



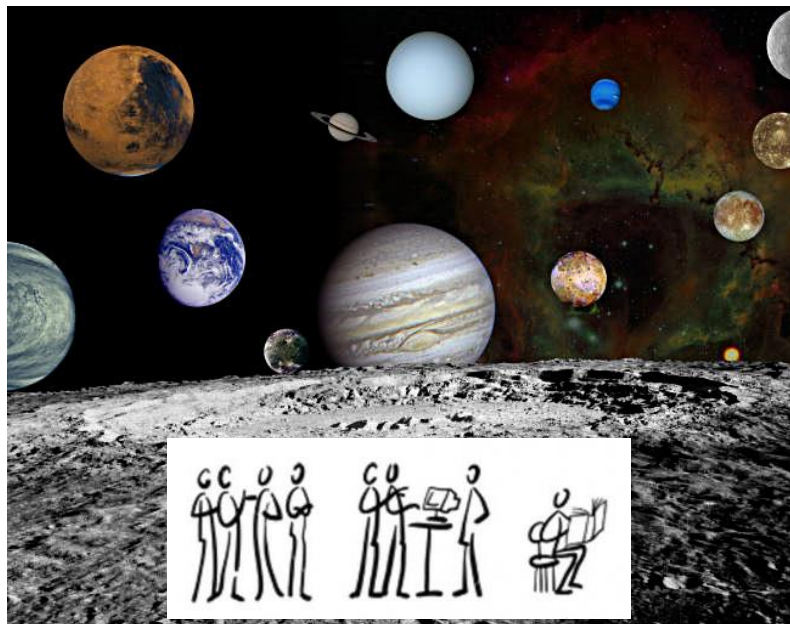
Технически университет София



Катедра „Приложна физика“

Сборник популярни и научни доклади

Дни на физиката 2017
Том 9



София, 25 - 29 Април 2017 г.

Дни на физиката 2017

Сборник популярни и научни доклади

Редактори: Е. Халова
С. Александрова
Н. Кожухарова

ИЗДАТЕЛСТВО НА ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

ISSN 1313-9576

ЗАВОД ЗА ОПТИКА

ОПТИКОЕЛЕКТРОН
ГРУП



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

Предговор

Настоящият девети том на „Сборник популярни и научни доклади“ включва доклади, представени на традиционните “Дни на физиката”, които се организират вече 13 години от Департамента по приложна физика към Техническия университет-София (Катедра по приложна физика) и се състояха в периода 25-29 април 2017г. Тази година дните на физиката по традиция бяха посветени на годишнини на бележити физици като И. Нютон и М. Кюри, на Нобеловата награда по физика за 2016 година. Акцентите в представените от студентите доклади бяха свързани с основните теми в обучението им, а дори и като част от дипломните им работи. Участниците, представили доклади през тази година, бяха както студенти от ТУ-София и от СУ "Св. Климент Охридски", така и преподаватели по физика от КПФ към ТУ-София, от филиала на ТУ-София в Сливен и други университети, а именно от Физическия факултет на СУ “Климент Охридски” и Минно-геоложки университет “Св. Иван Рилски”- София. Участие взеха и изтъкнати учени от БАН.

Докладите бяха посветени на интересни и актуални теми от различни области на физиката, свързани с фундаментални проблеми на модерната наука и теми от историята на физиката. Общият брой на представените презентации бе 24 и обхващаха по оригинален и увлекателен начин теми, разбираеми за широка и разнообразна аудитория в атмосфера на научен семинар. Радостен е фактът, че към проявите в областта на физиката има подчертан и траен интерес както от студентите първокурсници, изучаващи физика в момента, така и студенти от по-горните курсове на ТУ-София. Докладите на студентите бяха много добре представени на сесиите и оформени за публикуване в настоящия сборник. По общо мнение на студентите “Дните на физиката” са една добра възможност да придобият опит в излагането на научни проблеми и да участват в научни дискусии.

Научната сесия традиционно беше проведена в последния ден от “Дни на физиката”. Този ден даде възможност за среща на преподаватели и учени по физика от различни университети и институти на БАН. Представени и дискутирани бяха проблеми от широк спектър от съвременни научни области, по които работят преподавателите от споменатите по-горе университети. Фактът, че макар и съботен ден научната сесия беше посетена и от студенти, е показател за интереса на студентите към физиката.

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

Пълен списък на презентациите от Дните на физиката, са дадени в края на сборника. За съжаление някои от представените доклади не са включени в настоящия сборник, поради голямата служебна заетост на авторите, които не успяха да ги подготвят за изданието. Всички включени статии, представени на „Дни на физиката-2017“, са рецензирани от учени с познания и авторитет в съответната област.

Надяваме се поредният том на сборника, насочен главно към студентската аудитория, да представлява интересно, увлекателно и информативно четиво за всички, които проявяват интерес към физиката, да допринесе за повишаване на интереса на бъдещите инженери към тази красива и винаги модерна наука, чиито приложения са в основата на съвременната техника и технологии. Издадените през годините токове продължават да са интересно четиво за студентите, включително и тези, които по различни причини не са участвали като слушатели или лектори в „Дните на физиката“. Това е морално удовлетворение и оценка за усилията на организаторите от издаването на подобен сборник.

Изказваме благодарност на всички участници в “Дни на физиката - 2017” - лектори и слушатели, за проявения от тяхна страна интерес към физиката и нейните приложни аспекти. Специална благодарност дължим на членовете на Организационния комитет: проф. д-р И. Копринков, гл. ас. Н. Кожухарова и доц. д-р Т. Арабаджиев.

Дните на физиката се организират в рамките на Дните на науката на ТУ-София. Организирането и провеждането на Дните на физиката, както и издаването на настоящия сборник са съфинансирани по вътрешния конкурс „Дни на науката-2017“ на ТУ-София със средства от субсидията за научна дейност. От името на Организационния комитет и на студентите изказваме благодарност за финансовата подкрепа на НИС към ТУ-София.

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

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

СЪДЪРЖАНИЕ

ПРЕДГОВОР

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНИ ДОКЛАДИ

Н. Кожухарова, Е. Халова, Исак Нютон – ученият, положил фундамента на съвременната теоретична физика.....	3
Е. Халова, Н. Кожухарова, Мария Кюри - един живот, отдаден на физиката.....	9
С. Александрова, Нобеловата награда по физика за 2016.....	21
Р. Ташева, Синоптичната прогноза – предизвикателства и решения.....	31
Т. Арабаджиев, И. Узунов, Основен акцент в специализираното обучение по оптични информационни технологии за студенти от специалност „Инженерна Физика“ в ТУ-София	39
Д. Кузманов, Фотоелектричен ефект.....	43
Н. Косталов, И. Стоянова, Г. Добрев, Окото като модел на съвършенство	50
А. Атанасов, Р. Нейчева, Н. Тодоров, Интересни факти от живота и битието на Исак Нютон.....	57

НАУЧНИ ДОКЛАДИ

М. Григорова, Роля на кратните вълни в сеизмопроучването.....	65
Д. Стоянов, Относно проводимостта на електролит. Баланс на частиците и масовите потоци.....	71
И. Стефанов, Връзка между квазипериодичните осцилации в спектъра на черни дупки и вероятно разпределение на масите им.....	79
Т. Арабаджиев, И. Узунов, Числено моделиране и сравнение с експериментални данни на легиран с ербий влакнест усилвател с филтриране на шума и право напомпване.....	88
Авторски указател	93
Програма на Дните на физиката	94

ИСАК НЮТОН – УЧЕНИЯТ, ПОЛОЖИЛ ФУНДАМЕНТА НА СЪВРЕМЕННАТА ТЕОРЕТИЧНА ФИЗИКА

Невена Кожухарова, Елена Халова

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

Резюме. През настоящата (2017) година се навършват 330 години от излизането на капиталния труд на Нютон „Математични принципи на натуралната философия“ („Philosophiae naturalis principia mathematica“), а също 290 години от неговата смърт. Вече е традиция да се представят биографии на известни физици, които честваме през годината, което е и един от поводите да представим живота на един учен, положил основите на съвременната наука физика.

Ключови думи: Исак Нютон, биография

1. Кратка биография

Исак Нютон е роден на 25 декември 1642 г. в Улсторп, в близост до град Грантъм, графство Линкълншир, в семейство на заможен селянин (името на бащата е също Исак Нютон, но той загива в Гражданската война три месеца преди неговото раждане). Тъй като по това време в Англия все още не е въведен

Грегорианския календар, рождената дата, фигурираща в регистрите е на Коледа.



Гравюра по портрет на
Нютон от 1726 г.

През 1646 година майката се жени повторно а възрастен свещеник от съседно село и оставя Исак Нютон на грижите на своята майка - ларджъри Ейскоф. Малкият Исак не харесва оведения си баща (в едно от своите изказвания в рая на живота си Нютон признава, че в списъка а греховете си трябва да включи заплахите, оито е отправял към пастрока и майка си), но ъй като той е сравнително заможен - подпомага здръжката на имението Улсторп. След смъртта а втория си съпруг майката на Нютон отново се ръща в имението с трите си деца от него.

Своето образование Нютон започва около 1655 г. в Кралското училище в Грантъм, където показва необикновени способности, свързани

най-вече в конструирането на различни механизми. По време на престоя си в града живее при местния аптекар Уилям Кларк и дори се сгодява за дъщеря му, но се разделят и Нютон до края на живота си повече не се е женил. През 1659 г. се връща в умението в Улсторп след отстраняване от училището, като майка му се е надявала той да поеме грижите за семейната ферма, но Нютон мразел земеделската работа. Братът на майката и учителят на Нютон в Грантъм, Хенри Строукс, успяват да я убедят Исак Нютон да продължи образованието си и дори Строукс поема част от разходите.

През 1661 година Нютон постъпва в Тринити Колидж в Кеймбриджкия университет. Той работи докато учи, за да покрива част от разходите си. По



*Портрет на Нютон от
1702 година*

това време в програмите на обучение главно се е изучавал Аристотел, но Нютон предпочита по-нови философи като Р. Декарт и астрономи и физици като Коперник, Галилей и Кеплер.

Скоро след дипломирането на Нютон, поради започналата чумна епидемия като предпазна мярка е затворен университетът. През следващата година – година и половина Нютон се връща в Улсторп, където се занимава с самостоятелно с оптика, математика и гравитация.

Завръщането в Тринити Колидж е през 1667 г. като преподавател, а през 1669 г. заема поста на Лукасов професор, преотстъпен му от Айзък Бароу. По това време е прието преподавателите в Кеймбридж и Оксфорд да имат духовен сан от

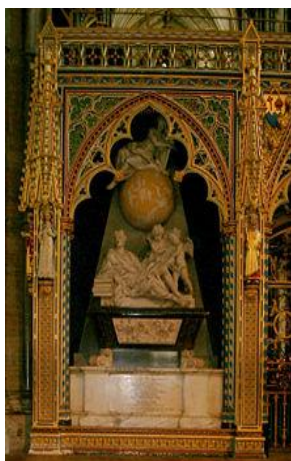
Англиканската църква, но той се опитва да го избегне, заради своите неортодоксални възгледи. За получаване на свещенически сан не е имало определен срок и то можело на практика да се отлага без ограничение. Нютон използва факта, че е Лукасов професор, а заемащите тази длъжност не е трябвало да са ангажирани с църковни функции, за да имат достатъчно време за научна работа. С помощта на Бароу, който е вече капелан, издействат от Чарлз II изключение от правилото за заемане на духовна длъжност.

Исак Нютон е избран за член на Кралското научно дружество през 1671 г. след демонстрация на направения от него рефлекторен телескоп.

В периода 1689-1690 и после през 1701 г. Нютон е член на Парламента, но единственият запазен запис, свързан с него, е оплакване от течение в залата и молба за затваряне на прозореца.

През 1696 г. Нютон заема поста на управител на Кралския монетен двор и се премества да живее в Лондон. Това назначение е с цел да му се осигури почетна длъжност и редовен доход, но той се заема активно с новите си задължения – участва в подмяната на монетите в обращение в страната и установява, че 20% от тях са фалшиви, което според тогавашните закони е третирано като държавна измяна и наказвано със смърт. Нютон активно

преследва фалшификаторите, обикаляйки преоблечен кръчмите, и благодарение на усилията му много от тях са осъдени на смърт. Една голяма заслуга на Исак



*Гробът на Нютон
в Уестминстърското
абатство*

Нютон е преминаването на паунда към „златен стандарт“ през 1717 г., важна реформа, оказала благотворно влияние върху развитието на Британската икономика през следващите десетилетия. Поради тези заслуги през 1705 г. той е удостоен от кралица Анна с благородническа титла (и до днес често Нютон е наричан „сър Айзък“).

Исак Нютон умира през 1727 г. в Лондон и е погребан в Уестминстърското абатство. Наследството му е поделено между осемте му полуплеменници, като имението в Улсторп получава старшият му наследник Джон Нютон. След смъртта му в тялото са открити големи количества живак и се предполага, че това е в следствие на дългогодишните занимания с алхимия.

2. Научна дейност

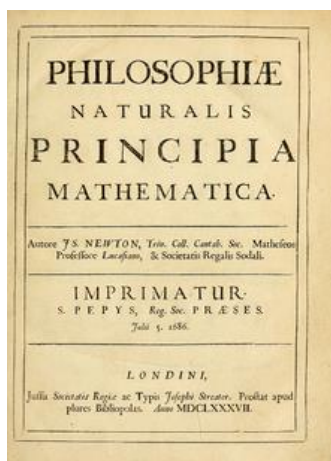
Основните области от физиката, в които Нютон има значителни приноси, са механиката и оптиката. Всъщност оптиката е първата област, в която работи и интересът му към нея е още от студентските години. В оптиката той се проявява не само като блестящ експериментатор при опитите по дисперсия на светлината, но и като създател на теории – корпускулярната теория за светлината. Първите лекции, които чете от 1669 година като Лукасов професор са по оптика. Периодите, в които Нютон работи в тази област са 60-те (когато работи паралелно и в областта на механиката) и 70-те години на века, когато към края и в началото на 80-те години на 17 век е написана и книгата „Optics“. Книгата излиза първо на английски език, а не на латински. В този период от историята научната литература е издавана първо на латински език. При написването на „Оптика“ Нютон се стреми да направи едно съчинение, което е достъпно до широк кръг от читатели и затова предпочита „живия“ език. В нея почти няма математически доказателства и книгата представлява класически образец на експерименталната физика. Доказателствата на теоремите на геометричната оптика, както и математическата теория на отражението на светлината могат да бъдат открити в „Лекциите по оптика“.

Работата на Нютон в областта на механиката и оптиката практически във времето се преплита и преходът става постепенно. Хипотезата за етера, изказана от Нютон през 70-те години засяга в еднаква степен оптичните явления и привличането между телата. В работите по оптика неизменно намират място въпросите, свързани с движението на небесните тела и привличането. Трябва да се отбележи, че едновременното изучаване на оптиката и всемирното привличане е широко разпространено през втората

половина на 17 век. Учителят на Нютон – Бароу, както и Хюйгенс и Хук работят едновременно в едната и в другата област и в този смисъл „двойствеността“ в интересите на Нютон е обичайна за епохата.

Разбира се, говорейки за научните работи на Исак Нютон, не можем да пропуснем неговите математически изследвания. Влияние в това направление несъмнено има учителят на Нютон – Бароу, който е негов предшественик в разработване на метода на флукациите. Всички основни работи по математика, практически, са от периода до 90-те години на 17 век, но са публикувани след преместването на Нютон в Лондон. Това е обусловено основно от дългогодишните, често недостойни, спорове между него и Лайбниц за това кой има водеща роля в създаването на интегралното и диференциално смятане. За Нютон тази математична работа има спомагателно значение като инструмент при решаване на физични проблеми. Като пример може да се даде въведената от него терминология при пресмятанията с безкрайно малки – „флукация“ и „момент“, които имат чист механичен първообраз и са значително по-конкретни от „диференциалите“ и „интегралите“ на Лайбниц. Не трябва в никакъв случай да се подценяват работите на Нютон в областта на математиката – новите задачи пред физиката поставят необходимостта от използване на нова математика и приносите на Нютон в създаването и разработването ѝ са огромни.

3. „Математични принципи на натуралната философия“ („*Philosophiæ naturalis principia mathematica*“)



Заглавната
страница на
„Математичните
принципи...“

В книгата са изложени основните закони на механиката и законът за всеобщото привличане. Тя се счита дълго време като библия на съвременната наука, а дори от някои физици е оценена като една от най-великите книги на човечеството. Нютон успява по блестящ начин да обобщи трудовете на своите предшественици, като Галилей например, и да им даде завършен вид. Успехите на големите личности в историята са обусловени от стремежите на техните предшественици. Много от тези предшественици на Нютон са били блестящи експериментатори като Хук и Галилей, но дори и надарени с качества упоритост и издръжливост, едва ли биха се справили със задачата да подредят в стройна система натрупаните експериментални знания за явленията и процесите.

Изследванията във физиката са стигнали до етап, в който успешното им продължаване е възможно за онзи, който съумее да обработи и разбере с цялата сила на математическия си гений наблюдаваните явления и успее да ги сведе до

основни закономерности. Именно в това е най-голямото значение на Исак Нютон.

Широко известен е разказът за начина, по който е открит закона за всеобщото привличане – неочакваното падане на ябълка от дървото в двора на имението Улсторп по време на престоя на Нютон там, когато поради чумната епидемия е затворен университета. Тази история е достоверна по думите на Стекелей, който пише за среща с Нютон в Лондон в края на неговия живот и предава разказа за случката от негово име. Разказът на Стекелей остава неизвестен, но пък се е разпространил аналогичен разказ на Волтер, предаден от племенниците на Нютон. Случката свидетелства за голямата роля, която играе случайността в историята. И както е казал „бащата на съвременната медицина“ Луи Пастър – тя служи винаги на онзи, който е подготвен за нея. Ще цитираме само един от многото стихове, написани по повод на тази случка, който е на чешкия поет В. Незвал:

*„Много ябълки носа на земното кълбо уцелиха,
но само Нютон от подутината си спечели.“*

Разсъжденията на Нютон се, че след като ябълката пада винаги отвесно, а не настрани, то тя пада към центъра на Земята. Както Земята привлича ябълката, така и ябълката трябва да привлича Земята. Трябва да съществува сила, подобна на оная, която наричаме тегло, която да „властва“ из цялата Вселена. В писмо на Нютон до Галилей през 1686 година той пише, че през последните две години е извел от законите на Кеплер зависимостта на силата на привличане между две тела от разстоянието и тя трябва да е обратно пропорционална на квадрата му. В друго писмо (пак до Галилей) той казва, че преди около петнадесет години е извел обратната квадратична пропорционалност от разстоянието за силата на привличане между Слънцето и планетите и е пресметнал правилното отношение на силата на тежестта на Земята, както и не съвсем точно привличането на Луната от центъра на Земята.

В книгата са намерени стойностите на първа и втора космическа скорост, т.е. скоростите на тяло, което е спътник на Земята и тяло, което е преодоляло земното привличане. Обяснени са и приливите и отливите с привличането на водните маси от Луната и Слънцето.

Книгата е всеобхватна и Нютон я пише в продължение на десетилетия, резултат от упорит труд. С нея практически се създава подходът на теоретичната физика. Принципите за физическия свят са „облечени“ в строга математична форма, а явленията, обектите и техните свойства се изучават и описват от математични уравнения. Вече бе споменато за една от основните причини за забавяне на публикуването на законите на механиката и това е липсата на подходящ математичен апарат. С известната дотогава математика Нютон не е могъл да докаже, че гравитацията от сфера с радиално



разпределение на масите във външна за сферата точка е същата, както от материална точка със същата маса, разположена в центъра на сферата.

Законите на Нютон трябва да са универсални – да са валидни както за падащата ябълка в градината, така и за далечните звезди. Истинската победа за небесната механика идва 150 години след написването ѝ с откриването на Нептун, наблюдавана за първи път от Гал през 1846 година на място, различаващо се само с 1 градус от мястото, изчислено съобразно движението на планетата Уран (тези предварителни изчисления са направили независимо един от друг Лъоварие и Едамс). Това не означава, че небесната механика е призната чак тогава, напротив, това е едно от немногобройните открития на човешкия дух, които намират широко признание.

4. Заключение



Подписът на Нютон

Нютон е важна част от историята на науката. Той е пример за изграждането на научна методика, поставил е фундамента на теоретичната физика. За щастие дори с величавото дело на Исаак Нютон, не завършва развитието на науката. Човешкото познание е безкрайно. Това е осъзнато и от самия Нютон, който в края на живота си пише: *„Не знам какъв изглеждам на света, но ми се струва, че съм като малко момче, което си играе на брега на морето и понякога намира по-пъстроцветно камъче, отколкото обикновено, или пък червена раковина, докато големият океан на истината се простира пред него неизследван.“*

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Вавилов С.И., Исаак Нютон, Москва.
- [2]. Бехоунек Ф., Бохачек И., Пинц З., И Нютон би се чудил, София, 1980
- [3]. <https://bg.wikipedia.org/>

МАРИЯ СКЛОДОВСКА-КЮРИ – ЕДИН ЖИВОТ ОТДАДЕН НА ФИЗИКАТА

Елена Халова и Невена Кожухарова

Катедра Приложна Физика, ФПМИ, ТУ-София, бул."Кл. Охридски" 8, София 1000
e-mails: ehalova@tu-sofia.bg, nkojuharova@tu-sofia.bg

Резюме. В настоящия доклад е направен кратък обзор на живота и основните научни открития на Мария Склодовска-Кюри. Това е пример на един живот, отдаден на науката, въпреки трудното историческо време и преживените лични трагедии.

Ключови думи: Мария Склодовска- Кюри, живот, физика.

I. Детски и юношески години

Мария Склодовска-Кюри е родена във Варшава на 7 ноември 1867г. в многодетно и щастливо семейство педагози. Баща ѝ Владислав Склодовски, завършил Петербургския Университет, е учител по математика и физика. Майка ѝ Бронислава Склодовска е високообразована жена, която ръководи училище за девойки. Мария, наричана в семейството Манюша, най-малкото от 5 деца на семейството. Има един брат Юзеф и четири сестри - Зося (Зофия), Хели (Хелена) и Броня (Бронислава), (фиг. 1).



Фиг. 1. Децата на сем.Склодовски.
Зофия, Хелена, Мария, Юзеф и
Бронислава (отляво)



Фиг. 2. Мария
Склодовска -
гимназиска



Фиг. 3. Бащата с
дъщерите си Маня,
Броня и Хели (отляво)

Маня се среща за пръв път с нещастieto през 1876г., когато от тиф, умира най-голямата ѝ сестра - Зося. На 9 май 1878г. от туберкулоза умира и майка ѝ. Скоро след това баща ѝ е бил отстранен от гимназията като преподавател за

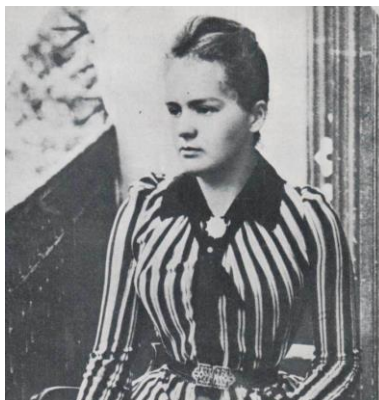
неподчинение. За семейството настъпват трудни години, но това не е попречило на Мария да завърши на 12 юни 1883г. гимназия със златен медал (фиг. 2), трети по ред след този на Броня и Юзеф. Тя е мечтала за университет, но в Полша вратите на висшите учебни заведения са били забранени за жени, а със средства за следване в чужбина семейството не е разполагало. Чувството ѝ за дълг към семейството ѝ (фиг. 3) я принуждават да стане гувернантка. Мария Склодовска прекарва 4 години на село, като дава уроци на децата на богат земевладелец. Същевременно е учила на писмо и децата на ратаите като им е купувала тетрадки и учебници от собствените си средства. През свободното си време се занимава с физика, химия и математика. Мария подпомага сестра си Броня финансово във връзка с нейното следване по медицина в Париж.

II. Студентка в Сорбоната

Мечтата на Мария най-сетне се сбъдва - успяла да спести известна сума и с помощта на сестра си Броня тя заминава за Париж и започва да посещава от ноември 1891г. лекции във факултета по естествознание в Сорбоната (фиг. 4). Мария изпитва огромни финансови затруднения. Около 3 години тя живее при много сурови условия, разполагайки само с най-необходимото. Малкото пари, които имала стигали за обучението и наема ѝ, а за храна почти не ѝ оставали. Често боледувала, защото оцелявала само на хляб, масло и чай. Пред нея е стояла само една цел: да получи диплома, за да може да работи като учител и тя влага всичките си усилия в ученето и не си позволява никакви развлечения.



Фиг. 4. М. Склодовска в Париж, където следва физика и математика -1891г.



Фиг. 5. М. Склодовска през 1893г



Фиг. 6. Младата семейна двойка

През 1893г. Мария се дипломира по физика (фиг. 5), а след няколко месеца през 1894г. и по математика, и двете специалности с отлични резултати. Изглежда целта е постигната, и тя ще може да преподава в любимата си родина Полша. Но в Мария се появило страстно желание да се заеме с изследователска работа. По това време получава задача да проведе изследвания в сферата на магнетизма, с което започва кариерата ѝ във Висшето училище по физика и

химия в Париж, оглавявано от младия френски физик Пиер Кюри. Нуждаела се от лаборатория, в която да работи и общ приятел я запознава с Пиер Кюри. Отговор на създалата се дилема - да се върне във Варшава и да стане учител или да остане в Париж, дава срещата на Мария с Пиер Кюри. Постепенно дружбата между тях прераства в дълбоко чувство. Мария Склодовска и Пиер Кюри били създадени един за друг, и съвместният им живот започва със скромната им сватба на 26 юли 1895г. (фиг. 6)



Фиг. 7. Мария и Пиер Кюри с дъщеря им Ирен през 1904г. в Париж



Фиг. 8. Мария Кюри с дъщерите си Ева и Ирен през 1908г.

