Thessaloniki, 233-240 (2002).
- [8] Rangelov T., P. Dineva, D. Gross, Inverse scattering by line cracks in elastic solids, *Inverse problems in Engng*, **11**, 141-155 (2003).
- [9] Rangelov T., Wave scattering from a line crack in an elasto-anisotropic solid, *C. R. Acad. Sci. Bulg.*, **56**, 11-14, (2003).
- [10] Hou P., H. J. Ding, J. Y. Chen, Green's functions for transversely isotropic magneto-electroelastic media, *International Journal of Engineering Science*, **43**, 826-858 (2005).
- [11] Li X. F., Dynamic analysis of a cracked magneto-electroelastic medium under antiplane mechanical and inplane electric and magnetic impacts, *Int. J. Solids and Str.*, **42**, 3185-3205 (2005).
- [12] Wang C.-Y., Zhang C., 2D and 3D dynamic Green's functions and time domain BIE formulations for piezoelectric solids, *Proceedings of the WCCM VI in conjunction with APCOM'04* September 5-10, Z. H. Yao, M. W. Yuan, W. X. Zhong, (Eds.), Tsingua University Press & Springer-Verlag, Beijing, China (2004).
- [13] Gross D., T. Rangelov, P. Dineva, 2D Wave Scattering by a Crack in a Piezoelectric Plane Using Traction BIEM, **Journal Structural Integrity & Durability**, *1*, 35-47, Tech Science Press (2005).
- [14] Narita F., Shindo Y., Dynamic anti-plane shear of a cracked piezoelectric ceramic, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, **29**, 169-180 (1998).
- [15] Кондратиев В., Граничны задачи для эллиптических уравнений в областях с коническими и угловыми точками, *Труды Московского Математического Общества*, **16**, 227-313 (1967).
- [16] Suo Z., C.-M. Kuo, D. M. Barnett, J. R. Willis, Fracture mechanics for piezoelectric ceramics, *J. Mech. Phys. Solids*, **40**, 739-765 (1992).
- [17] Федорюк М., Асимптотика: интегралы и ряды, Наука, Москва, 1987.

PERNIK EARTHQUAKE OF 21ST MAY, 2012 AND SIMORA PROJECT

Boyko Rangelov

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

Resume. The area of the Pernik destructive earthquake (M5.8) of 22nd May 2012 is investigated. A complex of the deep and shallower geophysical exploration is performed. The depth structure and the geodynamics of the seismic source are studied in details. The results obtained helped the creation of the geodynamic model of the seismic source and establishment of its parameters – elongation, width, depth, faulting directions, etc. All these data are necessary for the creation of a quasi Early Warning System about earthquakes expected to occur in the area.

Key words: Pernik earthquake, SIMORA Project, EWS (Early Warning System).

1. Geotectonic setting

The geotectonic position of the source of the destructive earthquake – 22nd May, 2012 and the seismotectonic environment are investigated largely beforehand. [1,2,3]. There are many interpretations sometimes in contradiction [4,5]. The common view exists about the NW-SE faults network recently active and producing sometimes moderate earthquakes (magnitude range between 2.0 and 4.0). The general elongation of the fault zone is about 110-130^o. Many transversal faults are also indicated. This means that the activated area has a complex block structure. Some of the faults are expressed as active with seismic activation as well. The seismogenic potential is assessed, but relatively low, not expecting seismic events with a magnitude greater than 5.5. Such assessment underestimates the seismic potential and in this respects the seismic event of 22 May, to be considered as a surprise. A lot of destructions have been reported covering more than 8000 homes and constructions [6].

2. Geophysical complex investigations of the area

The performed complex geophysical investigations gave new and unknown information about the local block structures, seismogenesis of the area and explanations for the observed effects – both from the main shock and the following aftershocks.

The area is located in a space of extension. The extension field in the area of the northern Balkans probably is produced by the influence of the North Anatolian fault zone and its satellites moving Asia Minor to the SW. Several other strong earthquakes show the same seismotectonic genesis – like Kresna (M7.8, 1904); Plovdiv (M7.0, 1928), Valandovo (M6.3, 1932) etc. [7].