На 12 септември 1897г. се ражда първата им дъщеря Ирен (фиг. 7), но Мари не позволила това да я отдалечи от работата. Работи по време на бременността и даже 2 седмици след раждането публикува втората си голяма теория. Години по-късно на 6.декември 1904г. се ражда и втората им дъщеричка - Ева (фиг. 8).

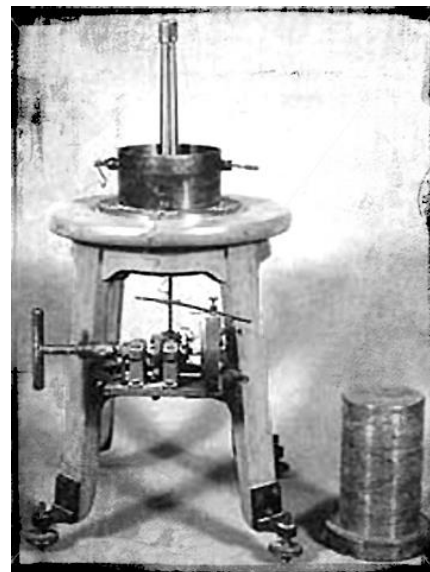
III. Изследователска работа

В края на 1897г. Мария Склодовска-Кюри решава да започне да работи над докторската си дисертация. Проучва редица научни резултати, за да избере тема за дисертацията си. Тя била заинтригувана от откритите на 8 ноември 1895 г. Х - лъчи, а по-късно рентгенови, от Вилхелм Ръонтген.

През 1896г. Анри Бекерел (професор във Висшето техническо училище в Париж) открива, че урановите соли емитират лъчи, чиято проникваща способност е сходна с тази на рентгеновите лъчи. При работа с уранови соли Бекерел по щастлива случайност установил, че фоточувствителна пластинка, завита в черна хартия, под действие на някакви неизвестни лъчи, излизащи от ураниевите соли светела. Както показали щателните изследвани в продължение на няколко седмици Бекерел установил, че лъчението е спонтанно и не зависело от външните условия. Мадам Кюри решила да провери дали не изпускат

фосфоресциращите вещества под действие на светлината лъчение подобно на X - лъчите на Ръонтген.

Мария Кюри, търсеща по това време интересна и плодотворна тема за докторската си дисертация, решила да изясни природата на тези „уранови лъчи“. Преди всичко тя решила да провери притежават ли подобни свойства други вещества и скоро установила, че такива лъчи се наблюдават и при тория, който е дори по-активен от урана. Именно Мария Кюри въвежда термина „радиоактивност“ за означаване на спонтанното излъчване на вещества подобни на урана и тория. За измерване на радиоактивните лъчения Мария използва уред, наречен електрометър (фиг. 9). Той е изобретен от съпруга ѝ Пиер Кюри и неговия брат Жак Кюри 15 години по-рано. Уредът осигурява възможност за измерване дори на минимално количество електрическа мощност. С негова помощ и други чувствителни електрически измерителни прибори, тя изследвала колекцията минерали, които се намирали в Училището по промишлена физика и химия, където работил съпругът ѝ. Мария доказва, че радиацията идва от самите атоми. Тя установила, че в минералите **пехбленда** и **харколит** степента на радиоактивност не съответства на количеството уран в тях, тя била значително повече. Мария изказала хипотезата за възможността в тези минералите да се съдържа нов радиоактивен елемент, непознат още в науката. Тази хипотеза била съобщена през април 1898г.



Фиг. 9. Електрометърът, изобретен от Кюри.

Пиер Кюри правилно оценил огромната научна перспективност на изследванията на съпругата си и решил напълно да се заеме с изследване на радиоактивността. Съвместните изследвания много скоро довели до зашеметяващи резултати. През юли 1898г. те съобщили за откритието на нов елемент - полоний, наречен на родината на Мария Склодовска - Полша. На 26 декември 1898г. във Френската академия на науките Кюри за първи път съобщават и за откритието на радия (от латински: *radius* - „лъч“, защото е много лъчист т.е. радиоактивен). Макар че съществуването на двата нови елемента било безупречно доказано с физични методи, в очите на химиците откритието не е окончателно. Според тях: „*Няма ли атомно тегло, няма и радий. Покажете ни радий и ще ви повярваме*“.

Мария и Пиер Кюри се заемат със задачата да отделят чист радий от пехбленда. Това било много трудна и изморителна работа. Налагало се на ръка, без лаборанти, във влажна и студена дървена барака, запълнена с вреден дим, да преработват **осем тона** отпадъци от уранова руда (пехбленда) от урановата мина в Чешка Бохемия (фиг. 10а, б).

Хангарът на ул. „Ламон“ е образец на неудобство. Лете поради стъкленият си покрив е горещ като оранжерия. Зиме - дъжд или сняг. Физиците трябвало да отбелязват къде точно капе, за да не поставят там уреди. Ако е било много стедено, направо замръзвали. Печката дори нажежена не помагала.



а



б

Фиг. 10. Вътрешен поглед от лабораторията на сем. Кюри

Упоритият им и тежък труд се увенчава с успех през 1902г., четиридесет и пет месеца след деня, в който двамата Кюри (фиг. 11) оповестяват вероятното съществуване на *радия*, Мария спечелва най-сетне победата в тази изтощителна война. Тя успява да извлече един дециграм чист радиев хлорид - сол с бял цвят, светец с приятна светлина.

По-късно през 1910г. Мария Кюри и френския химик Андре Дьобийерн получават и чист метален радий. Тя за пръв път определя атомното тегло на радия - 225 и мястото му в периодичната таблица на химичните елементи.

За тези години тя е писала: *“Трябваха ми 4 години за това, че съгласно изискванията на химиците, да докажа, че радия действително се явява нов елемент“*.

И по-нататък: *„Нямахме нито пари, нямяхме лаборатория, нито помощник, за да завършим успешно тази важна и трудна задача. Това беше все едно да създадеш нещо от нищо..., без преувеличение мога да кажа, че този период беше за мен и мъжа ми героичната епоха от съвместния ни живот“*.

През 1903г. Мария Склодовка-Кюри защитава докторска дисертация на тема *„Изследване на радиоактивни вещества“*. Началото в изучаване на радиоактивността е поставено и скоро щафетата поемат редица учени по света.



Фиг. 11. Мария и Пиер -
рамо до рамо по време на
работа

IV. Признание

Постепенно за съпрузите Кюри идва и признанието: През 1903г. Лондонското кралско общество ги награждава с медал „Дейви“.

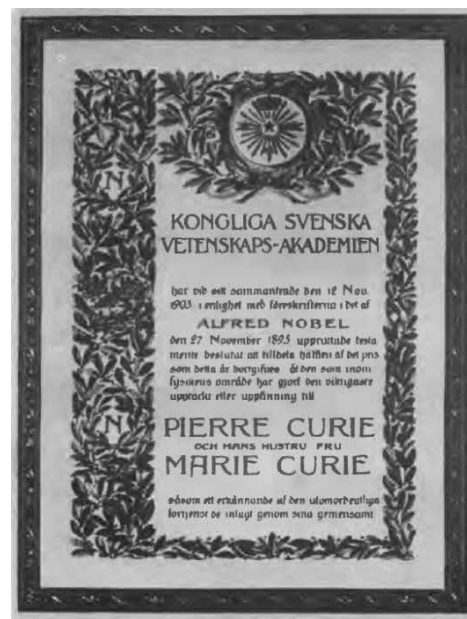
През същата година Мария Кюри е удостоена и със званието ”доктор на науките” от Парижкия университет и става първата жена, носител на такова звание във Франция.

През декември 1903г. от Швеция пристига съобщение за присъждане на Анри Бекерел и на Мария и Пиер Кюри Нобелова награда за откритие и изследване на радиоактивността (фиг. 12), но Мария и Пиер Кюри били болни и не могли да отидат в Стокхолм на церемонията по връчване на наградата. Те получили Нобеловата награда през лятото на другата година.

През 1904г. Мария и Пиер Кюри получават признание и от Италианската академия на науките, награждавайки ги с медала ”Матеучи”.

Най-накрая семейство Кюри получили признание и материално облекчение. Те не били тщестлавни, били безразлични към славата, тяхната единствена мечта е била да имат истинска лаборатория. За съжаление страната в която са направени тези велики открития не оказват заслуженото на Мария и Пиер Кюри. В своята забележителна книга „Мария Кюри“ [1]. по-малката дъщеря Ева Кюри пише за трудна съдба на своите родители: *„Франция се оказа страната, която последна признава тяхната стойност. Необходими са били най-малкото медалът „Дейви“ и Нобеловата награда, та най-после да дадат на Пиер Кюри катедра по физика“*.

Едва през 1905г. френското правителство взело решение да построи научно-изследователска лаборатория за изследване на радиоактивността. Изглеждало, че всички трудности останали зад гърба на семейство Кюри и започнал щастлив живот, напълно посветен на любимата им наука - физиката. Но нелепата и случайна смърт на Пиер Кюри на 19 април 1906г., премазан от коне, след като се подхлъзва и пада под бързо движеща се карета, разрушила всичките им планове. Но и този страшен удар на съдбата Мария Кюри понесла героически. Затворена в своята тъга тя отдава всичките си сили на науката. На 13 май 1906г.



Фиг. 12. Дипломът на Нобеловата награда, 1903г.



Фиг. 13. В Сорбоната Мария обучава много бъдещи учени.

тя е назначена на мястото на съпруга си и става **първата жена-професор в Парижкия университет** (фиг. 13).

Курсът ѝ лекции по радиоактивност нееднократно е бил преиздаван в много страни по света и по него много млади учени са овладявали тази нова област от науката физика.

Мария Кюри продължава мисията си да споделя своите знания със студентите си, както това прави в периода 1900-1906г. като преподавател по физика в девическото Висше педагогическо училище (École Normale Supérieure) в гр. Севър, където прилага за пръв път метод за преподаване, основан на принципа на учебния експеримент.

През целия си живот Мария изнася лекции в няколко европейски страни и посещава Съединените американски щати и Бразилия.

През 1910г. Мария Кюри издава великолепната „*Монография върху радиоактивността*“. Деветстотин седемдесет и една страници текст едва ѝ стигат, за да сумира знанията, придобити в тази област след не толкова далечния ден, когато двамата Кюри са оповестили откриването на радия! Под влияние на тази монография впечатляващ брой учени по света решават да започнат изследвания в областта на радиоактивните вещества.

Паралелно с преподавателската си дейност М. Кюри продължава и научните си изследвания. През 1911г., Мария Кюри (фиг. 14) за втори път, което е уникален случай в историята, е била удостоена с Нобелова награда, но този път за химия „за изключителните ѝ заслуги за развитието на химията: за откриване на елементите радий и полоний, за изолирането на радия и изучаването на природата и съединенията на забележителния елемент“. Тя е първият човек, който е награден с две Нобелови награди и е един от двамата Нобелови лауреати, на които са присъдени награди в две различни области на науката. Другият е Лайнъс Полинг. Мария Кюри постъпва етично, като не патентова процеса на отделяне на радия, а оставя научната общност да го проучва.

Велики са заслугите на Мария и за въвеждане на т. н. „кюритепия“ - за използване на радиоактивността при лечение на редица болести.

Мария Кюри е не само забележителен учен, но и добър наставник. Най-известни нейни ученици и последователи са Ирен и Фредерик Жолио-Кюри (фиг. 15), които през 1934г. открили явлението



Фиг. 14. М. Кюри при получаване на втората Нобелова награда - 1911г.



Фиг. 15. Ирен и Фредерик Жолио-Кюри в лаборатория по физика - 1953 г.

изкуствена радиоактивност при обстрелване на алуминий с α -лъчи, за което през 1935г. получават Нобелова награда за химия.

V. Късни години

Непосредствено преди Първата световна война в Париж бил открит „Радиев Институт - корпус Кюри“. През този чудесен месец юли 1914г. „Храмът на



Фиг. 16. *Ирен и Мария по време на I световна война във военни болници.*



Фиг. 17. *Полеви рентгенови лаборатории.*



Фиг. 18. *Санитарната кола с рентгеновата апаратура и М. Кюри.*

бъдещето“ на ул. „Пиер Кюри“ е завършен и чака само радия, научните работници и директорката си М. Кюри. В Института заедно с Мария работят и дъщеря ѝ Ирен и зет ѝ Фредерик Жолио.

По време на Първата световна война със съдействието на „Съюза на френските жени“ Мария Кюри заедно с дъщеря си Ирен създава **първата „рентгенова“ кола**. Поставя в обикновен автомобил рентгенов апарат и динамо, което, задвижвано от мотора на колата, произвежда необходимия ток. От август 1914г. тази подвижна станция обикаля от болница на болница. Около 220 подвижни и стационарни рентгенови лаборатории (фиг. 16) са използвани за преглед на ранени войници (фиг. 17), от чиято помощ са се възползвали над 3 милиона пациенти. В случай на нужда тя сама е сядала зад кормилото на своето Рено (фиг. 18). По време на войната тя обучава военни лекари за използване на радиологията, например да намират с помощта на рентгенови лъчи шрапнели в телата на ранените.

Тя организира и курсове за рентгенолози и техници на рентгенова апаратура. Натрупаният опит обобщава в монографията „*Радиология и война*“ през 1920г.

След войната Мари се връща в Радиевия институт. В последните години на живота си тя е научен ръководител на много студенти и съдейства активно за приложението на радиологията в медицината. Написва биография на Пиер Кюри, публикувана през 1923г. Периодично пътува до Полша, която в края на

войната получава независимост. Там консултира полските изследователи. През 1921г. заедно с дъщерите си посещава Съединените щати, за да получи като подарък 1 g радий за продължаване на опитите си. По време на второто си посещение в САЩ (1929г.) получава дарение, с което закупува още 1 g радий за терапевтично използване в една от варшавските болници.

Видният учен Мария Кюри се оказала една от първите жертви на продължително излагане на радиоактивно лъчение. За съжаление, като пионер в сферата на радиоактивността, тя не е знаела, че радиацията може да бъде фатална. Тя не е взимала никакви предпазни мерки при работата си, понякога носила проби в джобовете си (фиг.19), дори носила на гърдите си ампула с радий като талисман. По това време все още не са добре известни вредните последици от радиацията при работа с радиоактивни изотопи. През 1934г. отива в санаториум, с надеждата да си почине и да възвърне силите си.



Фиг. 19. Уран

Мария Кюри умира на 4 юли 1934г. в санаториума Санселемоз, близо до градовете Саланш и Паси, от апластична анемия (фиг. 20). Това е рядко заболяване, при което костният мозък не произвежда достатъчно кръвни клетки, което получила от излагането си на радиация. Ето официалното медицинско заключение на д-р Тобе: *“Мадам Мари почина в Сенселемоз на 4 юли 1934г. Болестта е скоротечна злокачествена анемия, съпроводена с температура. Костният мозък не реагира, навярно изтощен от продължителните облъчвания“.*

Мария Кюри е погребана в гробището в Со (фиг. 21) в присъствие на близките, приятелите и сътрудниците, които са я обичали.



Фиг. 20. Картонът на М. Кюри.



Фиг. 21. Паметникът Мария и Пиер Кюри в Со.



Фиг. 22. Надгробната плоча на М. Кюри в Пантеона.

Мария Кюри се превръща в най-известната жена-учен на всички времена и получава куп посмъртни почести и награди. През 1995г. нейните и останките на съпругът ѝ са преместени в известната парижка гробница Пантеонът (фиг. 22),

където почиват най-големите френски умове. Тя е първата и единствена жена, чиито останки са положени там.

Става членка на 85 научни дружества по целия свят и получава 20 почетни степени. От 1911г. до смъртта си взема участие в престижните Солвеевски конгреси по физика (фиг. 23, 24), дванадесет години е сътрудник на Международната комисия по интелектуално сътрудничество към Обществото на народите.



Фиг. 23. I конгрес на "Солвей", Брюксел, 1911г. – Мария е единствената жена сред множеството известни учени



Фиг. 24. Соловеевски конгрес през 1927г. - увековечени са великите умове на XX век - Албрт Айнщайн, Нилс Борн, Мария Кюри, Ервин Шрьодингер, Вернер Хайзенберг, Волфганг Паули, Пол Дирак, Луи де Бройл и др.



Фиг. 26. Родния дом на Мария Склодовска на ул. „Фрета“ във Варшава - днес къща- музей



Зали от къщата-музей

VI. В памет на Мария Склодовска Кюри

В памет на М. Кюри от 1990-те образът на Мария Кюри стои на полските банкноти от 20 000 злоти (фиг. 25).

Къщата във Варшава в която се е родила Мария Склодовска-Кюри е превърната в музей (фиг. 26).



Фиг. 25. Банкнота с образа на Мария Кюри.

VII. Заключение

Мария Кюри е била най-знаменитата жена-учен на XX век и ще бъде такава и в бъдеще.

Ето какво е писала Мари Кюри:

„Животът не е лесен за нито един от нас. Но какво от това? Трябва да постоянстваме и главно да сме уверени в силите си. Трябва да вярваме, че сме надарени за нещо и че сме длъжни да го постигнем на всяка цена.“

В заключение можем да кажем, че без научните открития на Мария Кюри не можем да си представим съвременната и модерна физика, медицина и други науки.

ЛИТЕРАТУРА

[1].

2. <http://bg.wikipedia.org/wiki/>

3.

НОБЕЛОВАТА НАГРАДА ПО ФИЗИКА ЗА 2016 Г.

Сашка Александрова

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

Резюме. Нобеловата награда по физика за 2016 г. е дадена за теоретични открития в областта на физиката на кондензираната материя чрез прилагане на топологични математични методи. Развита е теория на топологични фази на материята и топологични фазови преходи. Очаква се тези открития в бъдеще да доведат до създаване на ново поколение електроника и до създаване на квантови компютри. Нобеловата награда е триумф на обединение на математиката и физиката, което ще доведе и до изцяло нова физика в нискоразмерните системи.

Ключови думи: Нобелова награда, фази и фазови преходи, топология

1. Увод

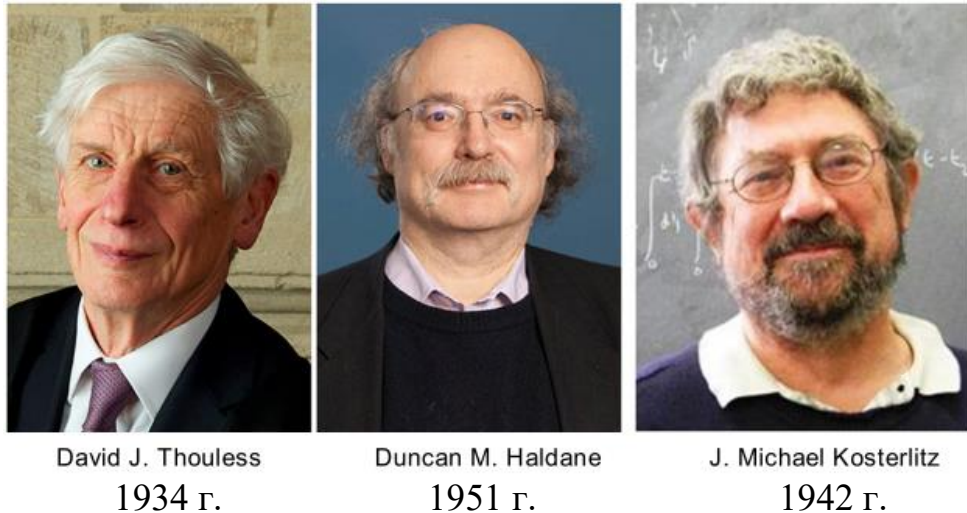
Нобеловите награди по физика от последните години предизвикваха интерес не само сред научната общност, но и сред по-широка публика, която е далеч от проблемите на физиката. Един такъв пример е откриването на Хигс-бозона (Нобелова награда за 2013г.), която популярните медии възвеличаха като "частицата на Бога" или на двумерния материал графен (Нобелова награда за 2010г.).

Нобеловата награда по физика за 2016г. бе присъдена за открития в много по-загадъчна област, както гласи мотивировката на Нобеловия комитет "за теоретични открития на топологични фазови преходи и топологични фази на материята". Доколкото топологията е раздел от математика, то очевидно тесният съюз на абстрактната математика и експерименталната физика доведе до изненадващи открития, достойни за най-висшата научна награда - Нобеловата премия.

Наградата се разделя наполовина между Дейвид Тоулес от Университета на Вашингтон, Сиатл, и Дънкан Халдейн от Университета в Принстън, Ню Джърси и Майкъл Костерлиц от Университета Браун, Род Айлънд (фиг. 1). И тримата се определят като британски физици, но работещи в САЩ.

Най-често Нобеловата награда се дава на учени, направили своите открития преди много години и резултатите им са довели до значителни приложения. Наградата не се дава посмъртно. Ако не беше така, щеше да има и още един претедент - Вадим Березинский (1935 - 1980) (фиг. 2). Своите работи той е публикувал преди Костерлиц и Тоулес, и неговото име се споменава в

материалите на Нобеловия комитет. Както се е шегувал именитият руски физик Виталий Гинзбург по повод собствената



Фиг. 1. Носителите на Нобеловата награда за 2016 г.

си Нобелова премия, на която е станал лауреат на 87 годишна възраст, главната му заслуга е в това, че е доживял да я получи.



Фиг. 2. Вадим Березински
1935-1980

Преди обявяването от Нобеловия комитет сред учените от цял свят имаше сериозни очаквания наградата да бъде дадена за откриването на гравитационните вълни, последният все още недоказан извод от Общата теория на относителността на Айнщайн. Причините могат да бъдат няколко. Гравитационните вълни бяха детектирани чрез експериментите на LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory - Лазерна интерферометрична обсерватория за гравитационни вълни). За LIGO работят голям брой учени - над 1000. Нобеловата награда може да се даде на не повече от трима учени и тогава

възниква въпросът "на кои трима?".

Претенденти могат да бъдат тримата основатели на проекта - Rainer Weiss, Kip Thorne и Ronald Drever. Често се споменава и бившият директор на LIGO Barry Barish, при когото започват експериментите. От друга страна, макар LIGO да е изключителна апаратура, Нобеловата награда не се дава за инструмент, докато с него не се направят сериозни открития, които да променят разбиранията ни за физиката или вселената. Отбелязва се и малко закъснялото обявяване на откриването на гравитационните вълни - 03.04.2016г., а номинации се приемат до края на февруари на съответната година. Очаква се

обаче с експерименти с LIGO да бъдат направени и други открития, заслужаващи Нобеловата награда.

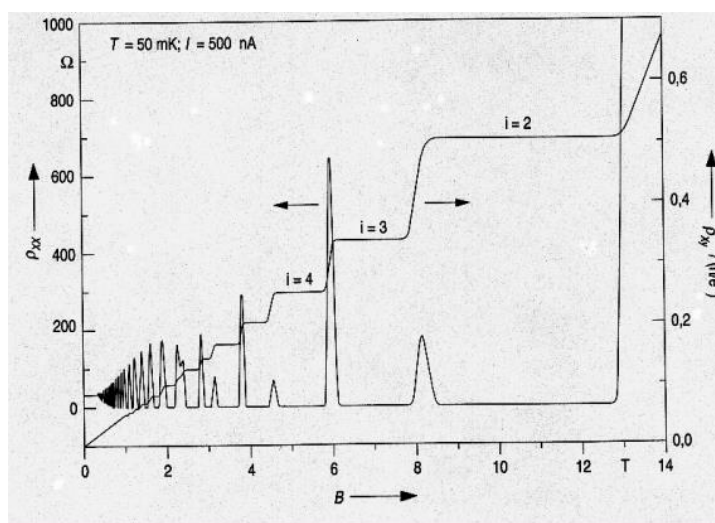
Независимо от това остава въпросът защо "за топологичните фази на материята?". Наградата е в областта на физиката на кондензираната материя. Открито е напълно неочаквано поведение на кондензирани материали, дадено е математическо обяснение (в областта на топологията), на странните им свойства. Откритията проправят пътя за проектиране на нови материали и изкуствени структури с неочаквани нови свойства. Появява се нова наука с огромен приложен потенциал. Може за се направи аналогия с полупроводниковата революция на XX век.

2. Физика и топология

Заслугата на учените, които получиха Нобелова награда по физика за 2016г., се състои в това, те показаха теоретично, че процесите на свръхпроводимост или свръхфлуидност могат да се наблюдава в "плоския свят" - много тънки слоеве, които могат да се разглеждат като двумерни структури, за разлика от привичния ни тримерен свят, в който всичко е с три измерения - ширина, дължина и височина. На прага сме на вълнуваща нова наука и на в напълно непредвидими приложения.

Работите, за които се дава наградата, са публикувани през 70-те години на XX век. Експерименталните потвърждения идват значително по-късно. Често оценяването на нови идеи и концепции и нови начини на мислене изисква време.

Интересно е, че Нобеловата награда е за обяснение на ефект, за който вече е дадена Нобелова награда - квантовия ефект на Хол. Ефектът е открит от Клаус фон Клитцинг през 1980г. и представлява явление, при което електрони в много тънки слоеве при охлаждане до температури близо до абсолютната



Фиг. 3. Квантов ефект на Хол.

нула и подложени на силно магнитно поле проявяват особена форма на подредено джежение - с увеличаване на магнитното поле проводимостта им нараства стъпаловидно. За това откритие фон Клитцинг получава Нобелова награда за 1985г. През 1982г. Таулес дава обяснение на това явление на базата на топологични представи. Работите на Вадим Березински също се отнасят до нискотемпературните свойства на двумерни системи.

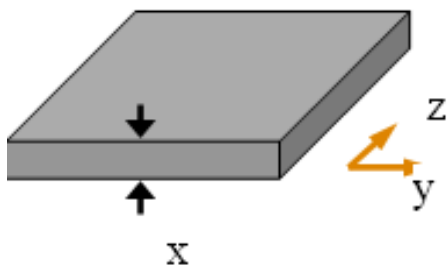
По същото време Халдейн прилага идеите на топологията към верижки от магнитни атоми. Тези атоми имат квантовото свойство спин, и през 1982г. Той прогнозира, че определени верижки атоми могат да показват топологични свойства, които водят до половин спин и в двата им края. Тъй като тази квантова собственост зависи от колективното действие на цялата верижка, а не от отделните частици, подобни явления сега се изследват като начини за кодиране на информация в квантов компютър.

Откритията на тазгодишните нобелови лауреати доведоха до пробиви в теоретичното разбиране на особености на кондензирани материали и създават нови перспективи за развитието на иновативни материали.

Както видяхме по-горе, във формулировката на Нобеловия комитет са очевидни две понятия, на които ще се спрем по-нататък: фази и фазови преходи и топология.

2.1. Двумерни системи

Областта от физиката, известна като „Физика на кондензираната материя“ е областта, в която понастоящем работят мнозинството физици в целия свят. От

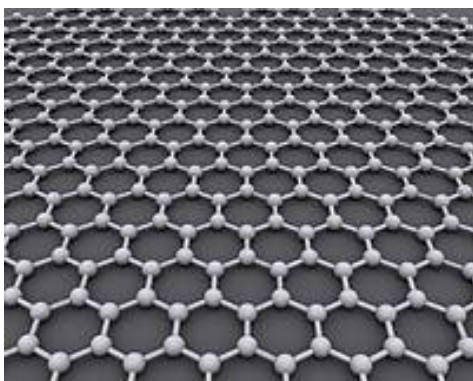


Фиг. 2. Двумерна структура
- тънък слой

40-те последни Нобелови награди досега 22 са в тази област. Физиката на кондензираната материя се занимава с описание на колективни явления, взаимодействия, корелации в многочастични системи, каквито са например твърдите тела, състоящи се от огромен брой частици. Както възкликва нобеловият лауреат за 1977г. П. Андерсън "*More is different!*", т.е. поведението на система от голям брой частици има специфични свойства - набор от много частици действа кохерентно. Става още по-интересно, ако ограничим частиците в двумерно измерение (2D) - плоска повърхност за разлика от привичния свят с три измерения. На практика това може да бъде съвсем тънък слой, т.е. структура, за която третото измерение е много по-малко от другите две, както е показано на фиг. 3. Тогава свойствата на частиците и взаимодействията им стават съвсем различни. Можем да ограничим още размерността до единица и получаваме верижка от частици, т.е. 1D.

В тримерния кондензиран свят има така наречения далечен порядък, т.е. познатото ни подреждане на частиците в кристалите. Дълги години се смята, че

това подреждане е невъзможно в 2D случая поради топлинните флуктуации на частиците. Основната заслуга на нобеловите лауреати е, че те показват, че



Фиг.3. Кристална структура на графен: *хексагонална решетка*

порядък е възможен и в така наречените нискоразмерни 2D и 1D системи, което отваря неограничени възможности за създаване на материали и структури с необикновени свойства. Първото експериментално доказателство за подреждане в нискоразмерни системи е откритието на графена, който представлява двумерна въглеродна решетка (фиг. 4). Откритието е направено от руските учени А. Гейм и К. Новоселов, работещи в Англия, за което те получиха Нобеловата награда за 2010г.

2.2. Фази и фазови преходи

Трите състояния на материята, са добре познатите твърдо, течно и газообразно. При екстремални условия като напр. високи температури

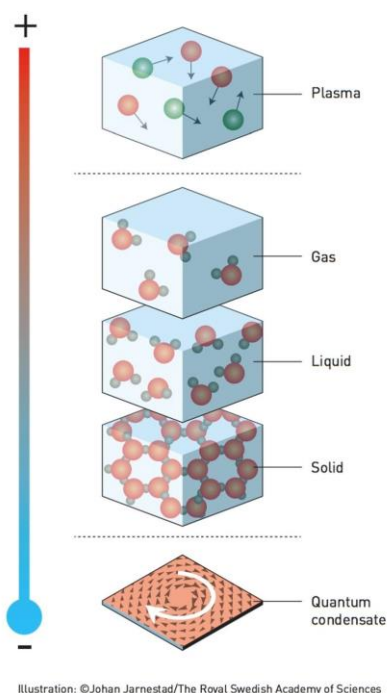
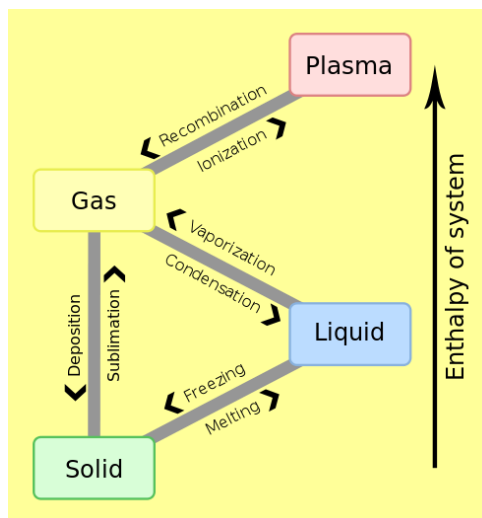


Illustration: © Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

Фиг. 4а. Състояния на материята - фази.

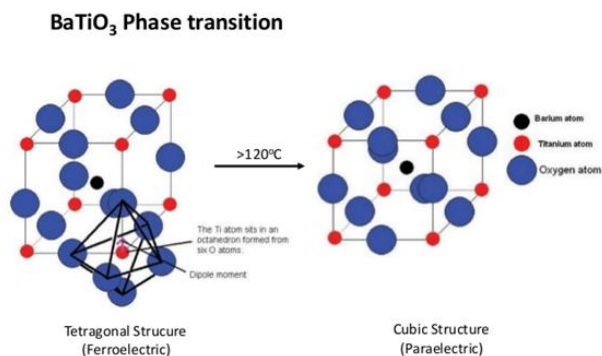


Фиг. 4б. Фазови преходи между различните състояния.

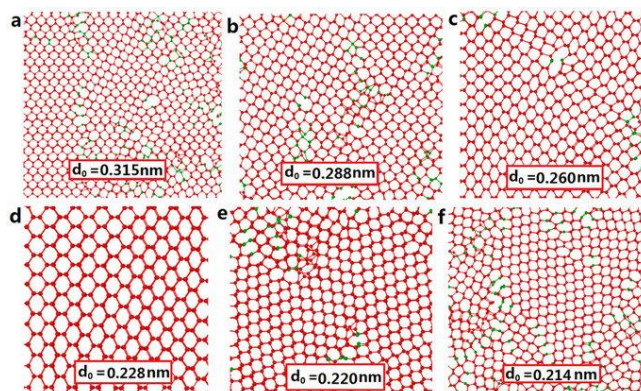
веществото може да бъде в състояние на плазма, а при ниски температури - кондензат. На езика на физиката това са *фази*, всяка от които със специфични свойства. На фиг. 4а са показани различни фази на съществуване на материята.

При промяна на условията фазите могат да преминават една в друга, т.е. може да се извършват фазови преходи. Пример за фазови преходи между описаните по-горе състояния е даден на фиг. 4б.

Фазови преходи може да има и между различни кристални модификации. Примери са дадени на фиг. 5. Преход във веществото бариев титанат от тетрагонална в по-подредена кубична структура при повишаване на температурата е показан на фиг. 5а. Преходи в между различни фази на въглерода от графит до диамант са показани на фиг. 5б.



Фиг. 5а. Фазов преход в BaTiO₃.



Фиг. 5б. Фазови преходи във въглерод.

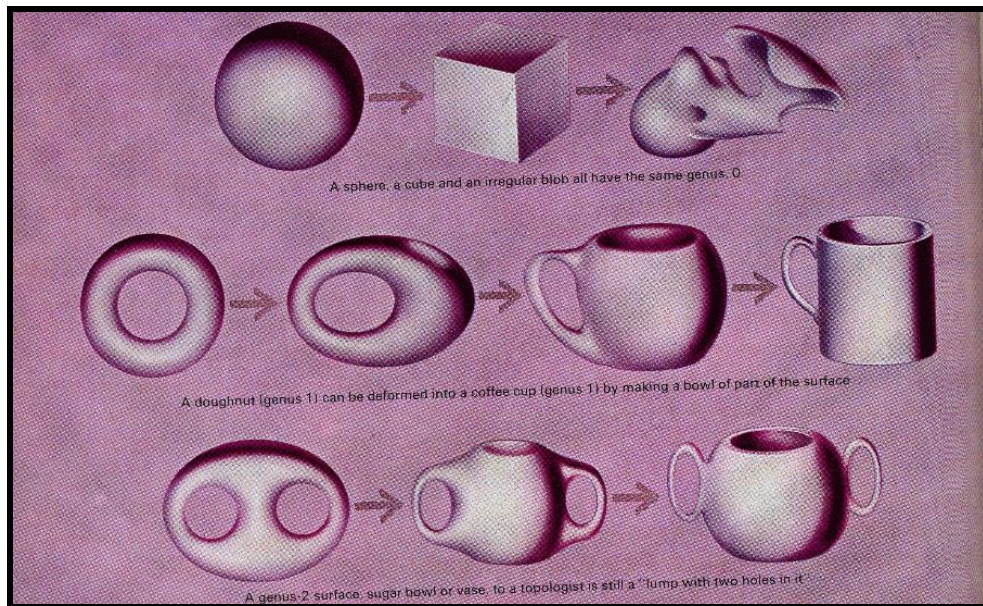
2.3. Топология

Топологията е раздел от математиката, занимаващ се с изучаване на формите на обектите (фигурите или пространствата), свойствата на които се запазват при непрекъснати деформации, като разтягане, свиване, огъване. Важни са свойствата, които остават инвариантни, т.е. непроменящи се, при определени трансформации.

Понятието топология идва от гръцки език τόπος - място, и логос - изучавам. За истински баща на топологията се смята френският математик Анри Поанкаре, чиито основополагащи трудове са от края на 19-ти век.

Можем да кажем, че топологията е изследване на пространства. Докато геометрията борава с понятия като дължини, ъгли и размери, то топологията вижда само формата на пространството и неговите качествени характеристики. Ето защо топологията понякога се нарича "геометрия на гумения лист". Понастоящем се нарича алгебрична топология.

От топологична гледна точка фигурите от всеки ред на фиг. 6 са от една и съща категория. Тогава говорим за топологичен инвариант. На фиг. 6 това е броят отвори на фигурите от съответния ред - 0, 1 и 2.



Фиг. 6. Топологичен инвариант - брой отвори

Една илюстрация са фигурите от втория ред - "геврек" и "чаша с дръжка". От гледна точка на топологията тези фигури не се отличават една от друга, тъй като имат едно отворстие и следователно могат да се "деформират" една в друга, без да се променя броят отворстия. "Геврекът" обаче не може да се трансформира в "топка".



Фиг. 7. Топологичен фазов преход

Подобно на разгледаните фазови преходи по-горе, може да има и топологични фазови преходи между две топологично различни фази.

Илюстрация на топологичен фазов преход е дадена на фиг. 7 за преход между фигурите от различните редове на фиг. 6, т.е. фигурите с различен брой отвори.

3. Приложение на топологичните идеи

3.1. Топологични свойства

Приложението на топологичните идеи означава изучаване на свойствата на геометрични фигури или на твърди тела, които остават инвариантни при определени трансформации.

Интересното е, че топологичните свойства имат тенденцията да са устойчиви. Така напр. ако нишка, завързана на здрав възел, не може да се освободи, без да се среже.

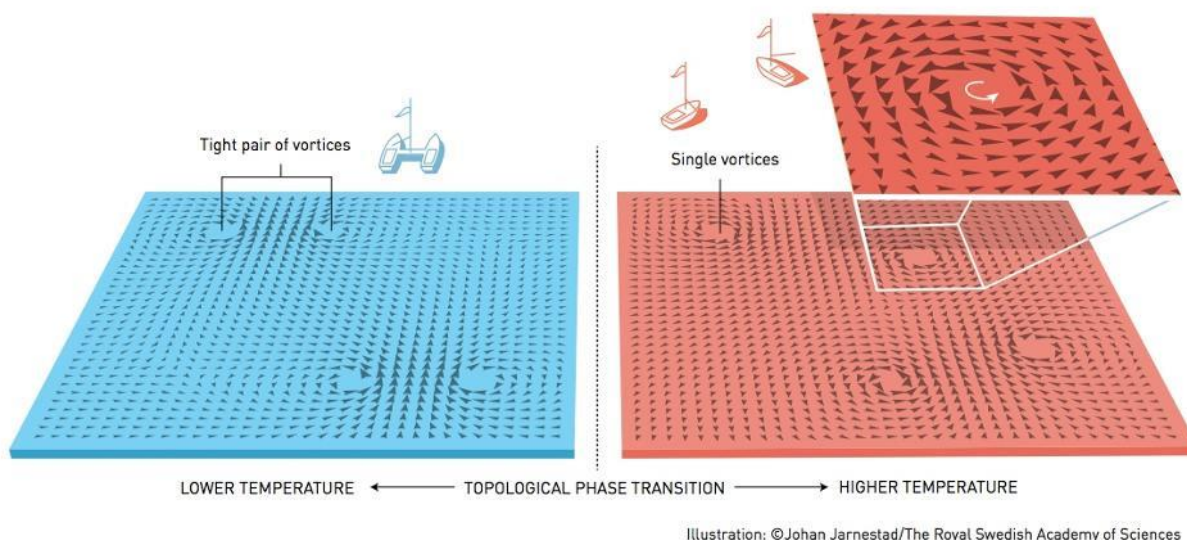
Таулес показва, че квантовият Хол-ефект е също топологично явление. Промените в свойствата на двумерната система не биха могли да се случват гладко, което би било математически подобно на „деформирането“ на топологична система, а трябва да се появи на отделни стъпала.

Графенът е изключително добър проводник на електрически ток (носители на заряд в него са безмасови диракови фермиони) и топлина, много еластичен и непроницаем за всички молекули. Това също са топологични свойства.

Друг клас топологични материали са така наречените топологични изолатори. Това са материали, които в обема си са изолатори, но на повърхността се държат като метали, поради топологични особености на електронната структура - свободни електрони с необикновени свойства: спинове, подредени перпендикулярно на посоката на движение. Причина е наличието на повърхностни нива на проводимост. Такива нива могат да се съдържат и в обикновените изолатори, но в топологичните те са различни, тъй като се явяват топологично защитена чрез запазване на броя на частиците. Подобно на полупроводниците от средата на миналия век, тези топологични изолатори ще да намерят приложения, които понастоящем не можем да си представим.

3.2. Топологични фазови преходи

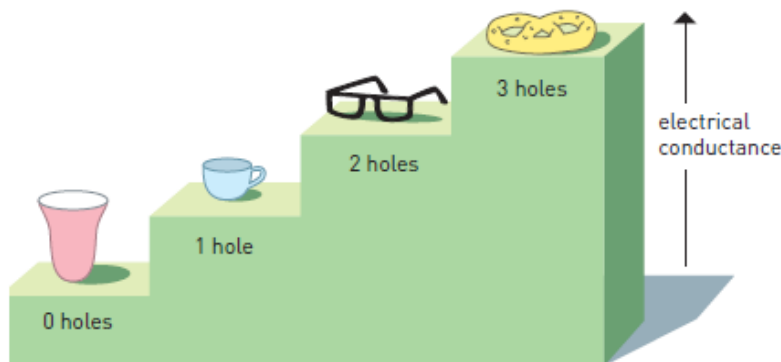
Таулес и Костерлиц показват, че топологични фазови преходи, при които материалът превключва между състояния с различни топологии, са възможни в тънки слоеве материали.



Фиг. 8. Топологичен фазов преход в тънък слой

Топологичният фазов преход не е обикновен фазов преход, подобен на този между лед и вода. Водещата роля в топологичния преход играят малки вихри в плоския материал (фиг. 8). При ниски температури те образуват здрави двойки. Когато температурата се повиши, настъпва фазов преход: вихрите изведнъж се отдалечават един от друг движейки се в материала независимо.

На фиг. 9 е дадена илюстрация на приложение на идеите на топологията за обяснение на електричната проводимост при квантовия ефект на Хол: стъпаловидното ѝ изменение цяло число пъти.



Фиг. 9. Стъпаловидно изменение на свойствата цяло число пъти.
Аналогия с квантовия ефект на Хол

4. Заключение

Дейвид Тоулес, Дънкан Халдейн от Университета и Майкъл Костерлиц получават Нобеловата награда по физика за 2016г. за техните открития, довели до пробиви в теоретичното разбиране на странни свойства на кондензираната материя и създали нови перспективи за развитието на иновативни материали. Тримата носители обясняват поведението на екзотични фази или състояния на материята, като свръхпроводници, суперфлуиди или тънки магнитни слоеве, чрез математическата концепция на топологията, която описва свойства, оставащи непроменени, ако даден обект се деформира, но не се разкъсва. Казано по друг начин те показват как на базата на топологични понятия могат се конструират нови форми на материята.

Нобеловите лауреати показват, че двумерни системи като тънки флуидни слоеве или еднослойни материали могат да проявяват изненадващи ефекти, пренос на флуид без вътрешно триене или неконвенционални електрически свойства; едномерните системи могат също да показват странни свойства. За да обяснят тези явления, изследователите се използват понятия като вихри, изкривени повърхности и други "топологични" обекти, чиито свойства са стабилни и независещи от конкретния материал.

Много философи, физици и математици се подчертават удивителната способност на математиката да опише природата. В известна своя статия нобеловият лауреат Юджийн Уигнър нарича това "неразумната ефективност на математиката". Той споделя идеята, често поддържана от учените, че математическите понятия имат приложимост далеч извън контекста, в който са били първоначално разработени. Въз основа на своя опит той казва: "важно е да се отбележи, че математическата формулировка на често "сурови" физични експерименти води в необичайно голям брой случаи до невероятно точно описание на голям клас явления".

ЛИТЕРАТУРА

1. The 2016 Nobel Prize in Physics - Press Release - Nobelprize.org
https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2016/press.html
2. Physics - Focus: Nobel Prize-Topological Phases of Matter
<https://physics.aps.org/articles/v9/116>
3. Current Science, **111**, 8, 25 October 2016
4. http://en.wikipedia.org/wiki/Topological_insulator
5. E. Wigner "The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences," in Communications in Pure and Applied Mathematics, **13**, 1 (February 1960). New York: John Wiley & Sons, Inc.

СИНОПТИЧНАТА ПРОГНОЗА - ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА И РЕШЕНИЯ

Радостина Ташева

Катедра Приложна Физика, ФПМИ, ТУ-София, бул."Кл. Охридски" 8, София 1000
e-mail rad_tasheva@abv.bg

Резюме. Представени са предизвикателствата възникващи при съставянето на метеорологичните прогнози и методите използвани за решаване на проблемите свързани с изготвянето на надежни прогнози.

Ключови думи: синоптична прогноза, полярен фронт, планетарни вълни на Росби, струйни течения

5. Увод

Понятието „време” означава комплексът от всички явления и стойности на метеорологичните елементи - налягане, температура, влажност, вятър, видимост, облачност и т.н. в даден интервал време над даден район. Времето зависи от множество външни и вътрешни за атмосферата фактори. Атмосферните движения са винаги турбулентни, а протичащите атмосферните явления имат случаен характер. Те се развиват в тримерно пространство и не са стационарни.

Процесът на прогноза на времето се състои от два главни етапа. Първият е синоптичният анализ, който представлява диагноза на състоянието на атмосферата и дава сведения за началните стойности на полетата на метеорологичните елементи. Целта е наличните данни да се свържат в единна система обясняваща състоянието на атмосферата в момента. Етапът на прогнозата започва с прогнозата на метеорологичния фон и завършва с определяне на хода на метеорологичните елементи и възможните явления за периода на прогнозата.

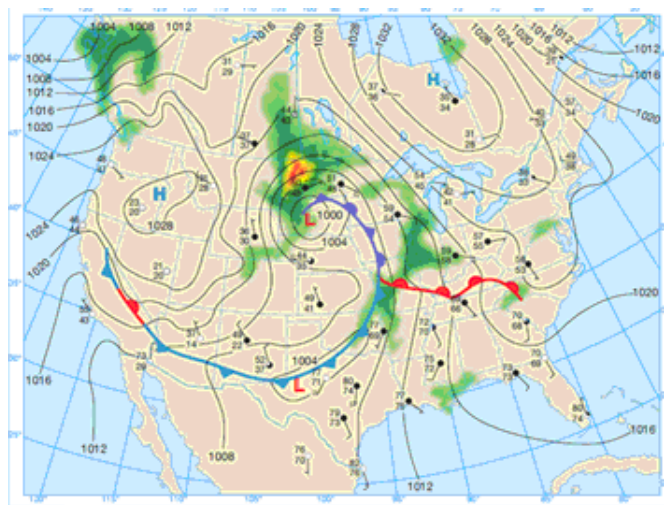
6. Синоптичен анализ

Първата стъпка към предсказване на времето е съставянето на точна картина на текущите атмосферни условия. Тази огромна задача, известна като синоптичен анализ включва събиране, пренасяне и обработка на обширен масив от данни за изключително кратък период от време, предвид променливия характер на атмосферата.

Основните данни се събират четири пъти дневно в 0000, 0600, 1200 и 1800 от 11500 наземни станции, 1000 радари за време; 1300 станции за атмосферни измервания във височина (аерологични станции), 15 кораба за височинни профили на вятъра над океана, повече от 3000 автоматични системи за измервания от борда на самолети, 4000 кораба изпращат регулярно данни, 1250 буйове на дрейф и над 500 закотвени буйове [1]. За изследвания във височина има и 5 геостационарни спътници и 2 спътника с полярни орбити. В 0000 и 1200 всеки ден се пускат около 1500 балона носещи радиосонди, които след пукането си на около 35 km падат надолу с помощта на парашут. Те съдържат сензори за измерване на температурата, влажността и налягането. Височинният профил на вятъра може да се снее със специални радари до 10 km височина през интервали от 6 минути.

Обективният анализ на получената информация започва след събирането и декодирането на метеорологичните телеграми. Първата стъпка е изключването на грешната информация и допълването на липсващата. Най-често се използва методът на оптималната интерполация, който позволява от стойностите на един метеорологичен елемент, измерени в неравномерно разположени станции, да се получат чрез статистически подходи стойности му за същия срок на наблюдение във възлите на регулярна мрежа от станции, в които ще се прогнозира бъдещите стойности на този елемент. Субективният анализ извършен от синоптиците допълва и коригира, интерпретира и усъвършенства получените машинно карти като позволява в съответствие с техния опит да се отстранят непредставителните данни на всички нива и да се получи възможно най-адекватната на данните прогноза [2].

Така обработената информация се изобразява върху голям брой карти наречени синоптични, което означава „съвпадащи по време“, показващи съвкупността от атмосферни условия в даден момент. Една част от тях показват, с помощта на подходящи символи, състоянието на атмосферата при земната повърхност - приземни синоптични карти (фиг. 1). Най-съществената част от тях е разпределението на атмосферното налягане дадено чрез изобари.



Фиг. 1. Приземна синоптична карта

Освен тях два пъти дневно се чертаят карти даващи състоянието на атмосферата във височина наречени карти на бариичната топография. С цел да се избегне зависимостта на налягането от плътността на въздуха това са контурни карти показващи височината на дадена изобарна повърхност в метри или декаметри т.е. релефа на бариичното поле. (виж т.4)

При анализа на състоянието на атмосферата се взема предвид нейната сложност и непрекъснатата изменчивост, както и основните физични закони, които ръководят поведението ѝ. Основните принципи на синоптичния анализ са устояли на теста на времето - многократно са доказвали своята ефективност.

Принципът на съпоставяне изисква при анализа да се разглеждат данните за отделните метеорологични елементи като съвкупност както за отделна станция, така и за група станции.

Принципът на пространственото съгласуване /тримерност на анализа/, предполага съгласуван анализ на приземните карти и картите на бариичната топография (височинни карти), вертикални разрези и др. Например, спазва се областите на ниско налягане с височината да са изместени в страната на студения, а областите на високо налягане - към страната на топлия въздух.

Принципът на историческата последователност се съобразява с факта, че атмосферните обекти имат "жизнен цикъл" който трябва да е отразен в поредицата от синоптични карти.

Принцип на физическата логика води до изискването изводите от синоптичния анализ да не противоречат на закономерностите на физиката на атмосферата и метеорологията.

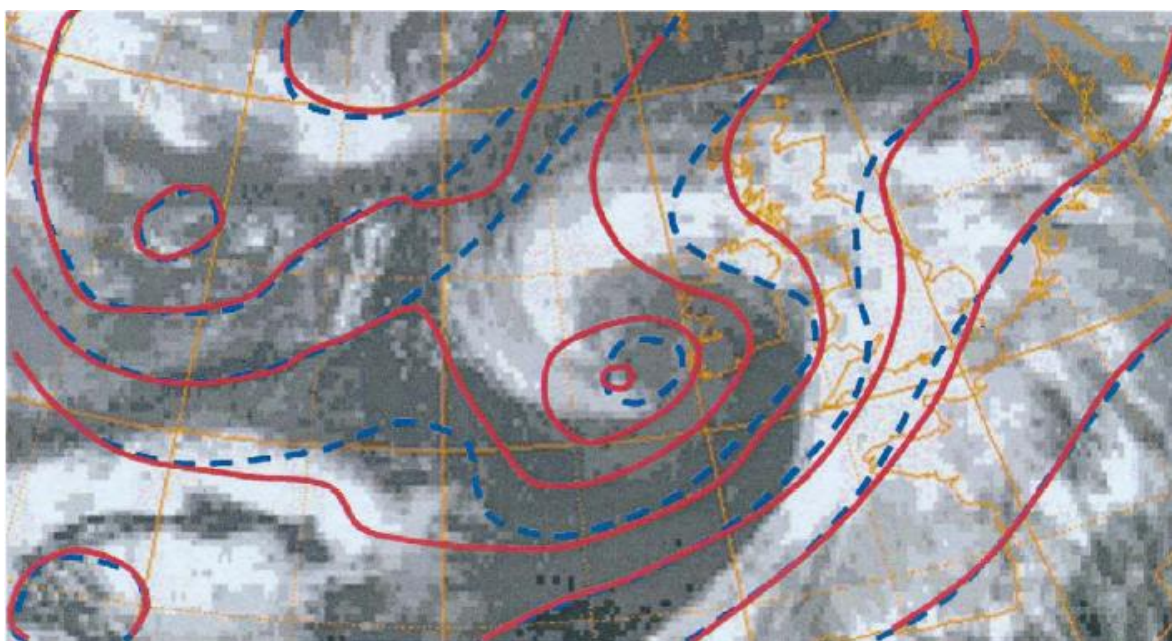
7. Синоптична прогноза

Общата схема за прогноза на времето включва два последователни етапа. Първият е прогноза на метеорологичния фон - едромашабното разпределение на бариичните полета на различни нива, на влагата, вертикалните движения, вятъра в свободната атмосфера и атмосферните фронтове. Системата от частни нелинейни диференциални уравнения на динамиката и термодинамиката на атмосферата (уравнения на времето) описваща това разпределение може да се решава само числено и тези решения представляват фона върху който ще се развива атмосферата. На базата на прогнозирания метеорологичен фон, отчитайки и местните влияния на времето през втория етап на прогнозата се определя ходът на основните метеорологични елементи и възможните явления за целия период на прогнозата. Почти до началото на 60 години синоптичните карти са чертани на ръка и са служели като основно средство за прогноза. В наши дни процесът на съставяне на синоптичната прогноза започва с въвеждане на началните данни за температурата, скоростта на вятъра, налягането и влажността в съответния компютърен модел. След милиарди изчисления се получава прогнозата за тези метеоеlementи за кратък интервал време (може би само 15 минути). Получените данни отново се внасят в компютърните

симулация и процесът продължава докато се получи прогноза за 6 или повече дни, изразена в прогностични карти. Някои модели предсказват и максималните и минимални температури, скорост на вятъра, възможности за валежи, промени в движението на въздушните потоци във височина и др. Специални статистически пакети програми от типа MOS (Model Output Statistics) модифицират компютърно генерираните прогнози, за да направят модели по-достовърни - например пренебрегват се резултати като твърде силни ветрове, твърде високи или ниски температури и.т.н.