- The aftershocks location, the elongation in the NW-SE direction and the extension forces presented into perpendicular direction are well explainable in the context of the source mechanisms obtained by the different seismological centres worldwide.

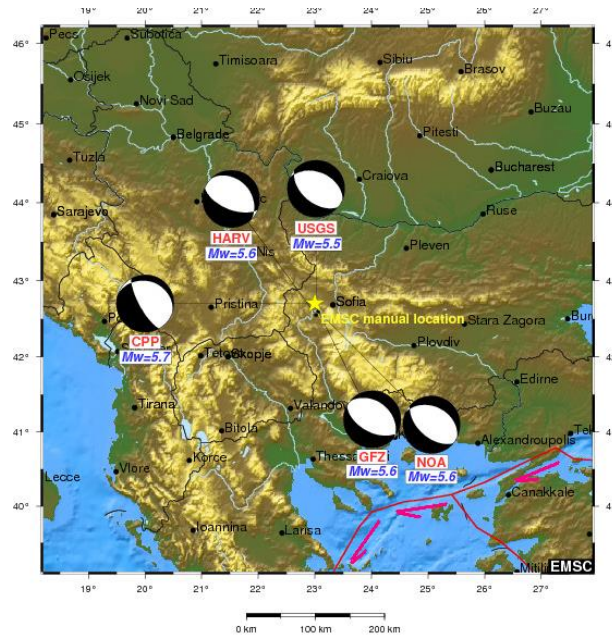


Fig. 1. The earthquake mechanism according the international seismological centres.

According the observations, space and time development of the seismic process and the general geodynamic context we consider that during the main shock a typical antitethic listric faulting took place. The arguments are:

- The mechanism of the seismic source – Fig.1.
- The aftershocks space and depth distributions and the block's structure according the local geophysical field distributions – Fig 2 and 3.
- The cross section in two perpendicular directions – to the elongation axes and to the perpendicular direction – Fig. 3 and 4.
- The lack of observed space radar interferometry of the surface displacements
- The existence of the surface low amplitude displacements established in situ [8].
- The depth of the crust disintegration is strongly limited to 15-16 km.

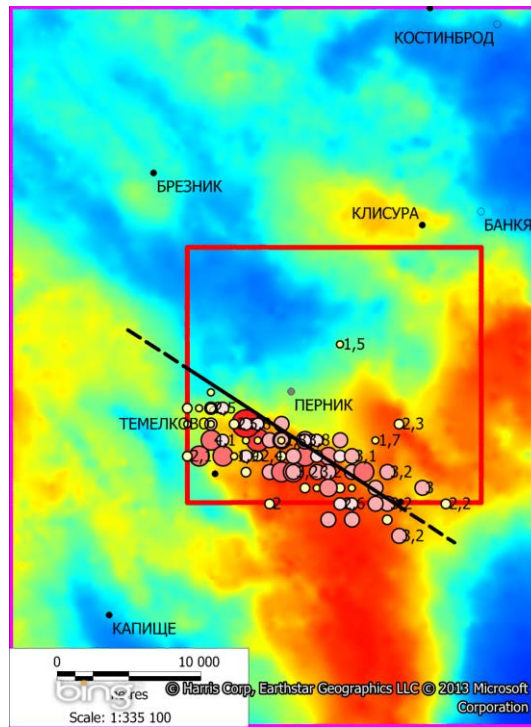


Fig. 2. Gravity map (Bouguer anomaly) in the investigated area. The main shock – red circle and the aftershocks until May 31st are indicated. The source elongation is dominated by the black line.