За да се справят с отчитането на вътрешно присъщото хаотично поведение на атмосферата синоптиците използват метод наречен **ансамблов прогнозиране**. Те създават съвкупност от прогнози използващи един и същ компютърен модел, но с леко модифицирани начални условия оставащи в границите на инструменталната грешка. Освен че показват как вътрешно присъщите грешки и пропуски в измерванията влияят на резултата, те дават и информация за неопределеността в прогнозата. Ако по-голям брой симулации при тези леко изменящи се условия предсказват дъжд например, неговата поява е по-вероятна.

На втория етап на прогнозата най-съществена е **ролята на синоптика** - той трябва да обедини числените модели с местните условия и особености за да създаде прогноза валидна за определеното място (фиг. 2). Ако съществува повече от един метод за предсказване на даден метеоелемент, синоптикът според опита си трябва да подбере по-подходящия за деня модел или да обедини данните от двата модела. Често пъти синоптиците добавят към прогнозата детайли които не могат да бъдат предсказани от по-едромашабния



Фиг. 2. 24 часова прогноза - числена с пунктир и минимално налягане в центъра на депресията 990 mb и коригирана от синоптика (плътна линия) с по-реалистичен минимум 976 mb. Изобарите са върху ИЧ сателитно изображение.

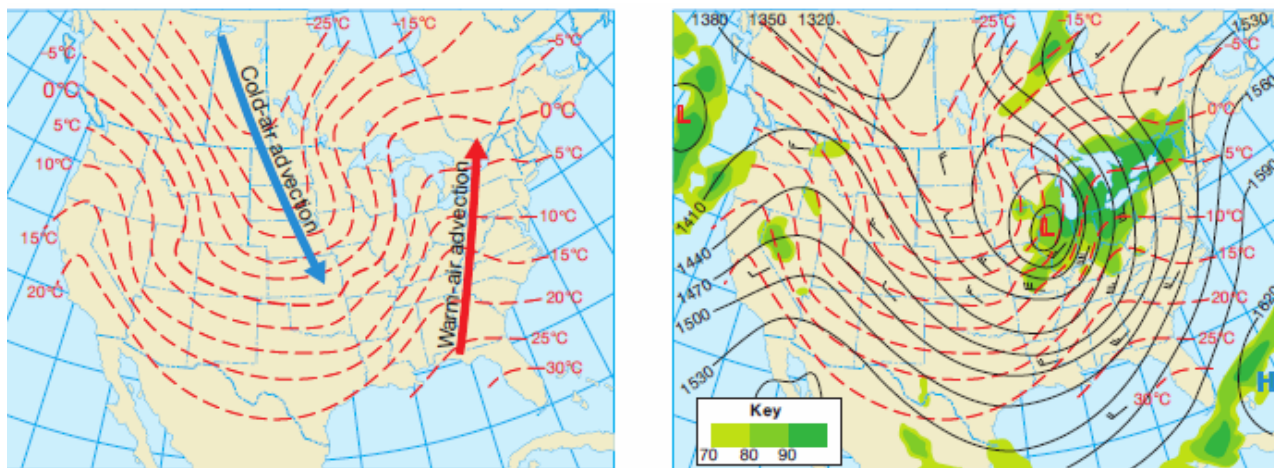
компютърен модел - например изолирани бури, торнадо и т.н. Тяхното предсказване е основано на вероятностната зависимост между явлението и определящите го фактори т.е. на статистически методи или се използват мезомасштабни модели - със стъпка няколко km.

Синоптиците използват в своята работа и методи като неизменност на прогнозата за няколко часа до ден, съответствие на прогнозата с климатологичните данни, повтаряемост на развитието на явленията. За особено опасни, но бързо приключващи метеорологични явления - например торнадо се изготвят краткосрочни прогнози (до няколко часа) наречени тренд основани на скоростта и посоката на движение на съответното явление. За следенето на явлението се използват радари и геостационарни спътници.

8. Въздушни потоци във височина и прогнози за времето

Развитието на извънтропичните циклони и антициклони е в тясна връзка с развитието във височина на планетарните вълни на Росби и техните най-бързи части - полярните струйни течения. Приложението на **принципа на пространственото съгласуване** изисква съставянето на карти на бариичната топография, които по конвенция са за барометрични нива 850, 700, 500, 300 и 200 mb и се правят за основни срокове 0000 и 1200 по Гринич.

Картите за ниво 850 mb изобразяват атмосферата на височина около 1500 m, където слабите денонощни промени на температурата правят по-забележими адвекциите (хоризонталния пренос) на топлина и студ (фиг. 3). Близко разположените изотерми означават рязък спад в температурата при адвекцията на студ извършваща се в направление перпендикулярно на изотермите.

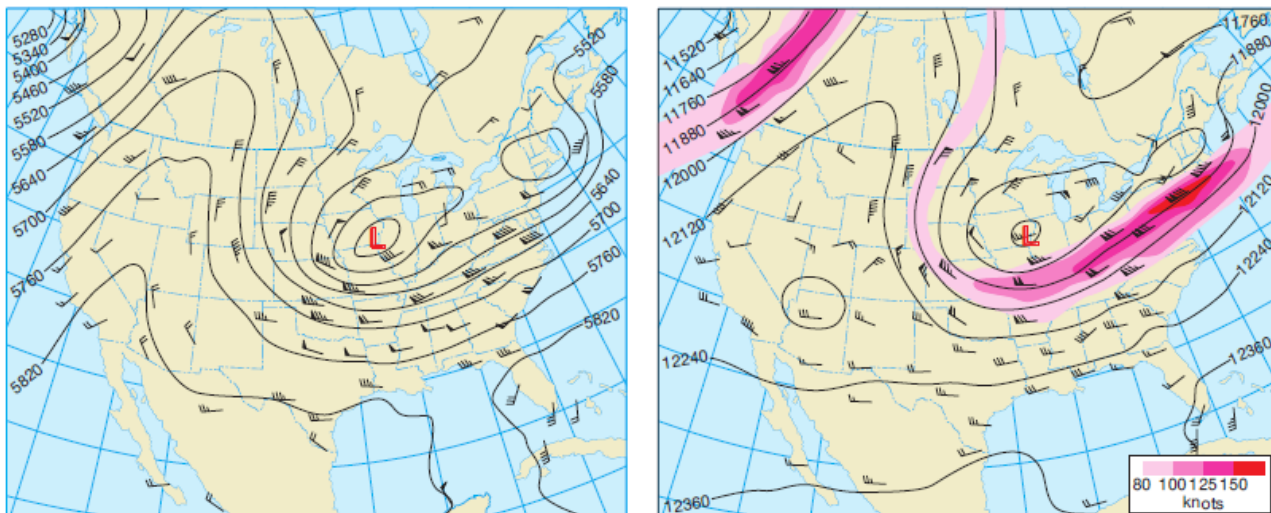


Фиг. 3. Карта на ниво 850 mb, с изотермите (с пунктир), височините на изобарите в метри и относителната влажност.

Адвекцията на топлина означава не само преместване на топъл въздух в студена област, но и издигането му във височина. Ако това издигане е съчетано с висока влажност, ще се формират облаци и са възможни валежи. Заради слабия денонощен ход на температурата картите за ниво 850 mb дават ценни

сведения за максималната приземна температура - през зимата тя е с около 9°C , а през лятото с около 15°C по-голяма от температурата на ниво 850 mb. Освен това през зимата тези карти показват положението на нулевата изотерма и следователно границата между районите със сняг и тези с дъжд.

Освен че служат като заместител на картите на ниво 850 mb, картите за ниво 700 mb, което отговаря на височина 3000 m дава представа за движенията на въздушните потоци пренасящи вътрешномасовите бури. Едно често използвано правило е, че ако температурата на ниво 700 mb е 14°C и повече, това ниво предотвратява развитието на Сб. Най-вероятната причина е инверсия на слягане свързана със силен център на високо налягане.



Фиг. 4. Карти на ниво а) 500 mb ;

б) 200 mb със сърцевината на СТ

Картите на ниво 500 mb показват състоянието на атмосферата на височина около 5500 m. Те показват движението на приземните бури, но със скорост около една четвърт от скоростта на тази височина. Наличието на затворени изобари в баричната долина (фиг. 4) обикновено е признак за силни вертикални движения на въздушните маси и силни валежи.

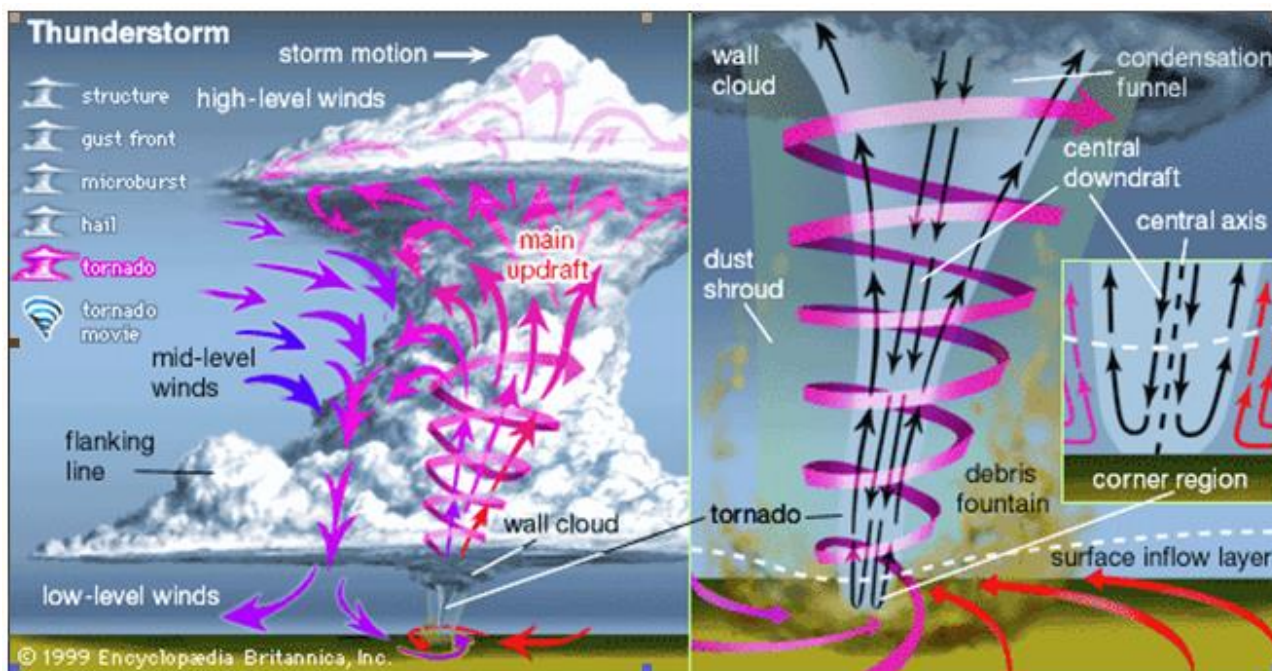
Картите на нива 300 и 200 mb представят приблизително границата на тропосферата (около 10000 m), там където се заражда полярното струйно течение. То се проследява по-добре по картата 300 mb през зимата и ранната пролет (когато е по-ниско) и по картата 200 mb през топлите сезони. Тъй като струйните течения (СТ) са места с преобладаваща дивергенция на въздушния поток [3], силните СТ ще са свързани с усиляване на приземните циклони. СТ са свързани и с развитието на най-мощните, суперклетъчни купесто-дъждовни облаци. Тези облаци често възниква близо до СТ където скоростта вятъра на върха на облака е няколко пъти по-голяма от този в основата. Това наклонява облака (фиг. 5), разделяйки областите с възходящи и низходящи потоци и позволява облакът да продължи да расте дори след като дъждът е започнал, водейки до проливни дъждове, мощни градушки и торнадо.

9. Точност и сбъдваемост на прогнозите

Под точност на прогнозите се разбира разликата между предсказаните и наблюдаваните характеристики на времето. Сбъдваемостта е отношението на сбъдналите се и всички създадени прогнози. Като сбъднала се разглежда прогноза при която разликата между и измерената стойност $f_{изм}$ на даден метеорологичен елемент и предсказаната f_{np} е :

$$|f_{изм} - f_{np}| < \beta \quad (1)$$

За температурата над даден район например $\beta = 5^{\circ}\text{C}$, а над даден пункт $\beta = 2^{\circ}\text{C}$. Постигнатата до момента сбъдваемост е до 90% за краткосрочните прогнози (1-3 дни), средносрочни (3-10 дни) до 80%, като сбъдваемостта силно намалява след 4-5 ден, дългосрочни (над 10 дни) до 60-65% [4]. Трендовите прогнози достигат до няколко минути точност при предупреждения за опасни метеорологични явления. Сбъдваемостта е много по-малка за райони със сложен релеф като нашата страна.



Фиг. 5. Мощен купесто-дъждовен и градоносен облак и “фунията” на торнадо/смерч под него. Вляво: Въртящият се възходящ поток, който създава явлението, се разпростира високо в „тялото” на облака. Вдясно: Схема на зараждане и поддържане на торнадо/смерч.

Основните причини за по-ниската от очакваното надеждност на метеорологичните прогнози се коренят в описването на една непрекъсната среда (каквато е атмосферата) с хаотично, но ансамблово поведение на градивните частици със система от дискретни данни и уравнения. Въпреки това има възможности за подобрене на прогнозата със съставяне на по-точни уравнения описващи процесите, по-точни решения, по-малки стъпки на

моделите и т.н. Чисто енергетичните съображения обаче ни водят до извода че тъй като времето за генериране на кинетичната енергия на основните синоптични обекти - въздушни маси, фронтове, циклони, антициклони и т.н. и превръщането ѝ в топлина е от порядъка на седмица, това е и времето за което можем да очакваме надеждна прогноза. Подобно твърдение се потвърждава и от факта, че една седмица е характерното време на живот на извънтропичните циклони.

10. Заключение

Предсказването на времето е изключително сложна задача, за чийто изпълнение понастоящем се използват ресурсите на цялото човечество. Независимо че използването на компютри за численото решение на съответните уравнения на динамиката и термодинамиката улеснява и подобрява надеждността на прогнозата, все още човешкият фактор е съществен при нейното съставяне. Въпреки че все още има възможности за подобряване на краткосрочните и средносрочни прогнози свързани с по-добри модели и точни решения на уравненията на времето, трудностите пред дългосрочните и климатични прогнози произтичат от характерните периоди на преобразуване на енергията - от порядъка на седмица, които рестартират атмосферата оставяйки я в състояние съвършено различно от предсказаното.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Lutgens F., Tarbuck E., 2010, Pearson Education Ltd., London, p. 337.
- [2]. Holton et al., Encyclopedia of Atmospheric Science, Elsevier., 2002, p. 2194.
- [3]. James (1994), In Introduction to Circulating Atmospheres. Cambridge: Cambridge University Press, p. 67.
- [4]. Андреев, Авиационна метеорология, 2005, ТУ – София, стр. 197.

ОСНОВНИ АКЦЕНТИ В СПЕЦИАЛИЗИРАНОТО ОБУЧЕНИЕ ПО ОПТИЧНИ ИНФОРМАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА СТУДЕНТИ ОТ СПЕЦИАЛНОСТТА „ИНЖЕНЕРНА ФИЗИКА“ В ТУ-СОФИЯ

Тодор Н. Арабаджиев и Иван М. Узунов

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

Резюме. Разгледани са основните акценти и теми в учебното съдържание на дисциплината „Оптични информационни технологии“, изучавана през учебната 2016/2017г. от студентите в специалността „Инженерна физика“. Описан е специално разработеният за дисциплината лабораторен практикум.

Ключови думи: инженерна физика, оптични информационни технологии.

1. Увод

С оглед бързото развитие и разнообразие на фотониката и в частност оптичните технологии за предаване на информация, особено значение имат влакнесто-оптичните комуникационни технологии, изучаването на които е залегнало в програмите за обучение на водещите технически университети.

Разбирането на физичните приципи, стоящи в основата на оптичните технологии, оптиката и квантовата физика, обуславят възможността студентите самостоятелно да анализират действието на компонентната база, използвана в оптичните комуникации. Познаването на историческия път на развитие им позволява да следят и разпознават най-новите технологии в тази област. Последователното изучаване на компонентната база им дава възможност да получат детайлна представа за предназначението, спецификите и начините на свързване в предавателната линия на най-важните компоненти. Изискванията, поставяни към оптичните комуникационни системи (ОКС), като бързодействие, информационен капацитет и обхват на връзката, изискват и цялостно познаване на принципите за дизайн на ОКС и умения за пресмятане на най-важните им параметри. Дизайнът на цялостна ОКС от последата генерация с напълно оптична обработка на сигнали и работа с терабитовия обхват на предаване представлява истинско предизвикателство за инженерите, занимаващи се с комуникации. Съдържанието на дисциплината е един опит да се дадат основните познания за реализация на подобно предизвикателство.

В този контекст „Оптични информационни технологии“ е водещ специализиращ курс за специалността „Инженерна физика“ в ТУ-София в една от най-бързоразвиващите се области на съвременните технологии - фотониката и влакнесто-оптичните комуникационни технологии. За да бъде оценено

съдържанието на курса, обаче, е необходимо преди всичко по подходящ начин да формулираме целите на обучението и да заложим съответното учебно съдържание. Представянето на тези акценти е цел на настоящата статия. В представянето на практическите аспекти на обучението е обърнато специално внимание на съдържанието на лабораторният практикум, създаден с цел студентите да могат практически да изследват и изчисляват най-важните зависимости, разглеждани в различните теми.

2. Основни акценти в обучението.

- ☐ Очертаване на физичната основа на курса - като обзор на частите от геометричната, вълновата, електромагнитната и квантовата оптика, необходими за разбиране на обсъжданите в последствие въпроси.
- ☐ Представяне на основните тенденции на развитие на влакнесто-оптичните комуникационни системи (ВОКС). Разглежда се базова схема на ВОКС в еволюция през годините, като се обсъжда развитието на елементната база и основните характеристики в генерациите ВОКС.
- ☐ Последователно изучаване физичната основа на компонентната база концентрирана около следните основни елементи на ВОКС:
 - Оптични вълноводи и влакна. Чрез апарата на геометричната и вълновата оптика се изяснява принципа на работа и най-важните параметри на вълноводите и вълноводното разпространение на светлината.
 - Оптични източници. Разглеждат се принципът на действие и основните характеристики на полупроводниковите свето- и лазерни диоди.
 - Оптични детектори. Разглеждат се принципът на действие и основните характеристики на полупроводниковите фотодиоди.
 - Оптични усилватели.
 - Оптични компоненти за многоканално предаване със спектрално уплътнение (WDM).
- ☐ Принципи при дизайна на влакнесто-оптична предавателна линия. Обсъждат се понятия като мощностен бюджет, rise-time бюджет, принципите за подбор на елементите в предавателната линия според поставените изисквания.
- ☐ Практически измервания в създадения лабораторен практикум. При изпълнението на лабораторните упражнения се придобиват практически умения за самостоятелно измерване на важни параметри източници, влакна и детектори, свързване и работа с легиран с ербий влакнест усилвател, дизайн на елементарна влакнесто-оптична комуникационна система.

3. Основни теми, включени в учебната програма на курса

- ☐ **Въведение във фотониката и оптичните комуникации**
Еволюция на оптичните комуникационни системи.

□ Основи на оптиката

Основни явления, използвани в оптичните технологии: отражение и пречупване, интерференция и дифракция, кохерентност и поляризация.

□ Оптични вълноводи

Разпространение на светлината в оптични вълноводи (планарни и цилиндрични).

□ Оптични влакна

Стандартни многомодови и одномодови оптични влакна. Ефекти, свързани със затихване, дисперсия на груповите скорости и нелинейната поляризация.

□ Оптични източници

Физика на процесите на оптичното излъчване в полупроводниковите светодиоди и лазери.

□ Оптични детектори и приемници

Базови концепции и компоненти за оптичното детектиране в комуникациите.

□ Оптични усилватели

Оптично усилване. Принцип на работа на полупроводниковите и влакнестите оптични усилватели.

□ Оптични устройства, оптично мултиплексиране и демултиплексиране.

Оптични компоненти в комуникациите: съединители, изолатори, филтри, дифракционни решетки и модулатори. Принцип на работа на WDM мултиплексорите и демултиплексорите.

□ Дизайн на оптична комуникационна система

Дизайн на влакнесто-оптична предавателна линия. Изчисляване на мощностен бюджет.

4. Основни акценти в лабораторния практикум

За създаването на лабораторния практикум са използвани ресурсите на катедра по приложна физика, както и наличния легиран с ербий влакнест усилвател и оборудване, закупени по научен проект "Изследване на характеристиките на оптични усилватели на базата на легирано с ербий влакно и нелинейни оптични съединители", реализиран от авторите на статията в ТУ-София.

□ С оглед изучаване на свойствата на *кохерентни и некохерентни оптични източници*, използвани в телекомуникациите са разработени следните упражнения:

- Определяне на спектралната ширина на излъчване, коефициент на монохроматичност и време на кохерентност на свето- и лазерен диод с използване на монохроматор.

- Определяне на дължината на вълната на непознат източник чрез използване на дифракционна решетка.
- За изучаване на свойствата на *оптичните приемници* е предложено следното упражнение:
 - Фотодетектори. PIN фотодиод. Детекция на оптично излъчване.
 - Определяне на динамични характеристики на оптичен детектор, rise-time бюджет на предавателна линия.
- Изучаване на свойствата на *оптичното усилване* чрез използване на *легиран с ербий влакнест усилвател* е включено в следните упражнения:
 - Оптично усилване с легиран с ербий влакнест усилвател с усилване на слаб сигнал и в режим на насищане на усилването.
 - Измерване на мощността на шума от спонтанната емисия на легиран с ербий влакнест усилвател и оценяване на деградацията на отношението сигнал-шум
- За изучаването на характеристиките на оптичните влакна и дизайн на цялостна влакнесто-оптична предавателна линия са предложени следните упражнения:
 - Изчисляване на мощностен бюджет в световодна линия. Определяне на коефициента на затихване на оптично влакно.
 - Генериране и анализ на цифрови данни в оптична комуникационна система чрез използване на логически анализатор.

5. Заключение

Представени са основните акценти в обучението по дисциплината „Оптични информационни технологии“ и разработеното в съответствие с тях учебно съдържание. Представен е разработеният за дисциплината лабораторен практикум.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Stamatios V. Kartalopoulos, DWDM, Networks, Devices and Technology, IEEE press and Wiley Interscience, (2003).
- [2]. Bahaa E.A. Saleh, Malvin Carl Teich, Fundamentals of Photonics, Wiley-Interscience, 1991.
- [3.]. Harry J. R. Dutton, Understanding Optical Communications, Prentice Hall Series in Networking, 1998. (Formerly freely available as a red book on the IBM red book server.
- [4]. Agrawal G.P., Fiber-optic communication systems, J.Wiley&Sons, 2002.
- [5]. Keiser G., Optical Fiber Communication, McGraw-Hill, 2008.
- [6]. Erbium doped fiber amplifier kit operation manual, Amonics., ver. 5, 2010.

ВЪНШЕН ФОТОЕЛЕКТРИЧЕН ЕФЕКТ

Денис Василев Кузманов

Факултет по телекомуникации, ТУ - София, бул. "Климент Охридски" 8, София 1000
e-mail: denis.kuzmanov97@gmail.com

Резюме. В настоящата разработка са изяснени механизмите на протичане на явлението външен фотоелектричен ефект като са съпоставени изводи от теориите на електромагнитните вълни преди и след откриване на явлението. Представени са характеристики, дефинирани са формули, с цел количествено и качествено онагледяване на резултатите.

Ключови думи: светлина, фотоелект, фотон, кинетична енергия, закономерности, отделителна работа

1. Увод

Фотоелектричният ефект е явление, което променя схващанията за природата на електромагнитните вълни. Обяснението на ефекта предизвиква сериозен научен прогрес и има съществена роля в историята на физиката. Алберт Айнщайн е удостоен с Нобелова награда, защото успява блестящо да обясни закономерностите на явлението, като се базира на хипотезата на Макс Планк и същевременно я обогатява. Експериментът е пример как един елементарен физичен експеримент е в състояние да промени разбиранията на учените за природата на електромагнитните вълни, без които комуникациите днес не биха били толкова развити.

2. Фотоелектричен ефект - същност

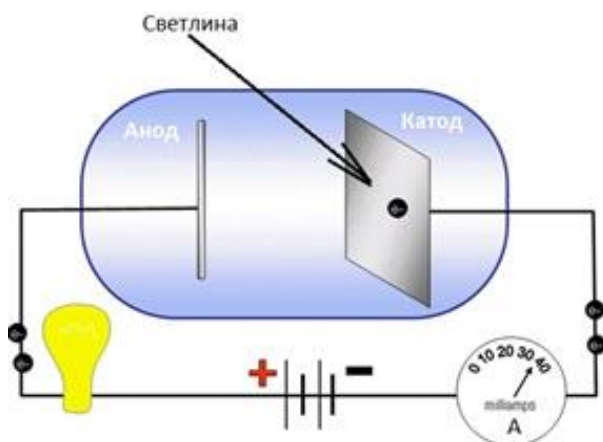
През 1887г. немският физик Хайнрих Херц прави следния експеримент: облъчва с монохроматична светлина метал и установява, че след облъчването на повърхността му се отделят електрони.

Експериментът се състои в опитната поставка, показана на (фиг. 1). В стъклен балон са поставени два електрода - анод и катод. Средата, в която се намират двата електрода, е вакуум. Описаната структура се нарича фотоклетка. Под определен ъгъл попада монохроматична вълна, която избива електрони от повърхността на катода. Процесът на отделяне на електрони от повърхността на метала се нарича електронна емисия. Разглежданият електрод се нарича фотокатод, а избитите частици- фотоелектрони. Ако лъчението се приложи върху анода няма да има се наблюдава фотоелект, защото електроните няма да се привличат към катода.

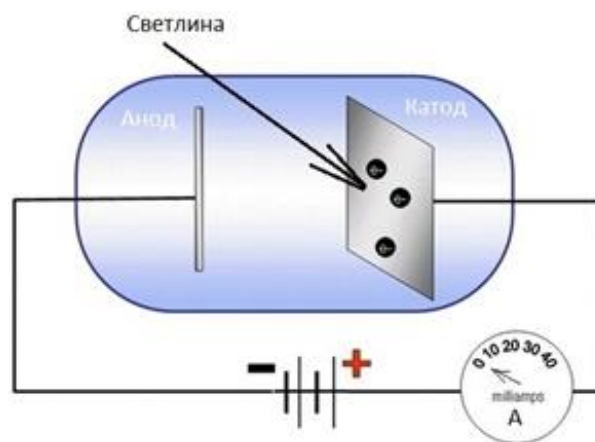
След облъчването част от избитите електрони притежават кинетична енергия, която се изчислява по формула:

$$E_K = \frac{mv^2}{2}, [J] \quad (1)$$

От формула (1) става ясно, че фотоелектроните имат скорост v , която зависи от кинетичната им енергия. Във веригата протича ток (фототок), който се отчита от чувствителен амперметър А. От фигурата се вижда, че източникът на ЕДН е свързан в права посока (положителният полюс на източника се свързва към анода, а отрицателният полюс към катода на фотоклетката).



Фиг. 1. Схема на опитна постановка с източник на ЕДН, свързан в права посока



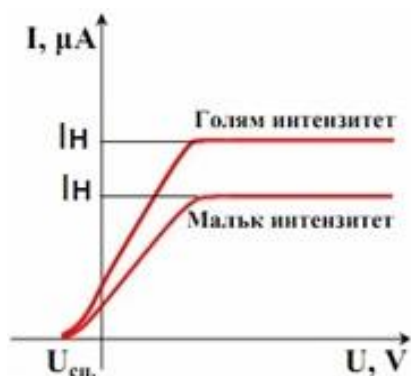
Фиг. 2. Схема на опитна постановка с източник на ЕДН, свързан в обратна посока

В този случай приложеното поле ще действа ускоряващо на електроните и това ще доведе до увеличаване на протичащия ток във веригата, както се вижда и от показанието на амперметъра. При увеличаване на ускоряващото напрежение токът във веригата расте. При достигне до определена стойност на напрежението токът остава постоянна величина - ток на насищане (I_H).

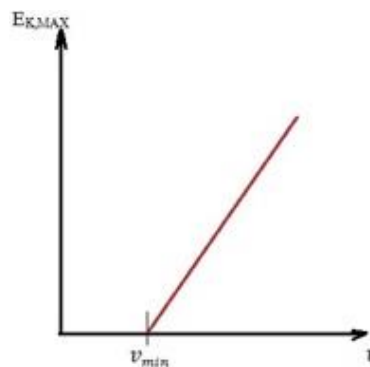
В случая, когато източникът на напрежение е свързан в обратна посока (фиг 2), приложеното от него електрично поле се противопоставя на скоростта на електроните. Електричните сили извършват отрицателна работа като се опитват да задържат електроните и това води до намаляване на кинетичната им енергия. При увеличаване на приложеното обратно напрежение става ясно, че протичащият във веригата ток намалява. При достигане на определена стойност на напрежението се наблюдава изравняване с кинетичната енергия на електроните. При определена стойност на обратното напрежение $U = U_{сп}$ наречена спирачно напрежение, фототокът става равен на нула. От закона за запазване на енергията следва равенството:

$$eU_C = E_{K,MAX} [J] \quad (2)$$

На фиг. 3 е показана волт-амперната характеристика на фотоклетка, в която са обобщени изложените факти.



Фиг. 3. Волт-амперна характеристика на фотоклетка



Фиг. 4. Графика на зависимостта на максималната кинетична енергия от честотата на приложеното лъчение

От волт-амперната характеристика се вижда, че при по-голям интензитет на електромагнитното лъчение токът на насищане нараства.

3. Закономерности на фотоефекта

Руският физик А. Столетов провежда многобройни изследвания и достига до следните резултати:

1. Броят на отделените фотоелектрони за единица време от повърхността на даден метал е право пропорционален на интензитета на монохроматичната светлина, с която се облъчва фотоклетката. Тази закономерност може да се съобрази от волт-амперната характеристика на фотоклетка (фиг. 3).

2. За всеки метал съществува червена граница на фотоефекта, т.е. максимална дължина на вълната (λ) (или съответно минимална честота), при която все още е възможно отделянето на електрони. Ако $\lambda > \lambda_{max}$, ефект не се наблюдава дори при по-голям интензитет на лъчението.

3. Максималната кинетична енергия ($E_{K, MAX}$) на фотоелектроните не зависи от интензитета на лъчението, а нараства линейно с увеличаване на честотата ν на приложеното лъчение. Графика на тази зависимост е показана на фиг. 4.

4. Фотоелектроните се отделят практически едновременно с осветяването дори и при малък интензитет на светлината. [1]

4. Несъответствието между закономерностите на явлениято и разбиранията за природата на електромагнитните вълни

Според вълновата теория електроните на повърхността на метала извършват принудени трептения под действието на електричния вектор на падащата електромагнитна вълна. Поглъщайки енергията от вектора E амплитудите на трептението нарастват до достигане на стойност, в която електроните могат да се откъснат от повърхността на метала и да преодолеят силите на привличане, породени от положителните йони.

Ако такъв извод е верен се очаква при по-голям интензитет на светлината кинетичната енергия на електроните да бъде по-голяма. Опитът обаче показва, че това изобщо не е така. Максималната кинетична енергия изобщо не зависи от интензитета на светлината, а е функция на честотата (фиг. 4).

От вълновата теория следва изводът, че не би трябвало да се наблюдава червена граница на фотоефекта, защото при попадане на лъчение с малък интензитет върху повърхността на метала електроните ще акумулират енергия и в един момент ще се отделят при достигане на определена критична стойност. Следователно електроните трябва да се появяват макар и със закъснение. От първата закономерност се вижда, че електроните се появяват едновременно с достигане на лъчението до повърхността на метала.

От тези два извода става ясно, че закономерностите на фотоефекта **не могат** да бъдат обяснени със съществуващите разбирания за природата на светлината. Това налага необходимостта от въвеждането на нови разбирания за природата на електромагнитните вълни.[2]

5. Обяснение на закономерностите и развиване на нова електромагнитна теория.

Необходимост от въвеждане на нова теория се налага след неуспеха за обясняване на закономерностите на фотоелектричния ефект. През 1905г. Алберт Айнщайн доразвива хипотезата на Планк за светлинните кванти и успява блестящо да обясни изследваните явления. За този труд Айнщайн е удостоен с Нобелова награда. Според хипотезата на Планк светлината се разглежда като поток от частици - фотони, които се движат със скоростта на светлината и са носители на енергия. Монохроматична (или друг вид светлина) може да се разглежда като поток от еднакви фотони. Фотоните притежават свойствата както на вълни така и на частици (двойствена природа).

От гледна точка на природата на частиците те се характеризират с точно определена енергия, която се изчислява по формулата:

$$E = h\nu \text{ [J]} \quad (3)$$

величината $h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$ се нарича константа на Планк.

Могат да се погълщат само цели фотони. Не е възможно поглъщането на части. Хипотезата на Планк е изказана още при изследването на закона на Стефан-Болцман за топлинното излъчване на телата. Алберт Айнщайн извежда формула, която дава математическа представа за връзката между енергията на фотоните, отделителната работа на метала и кинетичната енергия на електроните:

$$h\nu = A_s + E_{K,MAX} \text{ [J]} \quad (4)$$

Изясняване на участващите величини във формула (4):

$h\nu$ - енергията на попадналия фотон [J]

A_e - отделителна работа на метала - минималната работа, която е необходимо да извърши електронът, за да преодолее силите на привличане и да се откъсне от повърхността на метала [J]. Отделителната работа силно зависи от природата на метала, наличието на примеси и др. Удобна величина за характеризирането ѝ е единицата [eV] (електронволт). Връзката между [eV] и [J] се задава със съотношението:

$$1\text{eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1 \text{ V} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \quad (5)$$

$E_{K,MAX}$ - кинетичната енергия, която ще отнесе със себе си електрона след като се отдели от повърхността на метала. [J]

Като извод от уравнението на Айнщайн (4) следва, че когато енергията на фотоните е по-малка от отделителната работа ($h\nu < A_e$) няма да има отделяне на електрони от повърхността на метала.

Случаят, когато енергията на фотона е достатъчна само за отделяне на електрона се описва от зависимостта:

$$h\nu_{min} = A_E \quad (6)$$

Следователно граничната минимална честота зависи от отделителната работа на метала и се извежда от формула (6):

$$\nu_{min} = \frac{A_E}{h}, \text{ [Hz]} \quad (7)$$

Аналогична връзка се дава и с дължината на вълната:

$$\lambda_{MAX} = \frac{c}{\nu_{min}} = \frac{ch}{A_E}, \text{ [m]} \quad (8)$$

Кинетичната енергия на отделените електрони зависи от отделителната работа и енергията на фотоните по следната зависимост:

$$E_{K,MAX} = h\nu - A_e \quad (9)$$

От зависимостта следва, че електроните имат различна кинетична енергия в зависимост от положението, в което се намират в металната структура. В уравнението на Айнщайн (4) не участва величината интензитет на светлината, което е в съответствие със закономерностите, установени от А. Столетов. Взаимодействието между фотон и електрон се разглежда като удар между две частици. Енергията на фотона се поглъща мигновено при удара и затова електронната емисия се наблюдава непосредствено след облъчване. Всички направени изводи на база уравнението на Айнщайн са в състояние да обяснят процесите на фотоелектричния ефект и поставят основите на новите схващания за природата на светлината.

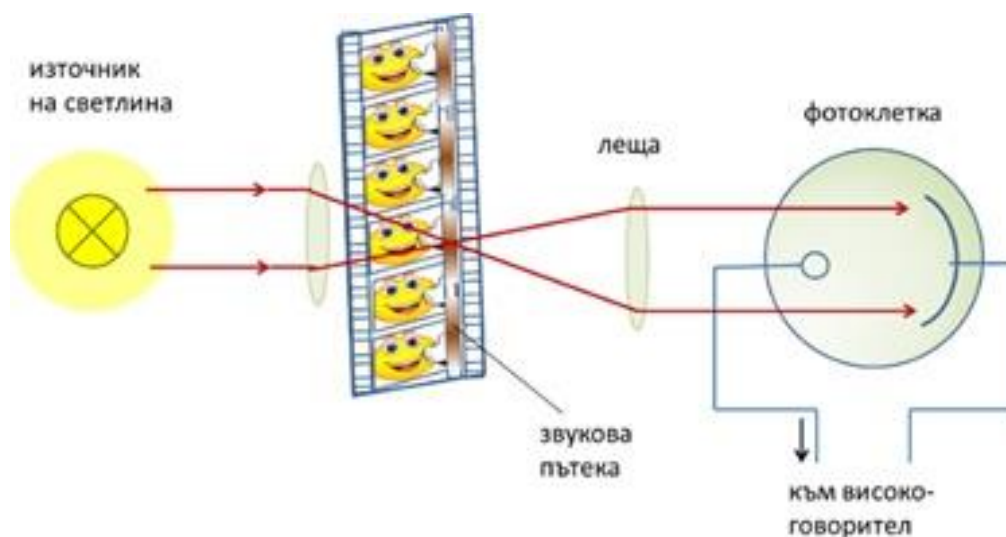
6. Приложение

Външният фотоелектричен ефект намира широко приложение в реализацията на алармени системи, озвучаване на кинопрожекции и зареждане на космическа техника от земната повърхност.



Фиг. 5. Принцип на действие на алармена система, реализирана на фотоелектричен принцип

Когато се появи преграда светлинният поток се прекъсва и електромагнитът спира да привлича лостчето, което непосредствено се привлича от пружината. Електрическата верига се затваря и алармата се задейства (фиг.5).



Фиг. 6. Озвучаване на кинофилми

Успоредно с картината върви звукова пътечка, през която преминава светлинен поток. Потокът е силно зависим от пътечката и се регистрира от фотоклетка. По-нататък се преобразува в променлив ток и се подава на говорителя. (фиг. 6)

Явлението дава възможност да се характеризират неелектрически величини (светлинен поток) като се свеждат до измерване на електрически величини (електричен ток).

7. Заключение

Явлението външен фотоелектричен ефект променя коренно схващанията за природата на електромагнитните вълни. Намира широко приложение в бита. Има голям потенциал за развитие в космически цели, където се разпространяват електромагнитни вълни. Дава възможност за характеризиране на неелектрически величини чрез преобразуването им до електрически.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Максим Максимов, Георгиос Христукидис, Физика и астрономия – учебник за 10 клас, задължителна подготовка, Булвест 2000

[2] И.Минков, В.Михайлова, Физика - Втора част, ТУ – София, първо издание, 2013г.

ОКОТО КАТО МОДЕЛ НА СЪВЪРШЕНСТВО

Никола Косталов, Иванка Стоянова, Галин Добрев

специалност "Маркшайдерство и геодезия", МГУ "Св. Иван Рилски"
научен ръководител и консултант ас. Юлия Илчева
катедра Физика, МГУ "Св. Иван Рилски", гр. София

Резюме. Човешкото око е свършен оптичен уред, създаден от природата. То е достоверен източник на информация за обкръжаващата среда в контекста на ненадмината по своята гъвкавост оптична система. По основна функция оптичният уред фотоапарат е аналог на човешкото око, състоящо се от три части: фокусираща светлинна система, система за автоматично регулиране на диафрагмата и светлочувствителна регистрираща система. Разгледано е устройството на окото и е представена задача-ребус, която води до известна мисъл на Алберт Айнщайн.

От гледна точка на оптиката окото е твърде обикновена оптична система, но система, в която природата, до голяма степен, е отстранила аберациите, придала ѝ е огромна чувствителност, направила я е такава, че да дава сведения не само за формата и големината на предметите, но и за техния цвят, и за разстоянието, на което отстоят. Тези качества на окото са резултат от естествения подбор на многомилионна годишна еволюция в животинския свят.

За първи път *очи* се появяват преди повече от милиард години в дъждовния червей. Разбира се, тези *очи* представляват само клетки, чувствителни към светлината, пръснати по цялото му тяло. При мидата *Patella* отпред на тялото се намира малко вдлъбване, чувствително към светлината, което дава възможност на животното да определи посоката, от която тя идва. В други мекотели вдлъбнатото се е превърнало в малка жива камера обскура. При охлювите се наблюдава по-голямо развитие на окото, но образи се появяват при главоногите.

Интерес представлява развитието на зрението при насекомите, които имат **фасетковидни очи**. В тях се получават образи на отделни части на предмета, които мухата вижда. Вероятно, по-късно в нервната ѝ система, те се обединяват в един цялостен образ.

Истински очи притежават гръбначните животни. Съществува голямо разнообразие в зависимост от начина на живот, който води животното, дневен или нощен. Оптичната задача се решава в твърде различни варианти, но тя винаги е подчинена на основния принцип - *животното да преживее в борбата за съществуване*.

Устройството на човешкото око е **модел на съвършенство**, най-висшето творение в еволюционната стълба. Природата се е погрижила чрез веждите, клепките, миглите и сълзите да защити окото от външни вредители. Най-външната обшивка на очната ябълка, наречена **склеротика**, е бяла, здрава

броня. Нейната основна задача е да придаде формата на окото и да го защити от външни повреди. Към нея са закрепени три двойки мускули, които въртят окото във всички посоки. Учените установяват, че окото е най-подвижният от всички наши органи на чувствата. В предната си част склеротиката се превръща в прозрачен, леко изпъкнал прозорец, наречен **роговица** или **корнея**. Роговицата е напълно прозрачна, само когато е влажна, а при засъхване става матова. С това се обяснява и ролята на сълзите, които непрекъснато я овлажняват.

1. Как се наричат недостатъците на лещите?

5		2		10		18	
5 А	Б	2 Е	Р	10 А	Ц	18 И	И

2. Как се нарича най-външната обвивка на окото?

17	20		3		8	27		37	13
17 С	20 К	Л	3 Е	Р	8 О	27 Т	И	37 К	13 А

3. Как се нарича предната прозрачна част на най-външната обвивка на окото?

	21	43	26				23
Р	21 О	43 Г	26 О	В	И	Ц	23 А

Окото е жив организъм, който трябва да се храни. Тази задача - подхранване и изнасяне на непотребните вещества - изпълнява съсъдестата обвивка. Тя се нарича още **хориоидея**. Цялата е изтъкана от тънки артериални и венозни капилярки. Едните донасят храна и кислород, а другите изнасят отпадъчните вещества. Вътрешната ѝ страна е както при *камера обскура*, покрита с черен пигмент. Той поглъща всички странични лъчи, всички отблясъци, които се получават в окото. В предната част на окото хориоидеята се видоизменя. Тя се удебелява, превръща се в особено реснично пръстеновидно тяло, а отпред на окото се спуска разноцветна завеса, наречена **гледец** или **ирис**. В ресничестото тяло има гладки мускулни влакна, които играят особено важна роля при зрението. В центъра на ириса се намира малък кръгъл отвор - **зеницата**. Ирисът се състои от кръвоносни съдове, мускулни влакна и пигментни клетки. При едни хора тези клетки преимуществено са сини и се казва, че те имат сини очи, при други - кафяви, а при трети са със зелен оттенък.

Мускулните влакна около зеницата също имат голямо значение. При силна светлина те се свиват, а заедно с тях се намалява и отворът на зеницата.

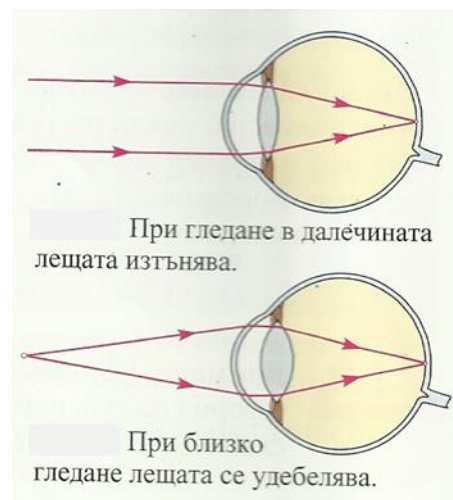
Вечерно време се отпускат, а други мускулни влакна, насочени радиално, се обтягат и зеницата се разтваря. Диаметърът на зеницата се променя от 2 mm при силна светлина до 8 mm през нощта.

Ирисът разделя окото на две части. Между него и роговицата се намира предната камера, изпълнена с прозрачна и безцветна течност. Зад нея, в свършено прозрачна торбичка (капсулка), се намира **една двойно изпъкнала, слабо жълтеникава еластична леща**. Тя се нарича **кристалин** и е извънредно важна при гледането.

Кристалинът има особено устройство. Той е изграден от влакна на белтъчното вещество глобулин. Влакната се кръстосват точно в средата на кристалина и се получава своеобразна звезда. В центъра си е по-твърд, веществото има по-голяма пречупвателна способност, отколкото в краищата, т.е. той представлява една събирателна леща. Чрез торбичката, в която е поставен кристалинът, природата е пригодила окото за **близко и далечно гледане**. Тя е здраво свързана с мускулите на ресничестото пръстеновидно тяло. *Как се извършва наблюдаването на предмет, намиращ се на определено разстояние?* Идващите от него лъчи са почти успоредни. Те трябва да се пречупят по-малко, за да се фокусират върху ретината. Това означава, че за пречупването е необходима леща с по-малка оптична сила. Мускулите на ресничестото тяло разтягат очната леща - тя става по-слабо изпъкнала и оптичната ѝ сила намалява. Получава се образ в така нареченото **жълто петно**, което се намира в очното дъно по една права линия с центъра на роговицата, зеницата и кристалина. Когато предметът се намира близо до наблюдателя, мускулите напрягат върху еластичната леща, увеличава се кривината на стените ѝ, тя придобива по-сферична форма, а заедно с това се намалява и фокусното ѝ разстояние. Тази способност на кристалина да се получава винаги ясно изображение в жълтото петно, се нарича **акомодация**.

Разстоянието до най-близките предмети, които окото фокусира без да се напряга, се нарича **разстояние на най-ясно гледане**.

Акомодационната способност на окото за различните възрасти се мени в много широки граници. Малкото дете вижда съвсем ясно при разстояние дори до 10 cm. Към тридесет години най-близката точка на ясно гледане вече се намира на 20 cm, а при четиридесет години е на 26-30 cm. При седемдесетгодишна възраст кристалинът губи напълно способността си към акомодация. С течение на възрастта в него се отлагат твърди вещества, свиваемостта му намалява, а заедно с това се понижава и най-после напълно изчезва и способността му да се акомодира. Прието е, че **разстоянието на най-ясно гледане е средно 25 cm**.



4. Как се нарича оцветеният кръг на светлонепропускливата преграда, разположена в предната част на хориоидеята?

	49	50	
--	----	----	--

И	49 Р	50 И	С
---	------	------	---

5. Как се нарича тази част на окото, която регулира количеството попаднала светлина върху него като изменя диаметъра си - при ярка светлина се свива, а на тъмно се разширява?

11	14	1			31
----	----	---	--	--	----

11	З	14	Е	1	Н	И	Ц	31	А
----	---	----	---	---	---	---	---	----	---

6. Като каква леща действат всички среди на окото, взети заедно като система?

					34		29		7			35		
--	--	--	--	--	----	--	----	--	---	--	--	----	--	--

С	Ъ	Б	И	Р	34	А	Т	29	Е	7	Л	Н	А		Л	35	Е	Щ	А
---	---	---	---	---	----	---	---	----	---	---	---	---	---	--	---	----	---	---	---

7. Как се нарича очната леща?

									12
--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

К	Р	И	С	Т	А	Л	И	12	Н
---	---	---	---	---	---	---	---	----	---

8. Как се нарича мястото, в което се получава образът на предмет?

6				28					25	44
---	--	--	--	----	--	--	--	--	----	----

Ж	Ъ	Л	Т	28	О		П	Е	Т	25	Н	44	О
---	---	---	---	----	---	--	---	---	---	----	---	----	---

9. Как се нарича промяната на фокусното разстояние (пречупващата способност) на очната леща?

46					9					
----	--	--	--	--	---	--	--	--	--	--

46	А	К	О	М	О	9	Д	А	Ц	И	Я
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

10. Как се променя очната леща, когато окото гледа в далечина?

	32		38	35		4	42
--	----	--	----	----	--	---	----

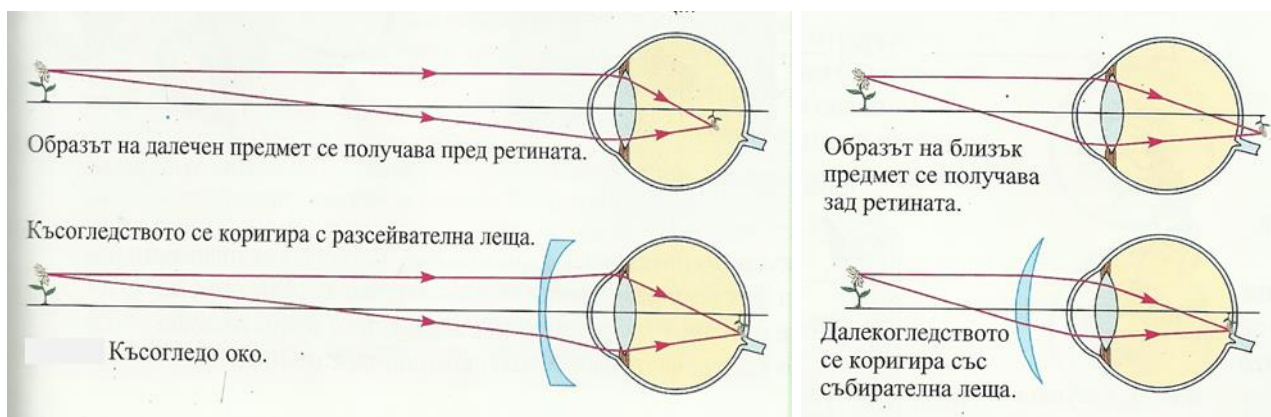
И	32 З	Т	38 Ъ	35 Н	Я	4 В	42 А
---	------	---	------	------	---	-----	------

11. Как се променя очната леща, когато окото гледа наблизо?