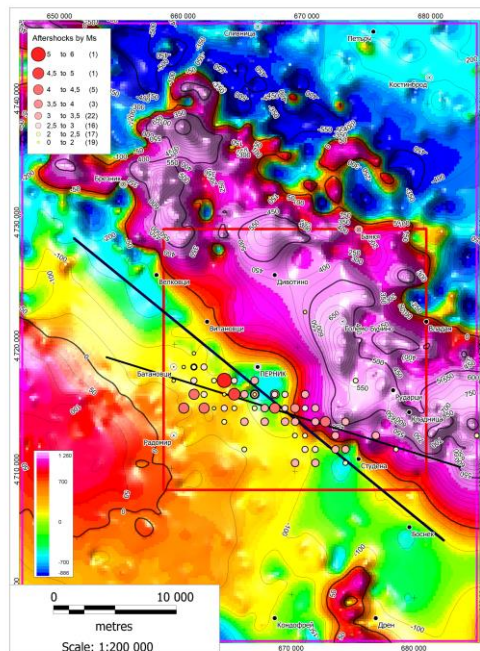


Fig. 3. Magnetic field map (delta Z in nT) is presented. The solid black line is according the minimum anomalies values.

3. Seismotectonic model of the Pernik earthquake source

Considering the results of the complex geophysical exploration, the results of the aftershocks location and the extension regime dominated in the space around Pernik city, the seismotectonic model is constructed and presented graphically.

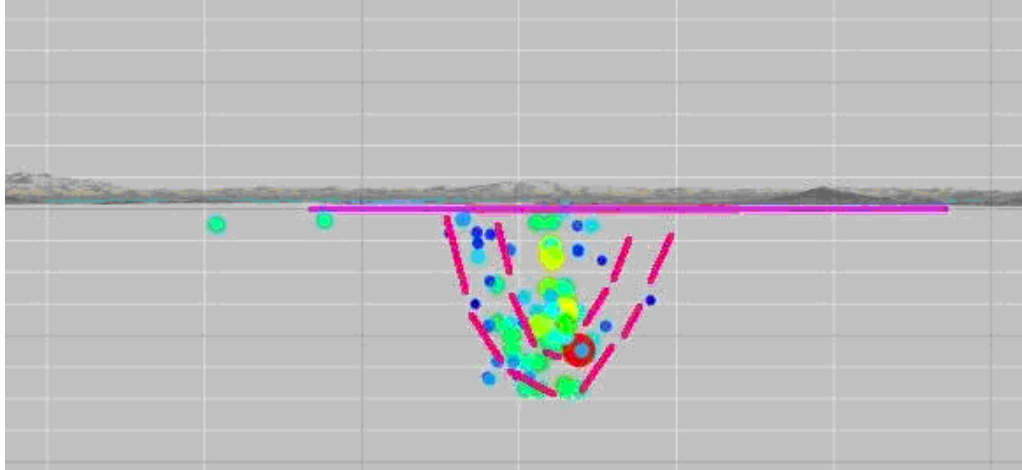


Fig. 4. *Two dimensional cross section (view from SE direction). The depth interval is 2.5 km*

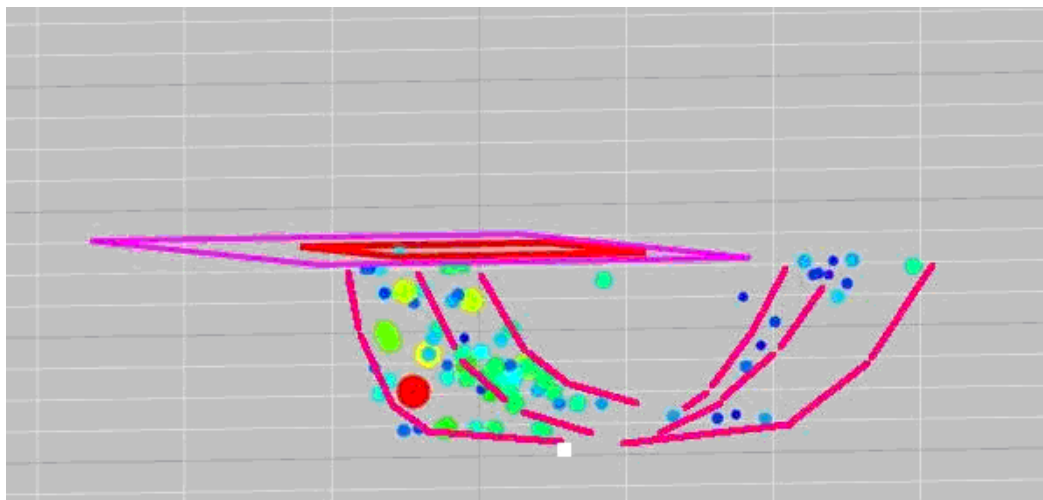


Fig. 5. *Two dimensional cross section (view from SW direction). The depth interval is 2.5 km*

The size of the seismic source could be considered with dimensions of 18 x 10 x 15 km, according the aftershock distribution for the first 8-10 days after the main shock. To the SW the asymmetry is much larger expressed then to the SE – fig.6.