	30	40		48			16	
--	----	----	--	----	--	--	----	--

У	30 Д	40 Е	Б	48 Е	Л	Я	16 В	А
---	------	------	---	------	---	---	------	---

Късогледството и далекогледството се разглеждат като недостатъци на окото. При възрастните хора нормалният диаметър на окото по дължината на оптичната ос е около 24 mm. При късогледите кристалинът е много изпъкнал или окото има по-голяма дължина по протежение на оптичната ос. Образът се получава пред ретината и далечни предмети не се виждат ясно. Такива хора носят очила от **разсейвателни лещи**. Разсейвателните лещи разсейват (раздалечават леко) идващите от далечния предмет лъчи и така помагат на окото да фокусира образа върху ретината. Ако кристалинът е по-сплеснат или окото има по-малка дължина, то човек е далекоглед. Образът се получава зад ретината и като краен резултат образът върху ретината е размит за предмети, намиращи се на близко разстояние. Такива хора носят очила от **събирателни лещи**.



Как достигат до наблюдателя образите на предметите от външния свят?

По-внимателното изследване на вътрешната повърхност на хориоидеята отговаря на този въпрос. Тя е застлана с паяжовидна покривка, която се нарича **ретина**. Състои се от десет различни пласта, но от тях особено важни се оказват първият и вторият. Първият слой е пигментен, а вторият се състои от клетки с особен строеж. Дебелината на едни от тези клетки е малка в сравнение с дължината им - наричат се **пръчици**. Други клетки, които много приличат на бутилки, се наричат **колбички**. Останалите осем пласта са или тънки нервни разклонения, които завършват с колбички или с пръчиците, или различни по

вид клетки, които свързват колбичките и пръчиците, или най-после са кръвоносните съдове в ретината. *Интересно е, че всички тънки нервни разклонения завършват до колбичките и пръчиците.* Размерите и на едните, и на другите са твърде малки. Дължината на пръчиците е около шестдесет микрона, дебелината им само два микрона, а при колбичките съответно тридесет и пет микрона и шест-седем микрона. *Върху ретината има около сто и тридесет милиона пръчици и около седем милиона колбички.* Разпределението на едните и другите по цялата ѝ повърхност е неравномерно. Най-много колбички има в така нареченото **жълто петно**, и то главно в едно негово вдлъбване, една малка **ямичка**. В нея почти липсват пръчиците, но в замяна на това броят им е значително по-голям от този на колбичките в периферията на жълтото петно. Жълтото петно има елипсовидна форма с размери 0,6 mm - 2,9 mm, а диаметърът на централната ямичка е само 0,4 mm. Размерите ѝ са съвсем малки, но затова в нея съвсем гъсто са наредени десетки хиляди колбички, които тук имат изтънена форма и външно донякъде приличат на пръчиците. Чрез *колбичките* човек вижда **цветовете на телата** през деня, когато попадналата върху тях дневна светлина предизвиква фотохимични промени в тях. В здрач или нощно време основна е ролята на пръчиците. Последните са много по-чувствителни, но виждат само светлите и тъмни контрасти, не и цветовете на телата.

12. Как се нарича тази част от окото, която е разположена в задната част на окото, и в която се намират светлочувствителни клетки?

				45		
Р	Е	Т	И	45 Н	А	

13. Как се наричат светлочувствителните клетки, които не различават цветовете, поради което в полумрак е трудно да определим цвета на предметите - *вечер всички котки изглеждат сиви*?

			19			
П	Р	Ъ	19 Ч	И	Ц	И

14. Как се наричат светлочувствителните клетки, които различават цветовете?

К	О	Л	Б	И	Ч	К	И

С	Л	Я	П	О		П	Е	Т	Н	О
---	---	---	---	---	--	---	---	---	---	---

[illegible][illegible]

ЛИТЕРАТУРА

4. Фролов Вл., *Външното огледало. Съвременни методи и средства на холографията*. С., 1983, *Техника*, 21-35.

ИНТЕРЕСНИ ФАКТИ ОТ ЖИВОТА И БИТИЕТО НА ИСАК НЮТОН

Атанас Атанасов, Ралица Нейчева, Недялко Тодоров

специалност “Маркшайдерство и геодезия”, МГУ “Св. Иван Рилски”
научен ръководител и консултант ас. *Юлия Илчева*
катедра Физика, МГУ “Св. Иван Рилски”, гр. София

Резюме. 2017 година е обявена за международна година на Исаак Нютон, един от най-влиятелните учени в историята. Той е физик, математик, астроном, философ, алхимик и богослов. Създател е на класическата механика. Формулирал е принципите на динамиката и е открил закона за всеобщото привличане. Успоредно с изследване на физичните явления Нютон е изградил и необходимия за това математичен апарат. Едновременно с Лайбниц създават диференциалното и интегрално смятане. Идеите на Нютон стоят в основата на цялото естествознание до наши дни.

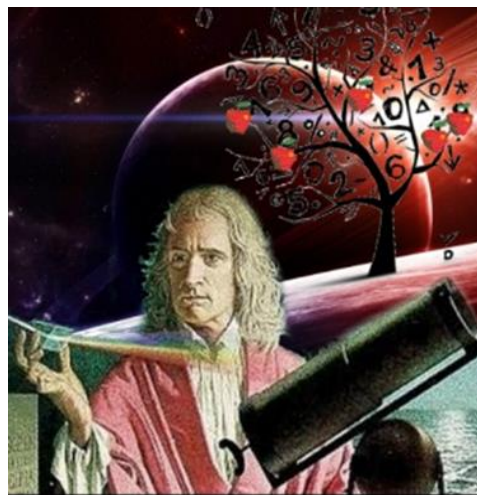
*Природата и нейните закони били покрити с мрак.
И рече бог: да бъде Нютон - и настана светлина.*

Александър Поп

Исаак Нютон (1643г.-1727г.) е един от най-великите физици, които съвременното познава. Роден е на 25 декември (стар стил) 1642г. в село Вулсторп, на около десет километра на юг от градчето Грентем (Grantham), графство Линкълншир, близо до източния бряг на Англия. Кръстен е на своя баща, Исаак Нютон - дребен земевладелец, починал малко преди неговото раждане. Като малък е болнаво дете, но израствайки преодолява здравословните проблеми и доживява до дълбока старост.

След като навършва дванадесет години, Нютон продължава своето образование в училището на Грентем. Сведенията за този период са оскъдни. Те го описват като срамежливо и затворено момче. Заедно с това се отбелязва и голямото му самолюбие - не е понасял обиди и е изпъквал сред съучениците си със своя успех.

Обучението в грентемското училище е известно със схоластичен средновековен характер. Освен богословски предмети (свещено писание, библия и пр.), Нютон изучава още древни езици - латински, гръцки, староеврейски, които овладява основно, а новите езици - френски и немски - владее не толкова добре. Интересен факт е, че училището не му дава

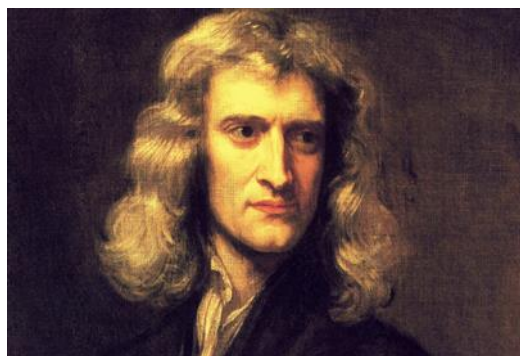


достатъчни познания в областта на математиката, където изучава само аритметика и елементи от геометрията.

В свободното си време малкото момче се отдава на изработване на механични играчки и уреди, увлича се от изкуството - рисуване, писане на стихове. Обича много да чете и го прави с желание. Съществуват редица данни за неговите впечатляващи умения по рисуване. През 1927г. Д. Смит обнародвал извадки от тетрадка със записки за годините 1655г.-1662г., които са доказателство за тези твърдения.

През 1658г. петнадесетгодишният юноша завършва училище. Особено влияние в този период му оказват неговият вуйчо Ейскоу и учителят Стокс. На 5 юни 1661г. Нютон е записан като студент в Тринити колидж. От този момент до 1696г. животът му е свързан с Кеймбридж. Тук последователно преминава всички степени - от студент до член на колежа (преподавател) и професор. На това място създава най-великия си научен труд - **Математически принципи на естествената философия** (или накратко **Начала**) и прави най-големите си открития.

Годината 1664г. е превратна година в живота на Нютон. Той преминава в горен курс и получава званието действителен студент. През януари 1665г. получава степента бакалавър и заминава в родното си село поради чумна епидемия. На село ученият работи както върху **нов математичен метод - смятане с производни**, така и върху **разлагането на светлината и законите за всеобщото привличане**.



От 20 май 1665г. до началото на 1666г. Нютон пише пет статии за новия математичен метод, но нито една от тях не е публикувана. Любопитно е да се отбележи, че той *не е обичал да бърза с публикуването на своите открития*. Понякога създателят на новото, намирайки се още в плен на старото, сам възпрепятства разпространяването на новите идеи. Това го въвлича по-късно в тягостен спор с Лайбниц относно приоритета в откриването на диференциалното смятане и пречи на развитието на науката.

През 1667г. Нютон е избран за младши член на Тринити колидж, а след няколко месеца, на 16 март 1668г. - за старши член. След година и половина, през октомври 1669г., неговият учител Бароу му предава своята професорска катедра. Двадесет и седемгодишният млад учен става професор в Кеймбриджкия университет. Оттогава Кеймбридж започва да се слави не с богословие, а с физика и математика. Превръща се от изостанало средновековно учебно заведение в най-крупния център на съвременната наука. *Какви заслуги е имал Нютон, за да бъде издигнат до такъв висок пост?* Този въпрос възниква по естествен път, тъй като великите му открития били известни само на него самия. Той не е имал печатни трудове. Въпреки всичко

това неговата слава се е разпространява в Кеймбридж и Бароу е писал в печата за забележителните му способности и знания. Владеейки нов математичен метод (диференциално смятане), Нютон без особени затруднения решава най-сложните математически задачи, които интригуват тогавашния научен свят.

Работите на Исак в областта на оптиката са главното му занимание през първите години на професорската му дейност. В резултат на продължителни проучвания за усъвършенстване на телескопите той конструира през 1668 г. *модел на нов телескоп - рефлекторния телескоп*. Последният бил твърде миниатюрен апарат, дълъг само 15 cm, с диаметър 2,5 m, но давал същото увеличение като двуметрова тръба. След три години, през 1671г., ученият построява втори рефлекторен телескоп с дължина приблизително 120 cm и радиус на огледалото повече от 2 m. Този телескоп предизвиква голяма сензация. Изпратен е в Лондон, където кралят и членовете на Кралското дружество (Английската академия на науките) го оценяват. Уредът получава единодушно одобрение. На 11 януари 1672г. Нютон е избран за член на Лондонското Кралско дружество.

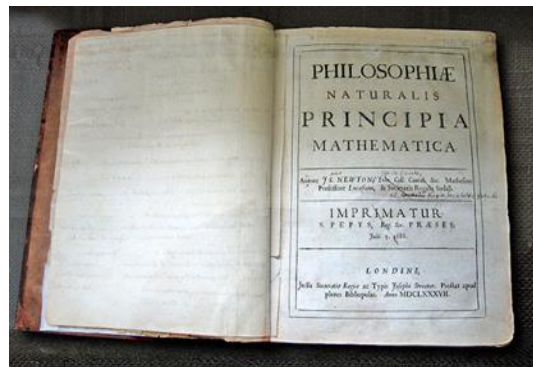


Нютон притежавал увереност, че неговите научни открития ще бъдат приети от хората на науката. На 6 февруари 1672г. изнася доклад в Кралското дружество върху новата теория на светлината и цветовете. Против опитите и особено против неговите изводи застават членът на Кралското дружество Робърт Хук (1635г.-1703г.), знаменитият физик Кристиан Хюйгенс (1629г.-1695г.), йезуитите Пардис, Лилус,

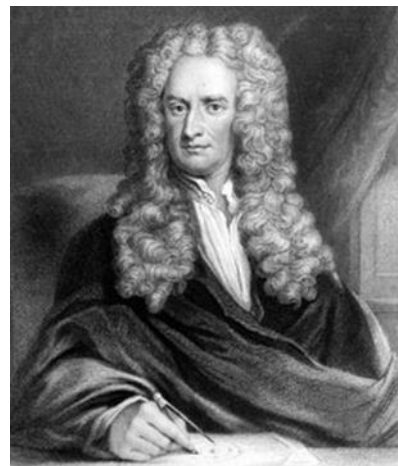


белгийският учен Люкас и др. Неговата изненада е голяма. При това доста интересно е обстоятелството, че наред с неразбирането и непризнаването на новото, внесено в науката на светлината, го обвиняват в плагиатство. Такова обвинение повдига Хук, преписвайки на себе си приоритета за опитите с оцветяването на тънки пластинки. Той оспорва и приоритета на Нютон в изобретяването на рефлекторния телескоп. Необходимо е да се отбележи, че такива обвинения съпътстват всяко откритие на Нютон. Приоритетът за *изобретяване на диференциалното смятане* се оспорва от Лайбниц, а за откриването на *закона за гравитацията* - от Хук. Може да се обобщи, че откритията на Нютон се подготвят от цялото развитие на науката. Негова заслуга е, че довежда тези идеи до степен на обобщение и завършеност, както никой друг от неговите съвременници. Затова е приет за автор на споменатите открития и твърдения.

Проблемите на гравитацията и механиката вълнуват интензивно мислите на Нютон. По онова време много видни умове са разсъждавали върху силата, която заставя планетите да се движат около Слънцето по законите на Кеплер. Историческите факти показват, че това са Хук, който доловил правилния й закон, а също и членовете на Кралското дружество, известният лондонски архитект Кристофър Рен и астрономът Едмънд Халей. Те дори успяват да формулират съответната задача: *да се докаже, че под действието на сила, обратно пропорционална на квадрата на разстоянието до Слънцето, планетата ще се движи по елипса*, но не могат да я решат. Халей се обръща за помощ към Нютон през август 1684г., който през есента на същата година му изпраща свой ръкопис, в който задачата е решена. Халей незабавно поставя пред дружеството въпроса за публикуване на решението, но авторът му не се съгласява. да се отпечата представената част от неговия труд. Едва на 28 април 1686г. Нютон представя пред Кралското дружество своя ръкопис на книгата **Математически принципи на естествената философия**. Отпечатването на книгата се забавя по различни причини, но в средата на 1687г. великото творение се появява на бял свят. С издаването на тази книга се завършва епохата на борбата за нова наука и мироглед. Започва нов исторически етап.



В механиката Нютон осмисля работите на неговите предшественици и обобщава закони, известни дотогава за частни случаи. Той счита, че *геният е постоянство на мисълта, съсредоточена в определено направление*. Първите страници от **Математически принципи на естествената философия** съдържат основните понятия, аксиоматиката на класическата механика. Тази част се състои от осем определения, три закона за движение, следствия от тях и една схолия (поучение).



Първите три определения са за маса, импулс (количество на движение) и инертност. Четвъртото определение е за сила. Следващите определения, от петото до осмото, се отнасят за центростремителна сила. Като примери за такава сила са приведени силата на тежестта, магнитната сила, онази сила (независимо от нейния произход!), която удържа планетите на криволинейните им орбити. Нютон показва, че е възможно да се *изстреля* изкуствен спътник на Земята или да се отправи тяло от Земята, което да продължава вечно своето движение в небесното пространство. Тези две

възможности стават действителност три века по-късно! Осмото определение е за ускорението.

След посочените определения следва знаменитото *поучение*, което е предмет на дълбоки размисли и до днес. В това *поучение* са постулирани **абсолютното време** и **абсолютното пространство**, господствали във физиката до 19 век. За Нютон силата е абсолютен елемент (абсолютна величина), докато движението може да има само относителен характер поради отсъствието на абсолютна отправна система.

Описани са и трите закона на движение: **законът за инерцията, законът за пропорционалността на силата и ускорението, законът за действието и противодействието.**

Нютон разглежда и движението на тела под действието на централни сили. С помощта на много просто доказателство установява валидността на следната теорема (и обратната на нея): **движението на материална точка под действието на централна сила е в една равнина и става така, че площта, описана от радиус-вектора, е пропорционална на изтеклото време.** Изложени са и други твърдения, а именно че *силите са обратно пропорционални на квадрата на разстоянията, ако квадратите на периодите на обикаляне са пропорционални на кубовете на разстоянията.* Формулира се и *обща теорема за движение по крива линия около център.* Това са нови теореми в механиката, достатъчни за обяснение на емпиричните закони на Кеплер и разширяващи областта на приложимост на новата динамика за движението на планетите.

Най-големият принос на Нютон е построяването на *системата на света*, изложена в последната, трета книга на съчинението. Авторът отначало изброява установените от наблюдения закони за движенията на планетите, Луната, спътниците на Юпитер и Сатурн. Като използва изложените по-напред резултати, дава динамична интерпретация на тези закони по същество в онзи вид, в който това сега се прави в курсовете по физика, и стига до извода, че във всички случаи централната звезда действа на планетата или планетата на спътника със сила, обратно пропорционална на квадрата на разстоянието. Централен пункт в тази част е доказателството, че силата, удържаща Луната на нейната орбита - това е онази сила, която заставя телата да падат на повърхността на Земята.

Преодолявайки всички трудности по пресмятането на силата на привличане между материална точка и тяло със сферична форма, Нютон стига до извода, че **привличането съществува за всички тела изобщо и е пропорционално на масата на всяко от тях.** Но той се въздържа от уточняване на причината за привличането: *Причината на тези свойства на силата на привличане досега не можях да изведа от явления; хипотези аз не измислям (hypotheses non fingo).*

По-нататък Нютон излага знаменитата теорема за това, че две **сфери, състоящи се от концентрични хомогенни слоеве, се привличат така, като че ли техните маси са съсредоточени в центъра на всяка сфера.** Обръща

внимание и на твърдението, че приливите и отливите на моретата стават от съвместното действие на Луната и Слънцето. *Математически принципи на естествената философия* завършват с формулиране на **задачата на Клеро** (Алексис Клод Клеро- френски математик и мислител), наречена по-късно **задача за три тела**. Задачата се заключава в *определяне движението на три тела (при Нютон - Слънце, Земя и Луна) под действието на централна (гравитационна) сила*. До Айнщайн гравитацията е била необяснимо явление в науката. Самият Нютон е считал за безсмислено действието от разстояние, без помощта на посредник (поле).

Развитието на механиката и астрономията през 18 и 19 век са в контекста на създадената механика. Известни са думите на Лагранж, че Нютон е най-щастливият от всички световни гении, понеже системата на света може да се установи само един път. Ученият е бил син на своето време, живял е с интересите на своя народ, на своята класа. Убеден привърженик на позицията, че *законът е над краля*, е избран в учредителния Парламент. От януари 1688г. до 1690г. взема участие в работата на Парламента. Тези години на интензивен живот, който заедно с наличието на несъмнена преумора, предизвикана от огромната работа по създаването на *Математическите принципи на естествената философия*, рязко влошават здравето му. Пожар, който унищожава редица негови книги, го довежда до нервен срив. Благодарение на грижите на негови приятели е излекуван и през 1694г. пристъпва към работата върху теорията за движението на Луната. През 1696г. Нютон е назначен за пазител на Монетния двор. В неговото битие започва т. нар. лондонски период - период на обществено признание и слава приживе.

В Лондон Нютон взема непосредствено участие в работата на Кралското дружество. На 30 ноември 1703г. е избран за Председател и остава такъв до края на своя живот. През 1701г. публикува кратко съобщение ***Върху скалата на степените на топлината и студа***, което е една от основоположните работи в историята на термометрията. През 1704г. излиза неговата ***Оптика***. Тя е съставена от работите, написани още в Кеймбридж. Този труд донася голяма слава на нейния автор. През живота на Нютон е преиздаван пет пъти: 1704г., 1717г., 1721 г, 1706г. - издаден с латински превод и 1720г. - с френски. Към първото издание са приложени два математични трактата ***Върху квадратурата на кривите*** и ***Класификация на кривите от трети ред***. Тази публикация дава повод за полемика с Лайбниц във връзка с приоритета. Т продължава до смъртта на Нютон и създава както на него, така и на Лайбниц, не малко горчиви минути. (Сега е установено, че двамата автори идват до откриването на диференциалното и интегралното смятане независимо един от друг.)

Оптиката се състои също от три книги. В първата се разглеждат отражението, пречупването и дисперсията на светлината (анализ и синтез на цветове) с приложение за обяснение на дъгата и с допълнение, посветено на телескопите. Във втората книга се разглеждат оцветяванията на тънки слоеве, а третата книга съдържа кратко експериментално изследване на дифракцията и

завършва с 31 въпроса от теоретичен характер.

В първата част на втората книга се описват серия от основни опити, проведени прецизно и станали класически.

Нютон изучава **оцветяването на тънки слоеве**, като наблюдава това явление не само в бяла светлина, но и в монохроматична. Многобройните опити върху това интересно явление и точните измервания му позволяват да открие различни закономерности, които се изучават и днес.

Управителят на Кралския монетен двор Исак Нютон пръв определя цената на златото през 1717г. Една унция злато приравнява на малко повече от четири лири. Тази стойност на златото се запазва фиксирана близо 200 години. За заслугите си към Монетния двор и постиженията си в областта на науката Нютон е удостоен с благородническата титла **сър**.



Краят на неговия живот е отбелязан със слава, признание и спокойствие. В Кралското дружество е имал неоспорим авторитет. Почива през нощта на 20 срещу 21 март 1727г. Погребан е с големи почести в Уестминстерското абатство - английският национален пантеон - до гроба на друг велик син на Англия -композиторът Хенри Пърсел.

Надписът на паметника над гроба на Нютон завършва с думите: *Нека смъртните се радват, че е съществувало такова украшение на човешкия род, а на статуята му в Кеймбридж е изсечен стих от Лукреций: С разума си той превъзхождаше човешкия род.*

Нашият забързан съвременен свят провокира епилог със следната Нютонова мисъл: **Мога да изчисля движенията на тежките обекти, но не и лудостта на хората!**, а относно нас, то **ние сме деца, играещи на плажа, на който е играл и великият учен Исак Нютон, докато огромният океан на истината лежи неоткрит пред нас!**



ЛИТЕРАТУРА

1. Вавилов С., *Исак Нютон*, Научна биография и статии. С., Техника, 1965.
2. Желязков И., *Исак Нютон* (1643-1727г.), С., Народна просвета, 1980.
3. Паликарска М., *Бележити физици*, С., Народна просвета, 1980.
4. <http://lichnost.newage.bg>
5. <http://www.chitatel.net/isaac-newton/>
6. <http://magnifisonz.com>
7. <https://prezi.com/bg3du4-iqefx/presentation/>
8. <http://svyat.com>
9. <http://bnr.bg/plovdiv/post/100395222/14---isak-nuton>
10. <http://zagadkata.com>
11. <http://www.wishbox.org/blog/view/265>

РОЛЯ НА КРАТНИТЕ ВЪЛНИ В СЕИЗМОПРОУЧВАНЕТО

Мая Григорова

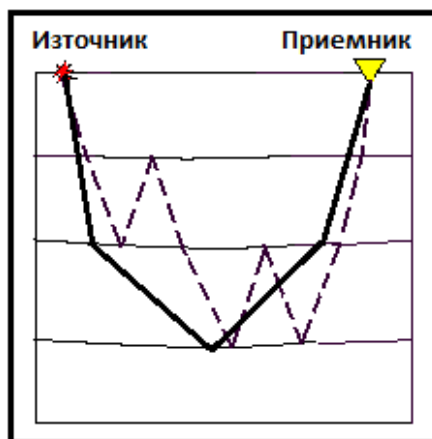
Геологопроучвателен факултет, Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски”,
София 1700, ул. Проф. Боян Каменов,
e-mail: maya.grigorova86@gmail.com

Резюме. При извършване на сеизмични проучвания с цел търсене на нови находища на нефт и газ, основно значение се обръща на разграничаването на «полезния» от т.нар «вреден» сигнал. В сеизмопроучването като полезен сигнал се определят всички акустични вълни, които носят специфична информация за геоложката граница, от която са се отразили при разпространението си в Земята. От своя страна като «вреден» сигнал или шум се характеризират всички останали ефекти по сеизмичните записи, които усложняват и дори заблуждават тълкуването на сеизмичния разрез на етапа на интерпретацията му. Като един от най-характерните видове шум в сеизмопроучването се явяват т.нар. кратни вълни. Появата им върху сеизмограмите обикновено усложнява обработката на данните и през последните години активно се търсят начини не само за потискането им, но дори и за превръщането на кратните вълни в носител на полезна информация за геоложката обстановка, в която се регистрират сеизмичните данни.

Ключови думи: сеизмични данни, кратни вълни, геоложки разрез.

1. Общи сведения за кратните вълни и тяхната обобщена класификация

В сеизмичните изследвания се счита, че цялата енергия, която се получава като сигнал има само едно отражение от под-повърхностен слой. На практика обаче акустичните вълни могат да се отразят няколко пъти под повърхността, променяйки своята посока на движение, което води до появата на така наречените кратни вълни [1].



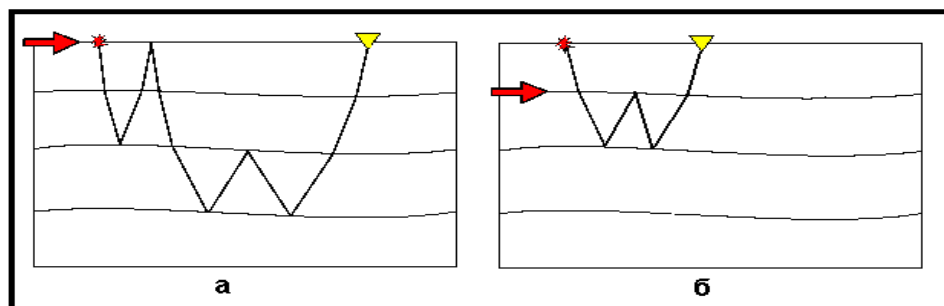
Фиг. 1. Схематична илюстрация на реални отражения от акустична граница (плътната линия) и кратни вълни (с пунктир)

Кратните вълни могат да бъдат класифицирани по различни критерии:

- Според най-плитката повърхност, в която кратната вълна се отразява обратно и променя посоката си на движение надолу;
- Според дължината на периода на кратните вълни.