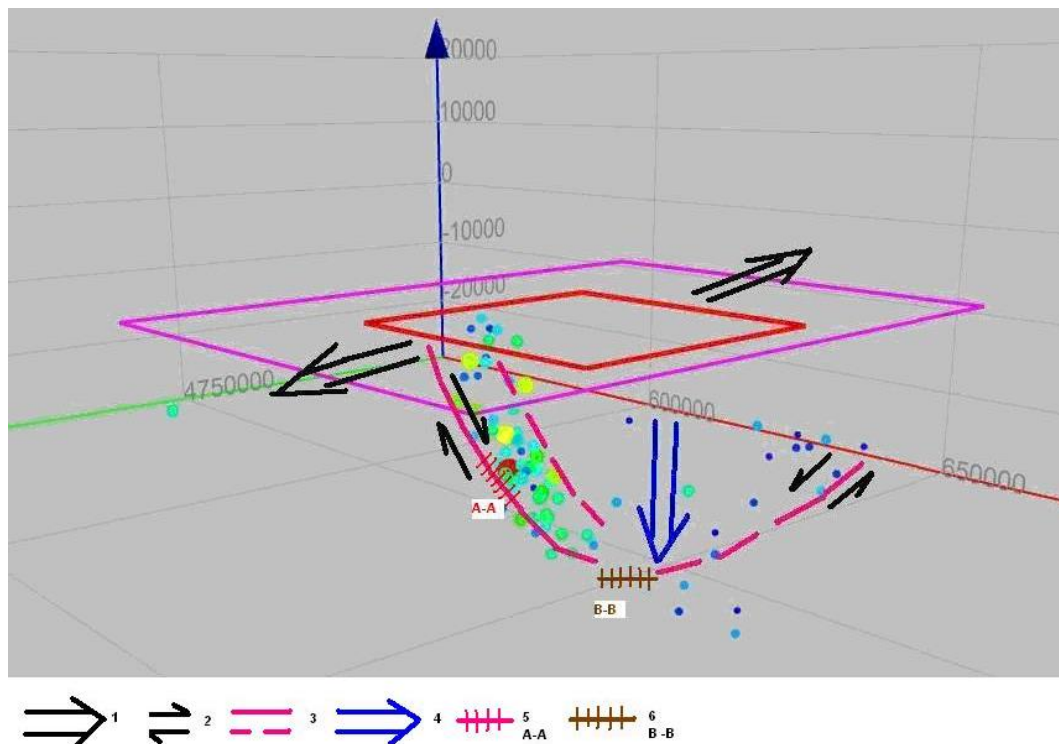


Fig. 6. Three dimensional presentation of the seismotectonic model of the earthquake area near Pernik: 1 – extension; 2 – side movements of the block during the strong earthquake.; 3 – listric faulting; 4 – direction of the block subsidence; 5 – area A-A of the rocks destruction during the quake (considered as a source of high frequencies emission); 6 – area B-B, bottom block shock (considered as a low frequencies emission). (The hypocenters of the main shock and aftershocks are presented as circles)

4. Conclusions

Complex geophysical investigations are performed to study the area of the Pernik earthquake with magnitude M5.8. The results obtained show:

- Listric faulting starting of about 70° - 80° (normal faulting) and resulting finally in depth of about 15-16 km to about 0° strike.
- The depth of the crust disintegration is strongly limited to 15-16 km.
- The extensional regime is confirmed
- Such model is presented for the first time related to the Pernink earthquake.
- The spectral peculiarities of the registered strong motions are explained without difficulties
- The results obtained could be very useful for the future development of the monitoring and the quasi EWS in the area of Pernik city [9].

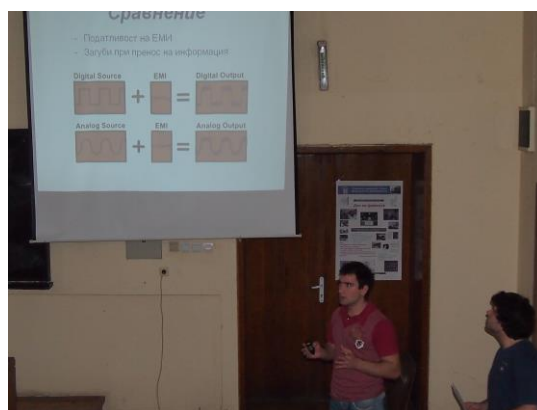
Acknowledgments

This work is fully supported by a contract DFNI T01/0003.

References

- [1]. Гочев П. Структура на част от южната ивица на Западното Средногорие, Списание на БГД, т. XXXI, 3, 1970, 290-301.
- [2]. Моев М. Върху тектонския строеж на Голо бърдо, Год. На МГИ, т. XIII. 1966-1967, 148-164.
- [3]. Стоянов И. Геоложки строеж на Западното Средногорие, Год. КГ, т. XXII, 1981, 77-87.
- [4]. Батанджиев Ив. Пернишкото земетресение (1965 г.) и някои тектонски въпроси, Изв на Ги-БАН т. XV, 1966, 313-329.
- [5]. Ranguelov V. Natural Hazards – nonlinearities and assessment, Acad. Publ. House (BAS), С., 2011, 327 p.
- [6]. Рангелов Б. Разгневената Земя – природните бедствия, Изд.БАН, С., 2012, 294 с. ВР
- [7]. Григорова Е. Б.Григоров. Епицентрите и сеизмичните линии в България, Изд. БАН, 1964, 81 с.
- [8]. Радулов А. Косеизмични геоложки ефекти, свързани с Пернишкото земетресение на 22 май 2012 г. в Западна България, Б Г Д, Рез. „ГЕОНАУКИ 2012“, 2012, 121-122.
- [9]. Boyko Ranguelov, Initial steps to the early warning systems in Bulgaria – earthquakes, tsunamis, marine hazards, Geophysical Res. Abst., Vol. 15, EGU2013-8239, 2013.

Фотогалерия



Авторски указател

Сашка Александрова, *професор, ДПФ, Технически Университет – София*
Андон Андонов, *студент, ФаГИОПМ, Технически университет – София*
Росица Андреева, *асистент, ДПФ, Технически Университет – София*
Тодор Арабаджиев, *гл. асистент, ДПФ, Технически Университет – София*
Максим Василев, *студент, ТФ, Технически Университет – София*
Пламен Витков, *студент, ТФ, Технически Университет – София*
Мая Григорова, *докторант, Геологопроучвателен Факултет, Минногеоложки Университет, София*
Невен Иванов, *студент, ФТК, Технически университет – София*
Николай Денев, *гл. асистент, ДПФ, Технически Университет – София*
Илийчо Илиев, *доцент, Факултет по машиностроене и уредостроене, Технически университет – София, Филиал Пловдив*
Диана Илиева, *магистър, ТФ, Технически Университет – София*
Румен Кобиларов, *гл. асистент, ДПФ, Технически Университет – София*
Невена Кожухарова, *гл. асистент, ДПФ, Технически Университет – София*
Людмил Крумов, *студент, ТФ, Технически Университет – София*
Георги Леков, *студент, ТФ, Технически Университет – София*
Бойко Рангелов, *доцент, Геологопроучвателен Факултет, Минногеоложки Университет, София*
Йонко Стойнов, *гл. асистент, ФПМИ, Технически Университет – София*
Димитър Стоянов, *доцент, ИПФ - Сливен към Технически Университет – София*
Валентина Танева-Тончева, *гл. асистент, ДПФ, Технически Университет – София*
Радостина Ташева, *гл. асистент, ДПФ, Технически Университет – София*
Христо Търнев, *доцент, ДПФ, Технически Университет – София*
Кристиан Фодор, *студент, ТФ, Технически Университет – София*
Елена Халова, *доцент, ДПФ, Технически Университет – София*
Александър Швайцер, *студент, ТФ, Технически Университет – София*