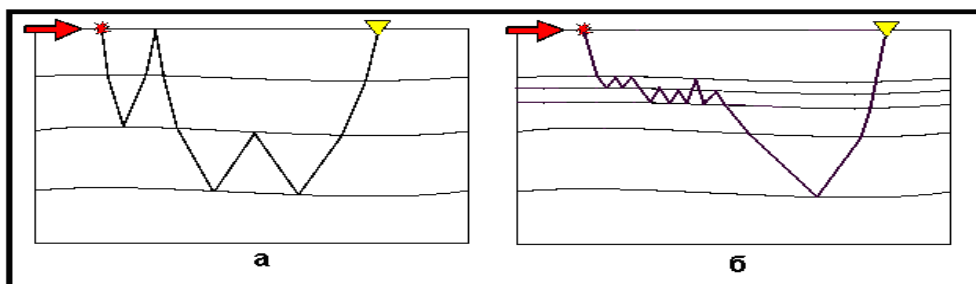
Според първият критерий се различават два типа кратни вълни:

- Вътрешни кратни вълни, получени при отражение на вълната от първата под-повърхностна граница;
- Кратни вълни отразени от земната повърхност (surface-related multiples), при които отражението, което променя посоката на акустичната вълна надолу е отражение от най-горният слой, който при сухоземните проучвания е земната повърхност. Този тип кратни вълни няма да бъдат наблюдавани в случаите когато земната повърхност не се явява отразяваща граница, т.е акустичната енергия преминава през нея, а не се отразява.



Фиг. 2. Класификация на видовете кратни вълни: *а - кратна вълна, отразена от повърхността; б - вътрешна кратна вълна*

Класификацията на кратните отражения според дължината на периода им включва разделянето им на кратни вълни с дълъг период и кратко периодни кратни вълни. Кратните вълни с дълъг период са тези кратни вълни, чието време на регистриране се различава драстично от времето на регистриране на свързаните с тях реални отражения. За разлика от тях кратните вълни с кратък период, не могат да бъдат категорично разграничени от реалните отражения, поради факта, че времето им на регистриране почти съвпада с това на отраженията.



Фиг. 3. Класификация на кратните вълни според дължината на периода им: *а - вълна с дълъг период; б - вълна с кратък период*

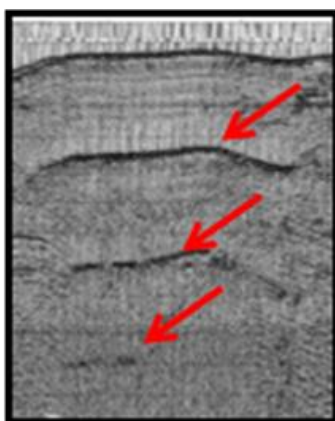
2. Разпознаване на кратните вълни върху сеизмичните изображения

Появата на кратни вълни може да доведе до неясни резултати при интерпретация на получения разрез, особено при редуване на тънки в стратиграфско отношение пластове, но също така може да допринесе за установяването на подобни структурни ефекти в разреза [2].

При анализът на сеизмични данни се наблюдават някои характеристики на кратните вълни:

- Периодичност

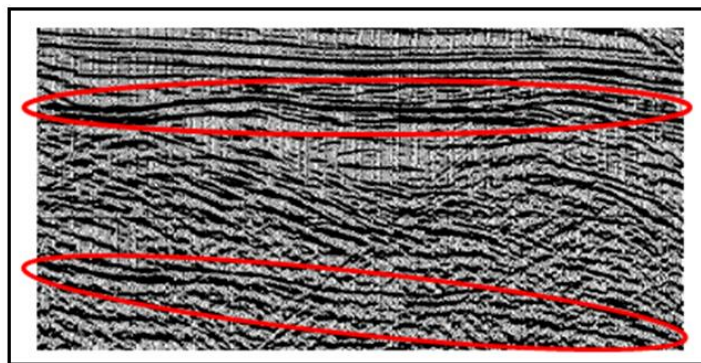
В случаите когато определени сеизмични явления се повтарят през относително равномерни интервали и се характеризират с амплитуди, които нарастват или намаляват по сходен начин, има голяма вероятност тези явления да са породени от кратни вълни.



Фиг. 4. Част от сеизмичен разрез с наличие на кратни вълни, характеризиращи се с периодичност

- Нарастващи наклони

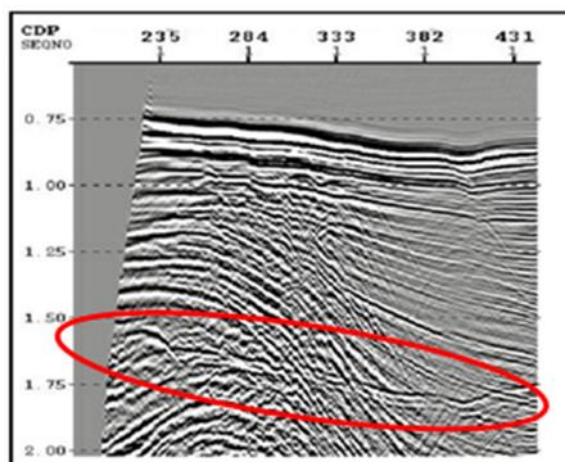
При отразяването си кратните вълни оставят белег от структурата, която е предизвикала тяхното отражение. При наличие на наклон на структурата той ще бъде добавен към наклона на реалното отражение. По този начин, ако в разреза реалните отражения имат определен наклон, то кратните вълни могат да бъдат разпознати по това, че увеличават този наклон. В други случаи когато кратните отражения не могат да бъдат лесно разпознати по наличие на конфликтни наклони, те могат да бъдат погрешно взети за реални отражения и цялостно да променят интерпретирания разрез. По тази причина качественото дефиниране на кратните вълни е от особено значение при обработката на сеизмични данни особено при стръмно залягащи отразяващи граници.



Фиг. 5. Част от сеизмичен разрез с наличие на кратни вълни

- Пресичане на отражения и кратни вълни

Кратните вълни могат да предизвикат зони на конфликт с реалните отражения от по-дълбоки граници, като по този начин ясно се открояват от тях.



Фиг. 6. Част от сеизмичен разрез с наличие на кратни вълни, пресичащи реални отражения

3. Кратните вълни в морската сеизмика

Сеизмичните проучвания в моретата и океаните се отличават като мащабни, скъпоструващи и трудоемки изследователски дейности. Достоверността на получените данни в голяма степен зависи както от особеностите на геоложката среда, така и от качеството на последващата обработка. Много често в данните се съдържат редица пречещи вълни (шум) както и кратни вълни, които в случай че не бъдат разпознати и премахнати от данните могат да доведат до подвеждащи и нереалистични резултати при интерпретацията на разрезите [3].

Кратните вълни са особено характерни за морските сеизмични изследвания, тъй като морското дъно се явява перфектна отразяваща повърхност. Това е такава повърхност с относително малък коефициент на отражение.

Както е известно за образуването на отразени вълни в слоеста среда е необходимо на граничната повърхност между слоевете да има скок във вълновите съпротивления.

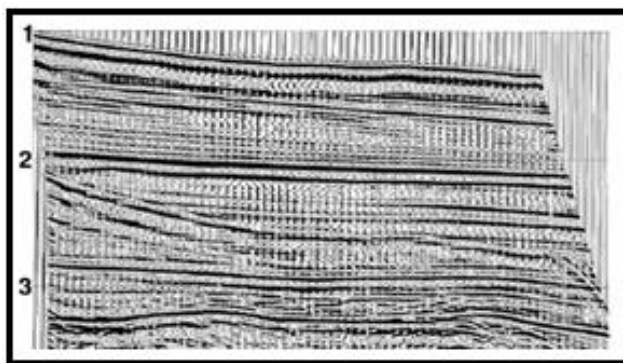
Нека приемем, че скоростта и плътността на горния слой са съответно V_1 и ρ_1 , а на втория – V_2 и ρ_2 . То тогава вълновите съпротивления на двете среди са съответно (Acoustic Impedance):

$$AI_1 = V_1 \rho_1 \text{ и } AI_2 = V_2 \rho_2 \quad (1)$$

На границата между два пласта със скорости V_1 и V_2 и плътности ρ_1 и ρ_2 съответно коефициента на отражение се определя по формулата:

$$R_c = \frac{\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1}{\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1} \quad (2)$$

От уравнението за коефициента на отражение се вижда, че той варира от -1 до +1. Коефициента е отрицателен, когато вторият пласт има по-малко вълново съпротивление от първия и обратно. Когато коефициентът на отражение е отрицателен, полярността на отразената вълна е обратна на полярността на падащата вълна. При константна скорост, отражението се предизвиква от разликата в плътностите и обратно. При големи стойности на коефициента на отражение се предава по-малко енергия и следователно отношението сигнал/шум под такава граница е по-ниско. В идеалния случай бихме искали всеки пласт да има относително малък коефициент на отражение. В конкретния случай скоростта на разпространение на акустичните вълни във водата, както и нейната плътност е много по-ниска от тази на дъното, което предизвиква появата на идеални условия за образуване на кратни вълни. Това дава отговор на въпроса защо кратните вълни се срещат предимно в морските изследвания, където дълго време се считаха за пречещи вълни. До голяма степен това е така, но през последните години се наблюдават опити за извличане на полезна информация за характеристиките на разреза включително и от тях. Носител на полезна информация в някои случаи се явява кратната вълна от дъното. Обикновено тя се отличава със силни амплитуди съизмерими с тези на реалното отражение от дъното и много отчетливо проявление.



Фиг. 7. Част от сеизмичен разрез с наличие на кратна вълна от морското дъно

По такъв начин тези кратни вълни също могат да се вземат под внимание при интерпретацията на разреза, давайки информация за вълновата картина, но с разлика във фазата на вълните.

4. Заключение

В сеизмичните изследвания е прието кратните вълни да се считат за шум и следователно да бъдат премахвани от данните. В общия случай това повишава разрешаващата способност на получените разрези и тяхната интерпретируемост като намалява многозначността на резултата. Съвременните предизвикателства, пред които е изправена петролната индустрия обаче налагат необходимостта от търсенето на всяка възможност за използване на вече добитата информация за повишаване надеждността на интерпретираните резултати и разшифроването на геоложката обстановка на хиляди метри под повърхността на Земята. В това отношение възможността за използването на кратните вълни при тълкуването на сеизмичните разрези не е за подценяване тъй като може да се окаже както полезно, така и рентабилно в редица случаи.

ЛИТЕРАТУРА

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

[2] Grigorova, M. Characteristics of multiples in reflection seismic and main approaches for their suppression. Proceedings of XV Balkan Mineral Processing Congress, Vol. 2, Sozopol, Bulgaria, 2013, ISBN 978-954-353-218-6, p.1251-1254.

[3] Григорова, М. Сеизмични проучвания в моретата и океаните. “Дни на физиката 2016”, Технически университет, ISSN 1313-9576, стр. 108-114.

ОТНОСНО ПРОВОДИМОСТТА НА ЕЛЕКТРОЛИТ. БАЛАНС НА ЧАСТИЦИТЕ И МАСОВИТЕ ПОТОЦИ

Димитър Г. Стоянов

ИПФ-Сливен на ТУ-София

Резюме. В работата се обсъжда баланса на неутралните и електрически заредените частиците и техните масови потоци в електролит. Разглежда се и процеса на дисоциация на молекулите на разтворени соли в хомогенна среда без масови потоци..

Ключови думи: дисоциация, електролит, степен на дисоциация

1. Увод

На процесите, протичащи в електролитите [1] е обърнато внимание отдавна. Първите изследвания са свързани с имената на Галвани, Волта, Дейви и Фарадей. По-късно и постепенно се създават основите на теорията за електролитната дисоциация. В настоящият момент електрохимията [1] има важно практическо значение за процесите за технологични въздействия върху повърхности - нанасяне на тънки слоеве, създаване на защитни покрития или за повърхнинно и дълбочинно почистване на материали. Друг аспект на практическото приложение на електрохимията са приелектродните процеси [1] при химическите източници на електрическа енергия - галваничните елементи, акумулаторите и водородните клетки.

В последно време в обществото се повишава интереса към екологичните проблеми или екологичните аспекти на много съществуващи и работещи производства. Появяват се изследвания, позволяващи създаването на прости и надеждни методики за определяне на концентрацията на замърсители във водата и въздуха, но на базата на съвременните достижения на микроелектрониката и информационните технологии. Това налага връщане към старите теории и идеи, преглед на тяхната адекватност от гледна точка както на съвременните разбирания и натрупан опит, така и проверка на по-висока степен на прецизност при описание на протичащите процеси във водните разтвори.

Цел на настоящата работа е разглеждане на основните процеси, протичащи при електролитната дисоциация и формулиране на уравненията на баланс за концентрациите на частиците и техните масови потоци.

2. Баланс на частиците и потоците частици

2.1 Основни процеси на генерация и загуби на частици

Нека поставим в разтворител малко количество от солта **AB**. Солта ще се разтвори напълно и ще имаме средна обемна концентрация на молекулите на разтвореното вещество N_C . В резултат на взаимодействие на разтвореното вещество с разтворителя ще протече реакция на дисоциация на молекулата **AB**.



Правата реакция е дисоциация на молекула с обемна концентрация N_m с честота v_d . Честотата на дисоциация v_d е пропорционална на концентрацията на частиците на разтворителя N_r и константа на дисоциация k_d . Скоростта на реакцията е:

$$\left(\frac{\delta N}{\delta t}\right)_{dis} = k_d \cdot N_r \cdot N_m = v_d \cdot N_m \quad (2)$$

Реакцията на дисоциация е екзотермична и прагова, поради което константа на дисоциация k_d зависи силно от температурата на средата T .

Обратната реакция е асоциация на положителни A^+ и отрицателни B^- йони с концентрации N_+ и N_- , с константа на асоциация k_a . Константата на асоциация зависи от температурата по степенен закон. Скоростта на реакцията е:

$$\left(\frac{\delta N}{\delta t}\right)_{assoc} = k_a \cdot N_+ \cdot N_- \quad (3)$$

При термодинамично равновесие двете скорости на реакции са равни и се постигат равновесните обемни концентрации на молекулата и йоните. При термодинамично равновесие концентрациите на положителните и отрицателни йони са еднакви. Тогава степента на дисоциация α се дефинира като:

$$N_+ = N_- = \alpha \cdot N_C \quad (4)$$

$$N_m = (1 - \alpha) \cdot N_C \quad (5)$$

2.2 Потоци на частиците

При наличие на външно електрично поле $\vec{E}$ или градиенти на плътността на частиците ще се появят масови потоци на частиците с плътности на потока Γ_+ , Γ_- и Γ_m . За тези плътности на потока можем да запишем [2]:

$$\vec{\Gamma}_+ = -D_+ \cdot \text{grad} N_+ + \mu_+ \cdot N_+ \cdot \vec{E} \quad (6)$$

$$\vec{\Gamma}_- = -D_- \cdot \text{grad} N_- - \mu_- \cdot N_- \cdot \vec{E} \quad (7)$$

$$\vec{\Gamma}_m = -D_m \cdot \text{grad} N_m \quad (8)$$

При записа на тези връзки са отчетени процесите на дифузия и дрейфа на заредените частици във външно електрично поле $\vec{E}$. Дифузионните членове да изразени чрез коефициентите на дифузия на отделните компоненти в разтворителя - D_+ , D_- и D_m , като в общият случай предполагаме, че коефициентите са различни. Членовете на дрейф са пропорционални на подвижността на йоните в разтворителя, под действие на електричното поле - μ_+ и μ_- . Между подвижностите на йоните и техните дифузии съществува следната връзка [2]

$$\frac{\mu_+}{D_+} = \frac{\mu_-}{D_-} = \frac{q}{k_B \cdot T} \quad (9)$$

В (9) фигурира големината на електричния заряд на йоните q , Болцмановата константа k_B и температурата на средата T .

Тук трябва да споменем и електрическите характеристики на компонентите. Първо ще дефинираме обемна плътност на електричния заряд на отделните компоненти k_+ , k_- и сумарната плътност на електричния заряд k [2].

$$k_+ = q \cdot N_+ \quad (10)$$

$$k_- = -q \cdot N_- \quad (11)$$

$$k = k_+ + k_- = q \cdot N_+ - q \cdot N_- \quad (12)$$

Движещите се заредени компоненти формират и електричен ток с плътности $\vec{j}_+$, $\vec{j}_-$ и сумарна плътност на електричния ток $\vec{j}$ [1, 2].

$$\vec{j}_+ = q \cdot \vec{\Gamma}_+ \quad (13)$$

$$\vec{j}_- = -q \cdot \vec{\Gamma}_- \quad (14)$$

$$\vec{j} = \vec{j}_+ + \vec{j}_- = q \cdot \vec{\Gamma}_+ - q \cdot \vec{\Gamma}_- \quad (15)$$

Важна характеристика на електролита е неговата приведена проводимост λ . Тя се дефинира като [1]

$$\lambda = \frac{j}{E \cdot N_C} \quad (16)$$

2.3 Баланс на частиците

Балансът на частиците ще запишем в общият случай, въз основа на закона за непрекъснатостта [2, 3]

$$\frac{\partial N_+}{\partial t} + \text{div} \vec{\Gamma}_+ = \nu_d \cdot N_m - k_a \cdot N_+ \cdot N_- \quad (17)$$

$$\frac{\partial N_-}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{\Gamma}_- = \nu_d \cdot N_m - k_a \cdot N_+ \cdot N_- \quad (18)$$

$$\frac{\partial N_m}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{\Gamma}_m = -\nu_d \cdot N_m + k_a \cdot N_+ \cdot N_- \quad (19)$$

При написване на тези уравнения е отчетено, че за заредените частици реакцията на дисоциация (фигурира със знак плюс) е донор на заредени частици, а реакцията на асоциация (фигурира със знак минус) е разход за заредените частици.

За плътностите на електричния заряд и плътността на електричния ток съществуват подобни зависимости (чрез умножаване със съответния заряд)

$$\frac{\partial k_+}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{j}_+ = q \cdot \nu_d \cdot N_m - q \cdot k_a \cdot N_+ \cdot N_- \quad (20)$$

$$\frac{\partial k_-}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{j}_- = -q \cdot \nu_d \cdot N_m + k_a \cdot N_+ \cdot N_- \quad (21)$$

За тяхната сума получаваме закона за запазване на електричния заряд

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{j} = 0 \quad (22)$$

От тук обаче получаваме и първото важно следствие

$$\frac{\partial (N_+ - N_-)}{\partial t} + \operatorname{div} (\vec{\Gamma}_+ - \vec{\Gamma}_-) = 0 \quad (23)$$

Където [3]

$$\vec{\Gamma}_+ - \vec{\Gamma}_- = \frac{\vec{j}}{q}. \quad (24)$$

2.4 Гранични условия за уравненията

Така написаните системи уравнения трябва да се решават при гранични условия, които ще получим чрез следващите разсъждения.

Първо, ако десните страни на (17)-(21) са нули, това означава, че през електролита могат да текат масови потоци, като те не се променят. Това е възможно да се случи някъде в средата на обема, заема от електролита, но не и в целият обем. Освен това реакцията на асоциация е разходна за йоните. Поради това десните страни на (17), (18), (20) и (21) са неотрицателни.

Второ, посочените масови потоци трябва да се създадат и те възникват в околността на електродите. Предполагаме, че металните електроди не генерират заредени частици, а могат само да поемат електричния заряд на йоните – обмен на електрони с йоните, които попадат (се сблъскват) върху електродите.

Ако не отчетем дифузията на йоните, можем да запишем:

- върху *положителния електрод*

$$\vec{\Gamma}_+ = +\mu_+ \cdot N_+ \cdot \vec{E} = 0 \quad (25)$$

Тогава от (24) следва, че

$$\vec{\Gamma}_- = -\mu_- \cdot N_- \cdot \vec{E} = -\frac{\vec{j}}{q} \quad (26)$$

- аналогично, върху *отрицателния електрод*

$$\vec{\Gamma}_+ = +\mu_+ \cdot N_+ \cdot \vec{E} = \frac{\vec{j}}{q} \quad (27)$$

$$\vec{\Gamma}_- = -\mu_- \cdot N_- \cdot \vec{E} = 0 \quad (28)$$

Това означава, че в приелектродните области ще имаме дефицит на един от йоните и асоциативната реакция ще е слаба, а върху електродите е даже с нулева скорост на реакцията. Затова в приелектродните области ще преобладава дисоционната реакция, която ще генерира йони, необходими за формиране на масовите потоци от йоните.

3. Кинетика в хомогенна среда без масови потоци

3.1 Уравнения на кинетиката

При липса на масови потоци от (23) и (24) следва, че

$$N_+ - N_- = 0 \quad (29)$$

И системата уравнения (17-19) стават скаларни, като се редуцират до

$$\frac{dN_+}{dt} = \nu_d \cdot N_m - k_a \cdot N_+^2 \quad (30)$$

$$\frac{dN_m}{dt} = -\nu_d \cdot N_m + k_a \cdot N_+^2 \quad (31)$$

Тази система уравнения се решава, като първо констатираме, че

$$N_+ + N_m = N_C \quad (32)$$

И наистина, ако съберем (30) и (31), ще получим производна от сума, която е постоянна. Тази сума е означена с N_C .

Тогава можем да запишем

$$\frac{dN_+}{dt} = \nu_d \cdot (N_C - N_+) - k_a \cdot N_+^2 \quad (33)$$

Или

$$\frac{dN_m}{dt} = -\nu_d \cdot N_m + k_a \cdot (N_C - N_m)^2 \quad (34)$$

Така получихме диференциални уравнения от първи ред за N_+ и N_m .

3.2 Решения на уравненията

Ще решим (33), като първо го разделим на N_C и съгласно (4) получаваме

$$\frac{d\alpha}{dt} = \nu_d \cdot (1 - \alpha) - k_a \cdot N_C \cdot \alpha^2 = \nu_d \cdot \left(1 - \alpha - b^2 \cdot \alpha^2\right) \quad (35)$$

Тук с b е означен безразмерния параметър

$$b^2 = \frac{k_a \cdot N_C}{\nu_d} \quad (36)$$

Тогава получаваме

$$\frac{\frac{db \cdot \alpha}{\sqrt{1 + \frac{1}{4b^2}}}}{\frac{(b \cdot \alpha + \frac{1}{2b})^2}{1 - \frac{1}{1 + \frac{1}{4b^2}}}} = \nu_d \cdot b \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{4b^2}} \cdot dt \quad (37)$$

Следвайки [4] и приемайки, че в началният момент $t=0$ имаме начална дисоциация $\alpha(0)=0$, получаваме

$$\text{Arth} \left[\frac{b \cdot \alpha(t) + \frac{1}{2b}}{\sqrt{1 + \frac{1}{4b^2}}} \right] - \text{Arth} \left[\frac{\frac{1}{2b}}{\sqrt{1 + \frac{1}{4b^2}}} \right] = \nu_d \cdot b \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{4b^2}} \cdot t. \quad (38)$$

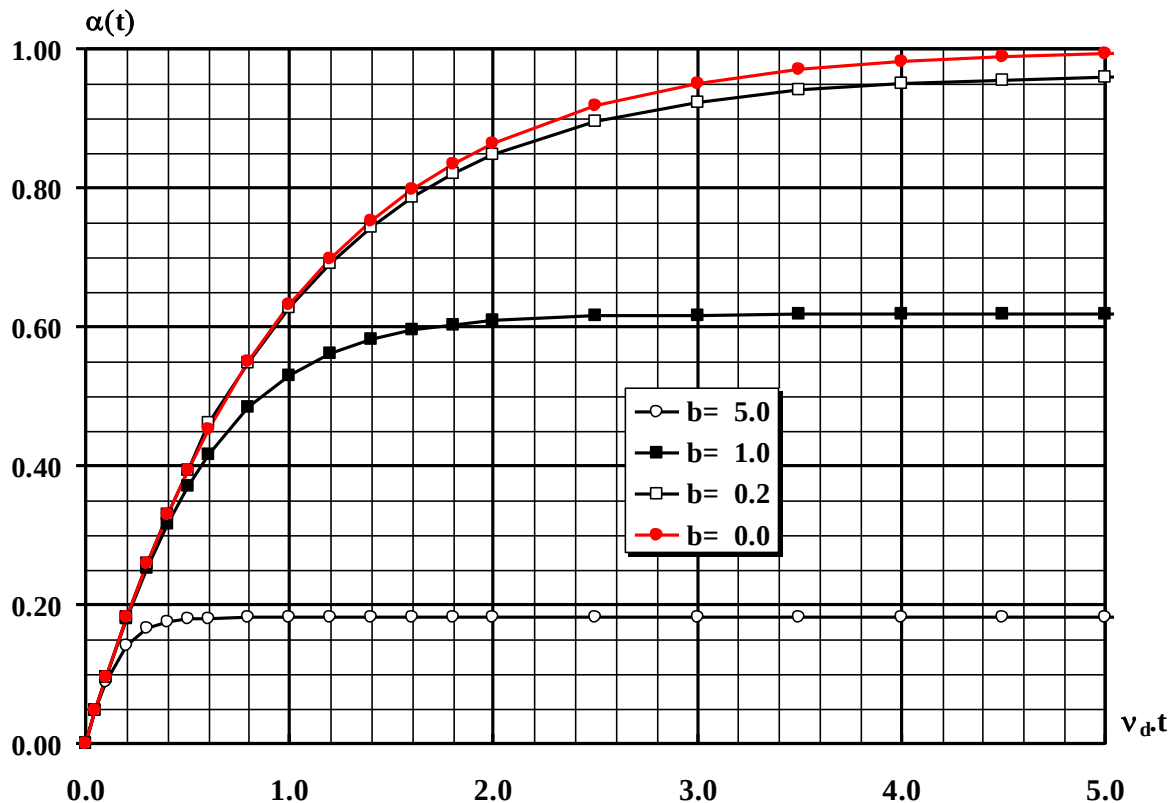
Полученият израз (38) след известни преобразования получава вида

$$\frac{N_+}{N_C} = \alpha(t) = \frac{2}{\sqrt{4b^2 + 1} \cdot \text{cth} \left[\frac{\nu_d \cdot t}{2} \cdot \sqrt{4b^2 + 1} \right] + 1}. \quad (39)$$

Ще дефинираме и характерно време τ

$$\frac{1}{\tau} = \frac{\nu_d}{2} \cdot \sqrt{4b^2 + 1} = \frac{\nu_d}{2} \sqrt{1 + \frac{4k_a \cdot N_C}{\nu_d}} \quad (40)$$

На фиг.1 е показана графиката на $\alpha(t)$ от (39) за четири различни параметъра b .