ПРОГРАМА НА ДНИТЕ НА ФИЗИКАТА 2013 г.**16.04. вторник**

| Доклад | Автор(-и) | Час |
|---|--|--------------|
| Откриване | проф. дфн И. Узунов | 17,00 |
| Екзотични явления в микросвета (Ред и безпорядък) | проф. дтн С. Александрова | 17,20 |
| Ефекти върху човешкото тяло при пътуване в космоса | маг. Д. Илиева (ТФ) | 17,50 |
| Земната атмосфера като оптична система | гл. ас. В. Танева гл. ас. Р. Ташева | 18,10 |
| Разгадаване на Хигс-бозон | студент Д. Андреев (ФКСУ) | 18:30 |

17.04. сряда

| Доклад | Автор(-и) | Час |
|---|--|--------------|
| Бозонът на Хигс или как се ражда масата | доц. д-р Леандър Литов | 17,00 |
| Разширена реалност | студент А. Андонов (ФаГИОПМ) | 18,00 |
| Вулкани, вулканична дейност и нейното влияние върху авиацията | гл. ас. Р. Ташева гл. ас. В. Танева | 18,20 |
| Обичайте физиката! | гл. ас. А. Карастоянов | 18,50 |
| Акад. В. Вернадски и история на геодинамиката. Геофизика, нови парадигми, развитие и противоречия | доц. д-р Б. Рангелов | 19,10 |

18.04. четвъртък

| | | |
|---|---|-------|
| Генерация, измерване и приложения на свръхкъси лазерни импулси | проф. д-р И. Копринков | 17,00 |
| Радиоактивни часовници | гл. ас. Р. Кобиларов | 17,30 |
| Цифровата и аналоговата телевизия | студенти А. Андонов (ФаГИОПМ) Н. Иванов (ФТК) | 17,50 |
| Атоми и молекули при свръхниски температури | доц. д-р Е. Димова (ИФТТ-БАН) | 18,10 |
| Космически кораби - действащи сили, устройство и страхотни провали | маг. Д. Илиева (ТФ) | 18,50 |

19.04. петък

| | | |
|--|--|-------|
| Демонстрации с викторина и награди | гл. ас. инж. Л. Георгиев | 17,00 |
| Представяне и демонстрации на студентски клуб „Роботика“ | студентски колектив | 17,30 |
| Демонстрация на самоделен реактивен двигател | студентски колектив (ТФ) А. Швайцер, Г. Леков, К. Фодор, Л. Крумов, М. Василев, П. Витков | 18,00 |

20.04. събота – научна сесия

| | | |
|--|---|-------|
| Числени симулации за определяне на функцията на разпределение на електроните по скорости в плазма | доц. д-р Хр. Търнев ас. Р. Андреева | 10,00 |
| Аналитично описание на скок от голяма височина | доц. д-р Д. Стоянов | 10,20 |
| Шистов газ – възможности и рискове | инж. М. Григорова (МГУ) | 10,40 |
| Нелинейни статистически модели за изходните параметри на CuVr лазер | доц. д-р Ил. Илиев, гл. ас. Н. Денев | 11,00 |
| Кафе-пауза | | 11.20 |
| Специалност “Инженерна физика” – разработване на нов лабораторен практикум за “Физика 1” | доц. д-р Е. Халова гл. ас. Н. Кожухарова | 12.00 |
| Свърхтънки слоеве, получени чрез йонна имплантация | проф. д-н С. Александрова доц. д-р Е. Халова | 12,20 |
| Преобразуване на фотометрични величини в радиометрични в оптична система с полупроводникови фотоелементи | гл. ас. д-р Т. Арабаджиев | 12,40 |
| Разсейване на хармонични SH вълни в пиезоелектрични материали с пукнатини | гл. ас. Йонко Стойнов (ФПМИ) | 13,00 |
| Земетресението в Перник на 22Май, 2012 и проект СИМОРА | доц. д-р Б. Рангелов | 13,40 |