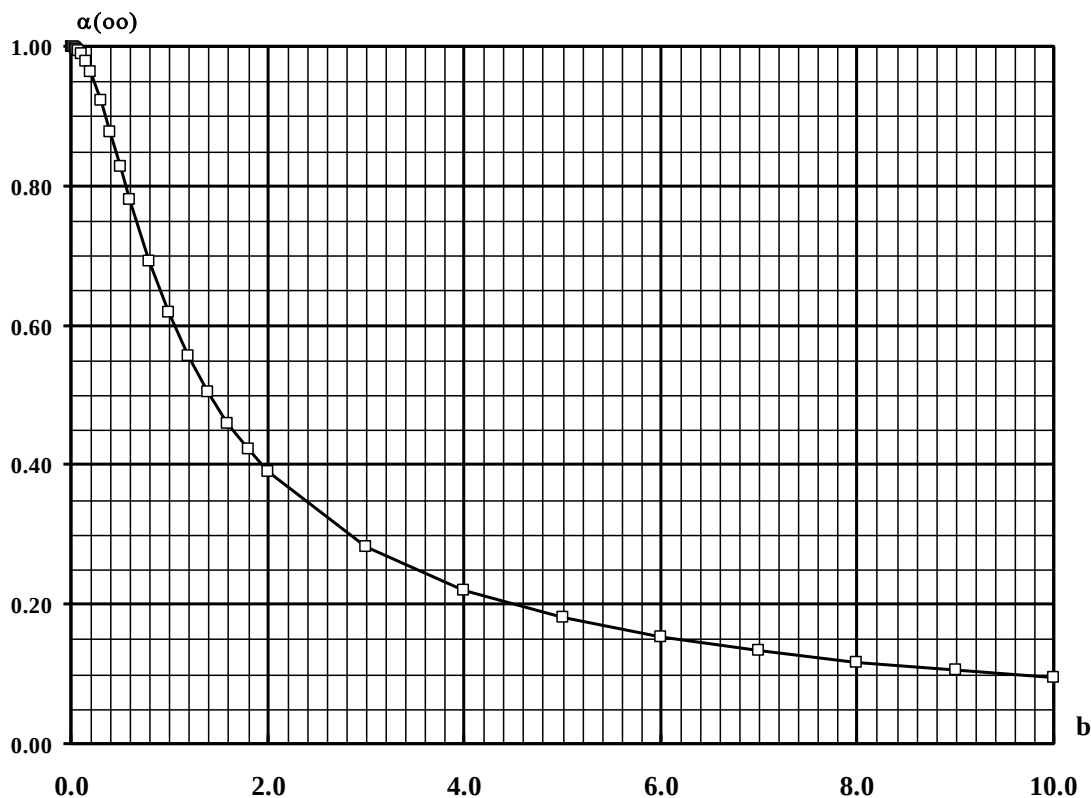


Фиг. 1. Времева зависимост на промяната на степента на дисоциация α за четири различни параметъра b - 5.0, 1.0, 0.2 и 0.

След достатъчно дълго време степента на дисоциация $\alpha(t)$ ще бъде близко до асимптотичната стойност на безкрайност $\alpha(\infty)$, която представлява равновесната степен на дисоциация.

$$\frac{N_+}{N_C} = \alpha(\infty) = \frac{2}{\sqrt{4b^2 + 1} + 1} = \frac{\sqrt{4b^2 + 1} - 1}{2b^2}. \quad (41)$$

Същият резултат ще получим като нулираме дясната страна на (35) и решим квадратно уравнение за α . Графиката на тази зависимост е дадена на фиг.2.



Фиг. 2. Зависимост на равновесната степен на дисоциация $\alpha(\infty)$ от b

4. Заключение

В заключение можем да кажем, че в резултат на анализ на уравненията на баланс на частиците са получени диференциалните уравнения за описание на концентрациите и плътностите на потоците на положителните йони, отрицателните йони и недисоциираните молекули. Получена е зависимостта във времето на степента на дисоциация в хомогенна среда без масови потоци.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Глазов В.М., *Основы Физической химии*, Учеб. пособие для вузов, Москва, Изд. "Высш. Школа", 1981, 456с.
- [2] Райзер Ю.П., *Физика газового разряда*, Москва, "Наука", 1987.
- [3] Стоянов Д. Г., *Аналитичен вид на волт-амперната характеристика на плоска йонизационна камера*, Известия на ТУ-Сливен, N2, 2006, 16-21.
- [4] Двайт Г.Б., *Таблицы интегралов*, Москва, "Наука", 1973.

ВРЪЗКА МЕЖДУ КВАЗИПЕРИОДИЧНИТЕ ОСЦИЛАЦИИ В СПЕКТЪРА НА ЧЕРНИ ДУПКИ И ВЕРОЯТНОСТНО РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ НА МАСИТЕ ИМ

Иван Ж. Стефанов

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

Резюме. В работа е представена идея за получаване на вероятностно разпределение на масата на черни дупки като се изходи от модел за обяснението на наблюдаваните в рентгеновият им спектър квазипериодични осцилации и се направи допускане за вероятностното разпределение на другият техен основен параметър - момента на импулса. Полученото вероятностно разпределение на масата позволява от една страна да се получи по-точна оценка за масата, а от друга, да се оценят както качеството на използваният модел така и правдоподобността на споменатото допускане за вероятностно разпределение на момента на импулса, чрез сравнение с други оценки за масата.

Ключови думи: микроквазари, квазипериодични осцилации, рентгенови спектри, разпределение.

1. Увод

Квазипериодичните осцилации на интензитета на рентгеновото лъчение [1, 2, 3, 4] достигащо до нас от компактни гравитационни източници, като черни дупки и неутронни звезди, предлагат обещаващ метод за изследване на физиката и структурата на пространство-времето в близост до такива обекти. Източникът им е намиращата се в близост до централния обект, черна дупка или неутронна звезда, гореща материя, която образува акреционен диск. Поради високата температурата на акреционния диск, от порядъка на 10^7 K, лъчението е предимно в рентгеновата част на електромагнитния спектър. Основната хипотеза за произхода на квазипериодичните осцилации на интензитета на достигащото до нас рентгеново лъчение е, че то се модулира от движението на нехомогенности в акреционния диск.

Наличието на модел за високочестотни квазипериодични осцилации би ни позволило да оценим масата и/или момента на импулса на черната дупка. В литературата се срещат множество модели, но никой от тях не се счита за окончателен и съществено по-добър от останалите. Естествен стремеж е да се намерят критерии, които да могат да ни помогнат да отсеем добрите от лошите модели. Оскъдните експериментални данни затрудняват избора на модел. Един възможен начин да се провери достоверността на моделите е като се сравнят оценките, които те дават за масата на наблюдаваните черни дупки с оценките

получени от други изследвания, най-често получени от изследване на движението на намиращата се в близост до черната дупка звезда партньор.

2. Високочестотни квазипериодични осцилации в спектъра на микроквазара GRO 1655-40

Високочестотните квазипериодични осцилации (ВЧ КПО) биват два вида - долни и горни. При три от всичките седем черни дупки, в чиито спектър се откриват високочестотни квазипериодични осцилации, те се наблюдават по двойки, наречени близнаци (twin high frequency quasiperiodic oscillations), чиито честоти са в съотношение 3:2. Моделите предлагат формули за двете ВЧ КПО, в които участват три параметъра - масата M и момента на импулса на черната дупка a , и радиуса на орбитата r , върху която се намира нехомогеността или горещото петно от диска, което модулира излучването. Следователно можем да съставим следната система от две уравнения с три неизвестни:

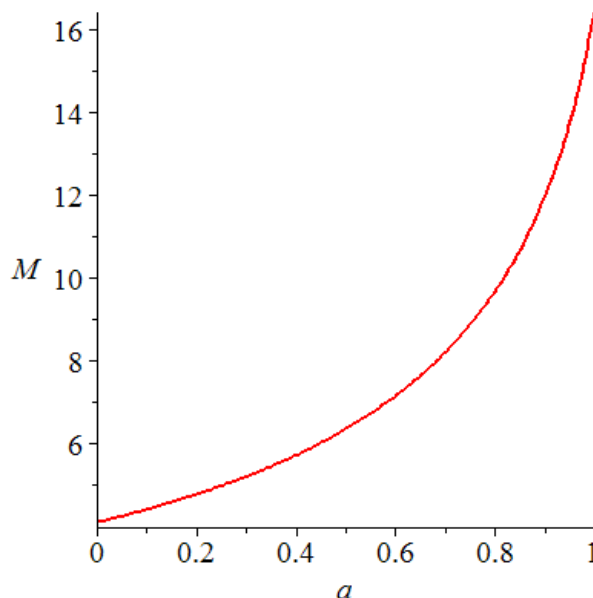
$$\nu_U(a, M; r) = \nu_{U, obs} \quad (1)$$

$$\nu_L(a, M; r) = \nu_{L, obs} \quad (2)$$

където $\nu_{U, obs}$ и $\nu_{L, obs}$ са стойностите, получени от наблюденията. От лявата страна на уравнения (1) и (2) се намират изразите за честотите, предписани от различните модели. Тази система ни позволява да построим крива в пространството на параметрите M и a . В настоящата работа като пример разглеждаме обекта GRO 1655-40. За него

$$\nu_{U, obs} = 450 \text{ Hz}, \quad \nu_{L, obs} = 300 \text{ Hz} \quad (3)$$

Кривата в $a - M$ пространството за този обект е представена на фиг. 1.



Фиг. 1. Връзка между момента на импулса и масата на черната дупка GRO 1655-40 получена от модела на релятивистичната прецесия

За построяването ѝ е използван модела на релативистичната прецесия. Подробности за този модел могат да бъдат намерени например в [4, 5, 6]. От тази фигура се вижда, че ако ни е известен момента на импулса на черната дупка a , можем да определим и нейната маса M . Оценката, получена по този начин, може да се сравни с референтната стойност $M = 5.4 \pm 0.4 M_{\odot}$, получена чрез други методи. Наличието на несъответствие между двете стойности би било признак за лош избор на модел за ВЧ КПО, ако референтната маса е достоверна, разбира се.

3. Оценка и неопределеност за масата на GRO 1655-40

Тук възникват няколко естествени въпроса. Можем ли по-точно да определим a , а от там и M ? По-тясна интервална оценка за M , би означавала по-голяма вероятност за конфликт с референтната стойност и по-лесно откриване на неподходящите модели за ВЧ КПО. Теоретичните ограничения за момента на импулса на черните дупки според Общата теория на относителността са следните $a \in [0, 1]$. До колко имаме основание да приемем средата на интервала като най-добра оценка за стойността на момента импулса, а полуширината му като оценка за неопределеността? Една възможност да намерим отговор на тези въпроси е да се обърнем към добре установени практики от метрологията. Те могат да бъдат намерени в различни учебници, (виж например [7]) или в документите, издавани от Международното бюро за мерки и теглилки (BIPM) [8]. В цитираните документи неопределеностите се класифицират като два основни типа - А и В. За оценката на първите се прилага статистическа обработка на резултати от многократни измервания. При втория тип не се използват статистически методи. За оценката на неопределености от тип В се използват различни методи като една от възможностите е измерваната величина да се разглежда като случайна с подходящо разпределение, което е избрано така, че да отчита цялата налична информация за нея. Тогава математическото очакване и средноквадратичното отклонение на приетото разпределение се използват като оценки за стойността на величината и нейната неопределеност. За избора на разпределение не се предлага рецепта. Той най-често зависи от опита на изследователя или е свързан с теория, която адекватно описва експерименталната ситуация. Дадени са няколко възможни примера, но те далеч не изчерпват всички възможности.

Тази рецепта заляга като основна идея на предлаганото изследване. Правят се различни допускания за вероятностното разпределение на момента на импулса, от тях се получава вероятно разпределение за масата, което се използва за получаването на интервална оценка на масата. Последната се сравнява с референтна стойност, получена от друго, независимо изследване.

Вероятностното разпределение на масата $\rho(M)$ се получава от вероятностното разпределение на момента на импулса $\rho(a)$ като се използва стандартна формула [9]:

$$\rho(M) = \rho(a(M)) \left| \frac{da(M)}{dM} \right|. \quad (4)$$

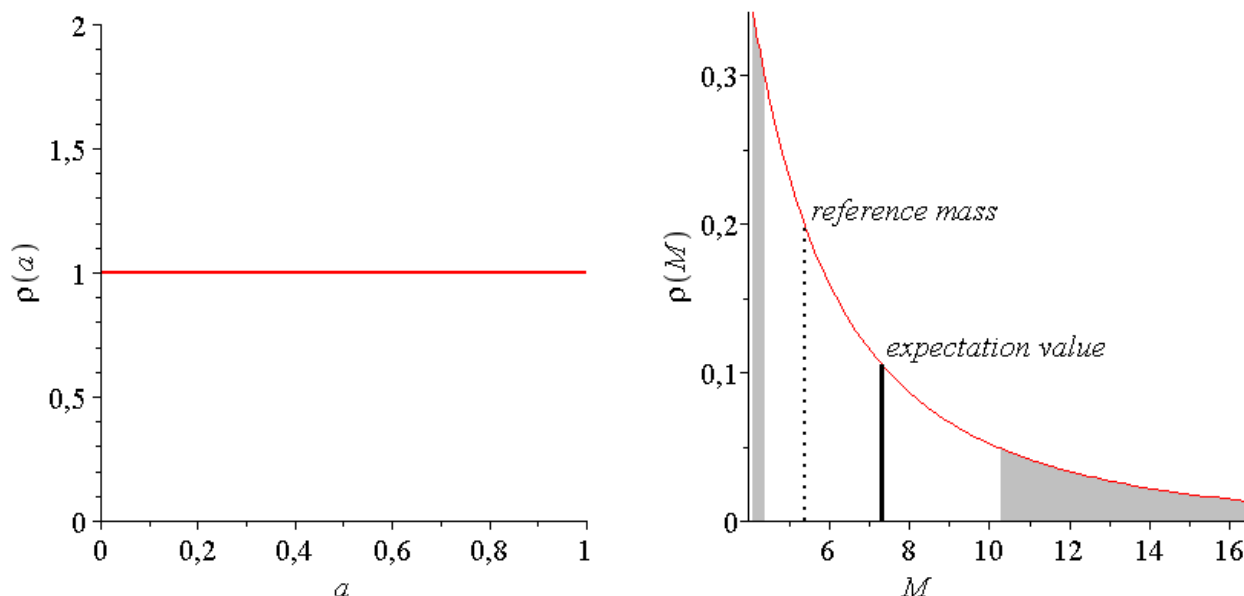
4. Резултати и обсъждане

Различните вероятностни разпределения за a , разгледани в настоящата работа, са представени в Таблица 1.

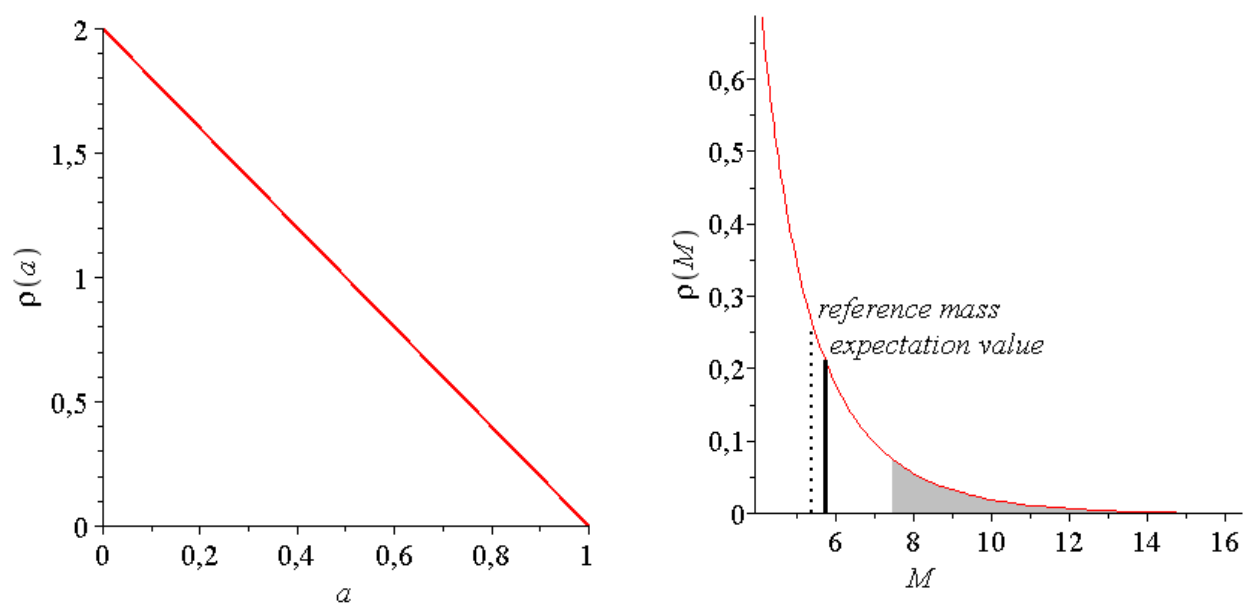
Таблица 1.

разпределение	формула
равномерно	$\rho(a) = 1$
линейно намаляващо	$\rho(a) = 2 \cdot (1 - a)$
линейно нарастващо	$\rho(a) = 2 \cdot a$
равностранен триъгълник	$\rho(a) = 4 \cdot a \cdot \theta(0.5 - a) + 4 \cdot (1 - a) \cdot \theta(a - 0.5)$
полуелипса	$\rho(a) = 1.27 \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot (a - 0.5)^2}$

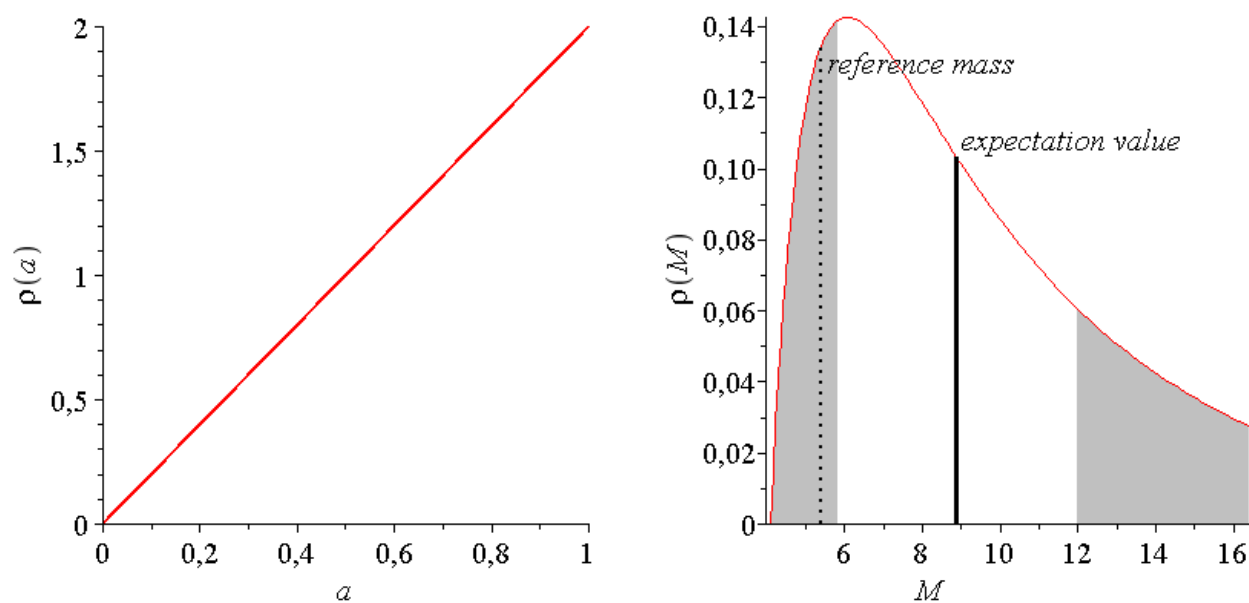
Вероятностните разпределения за масата получаваме числено. Те са представени на фиг. (2)-(6). (Подробности за означенията във фигурите са дадени в текста под тях.)



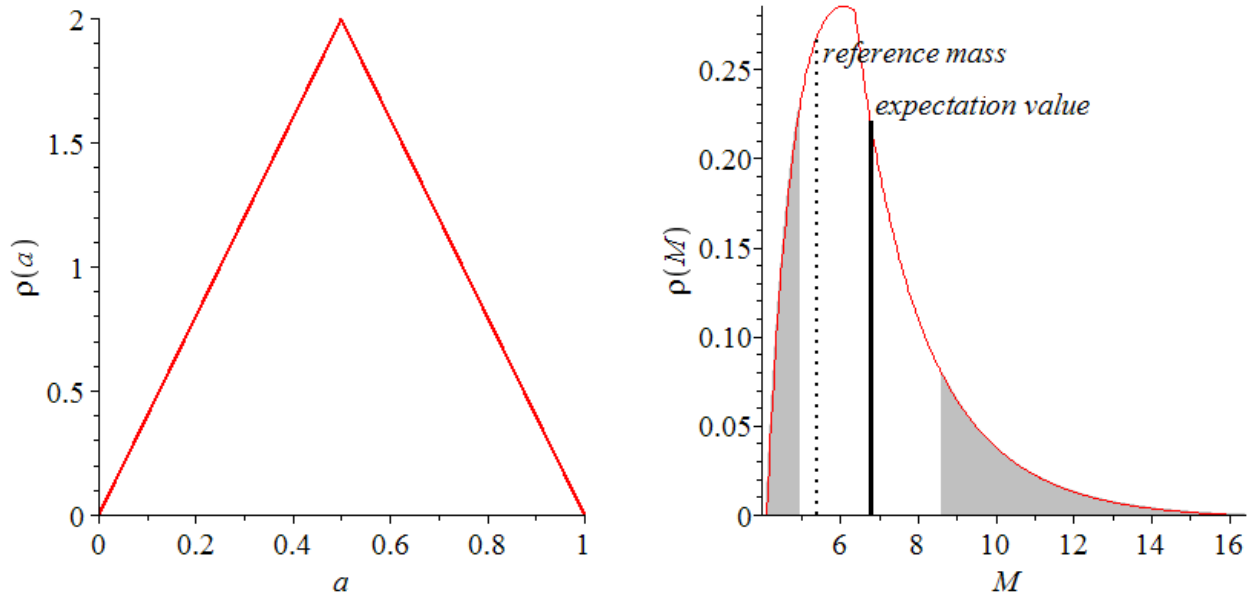
Фиг. 2. *Равномерно разпределение на момента на импулса (в ляво) и съответстващото му вероятностно разпределение масата (в дясно). Тук и при следващите четири фигури средната по разпределение стойност на масата е отбелязана с плътна черна линия, а референтната стойност с пунктирана. Интервалът с полуширина равна на стандартното отклонение е в бяло, а стойностите, които са извън него - в сиво.*



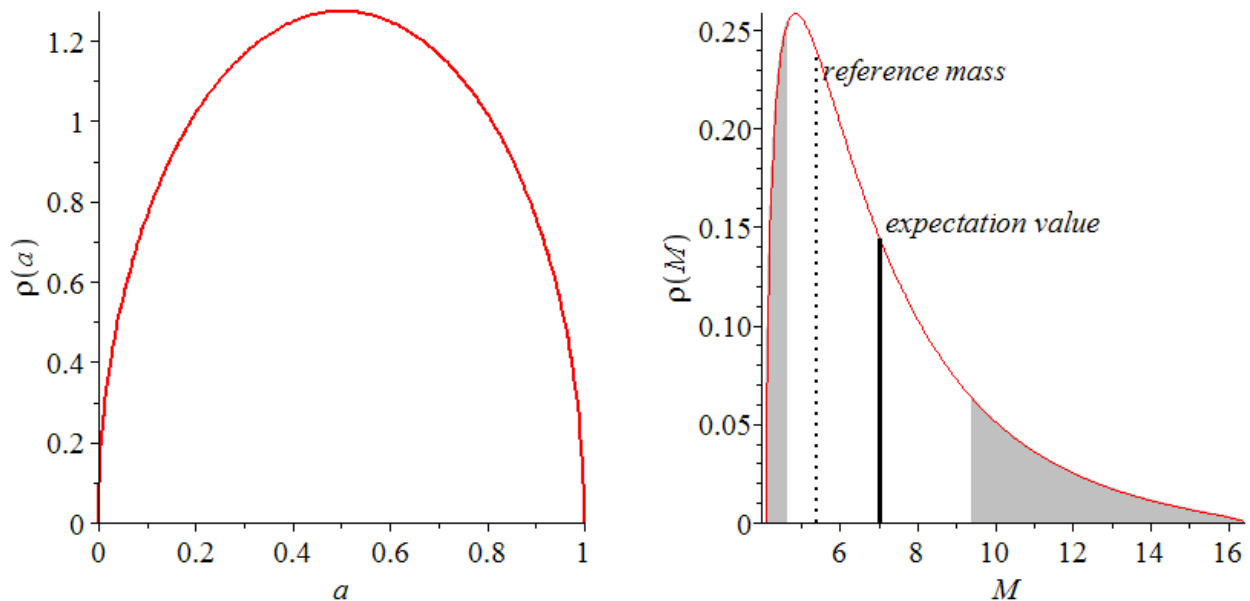
Фиг. 3. Линейно намаляващо разпределение на момента на импулса (в ляво) и съответстващото му вероятностно разпределение масата (в дясно).



Фиг. 4. Линейно нарастващо разпределение на момента на импулса (в ляво) и съответстващото му вероятностно разпределение масата (в дясно).



Фиг. 5. Вероятностно разпределение на момента на импулса от вид равностраничен триъгълник (в ляво) и съответстващото му вероятностно разпределение масата (в дясно).



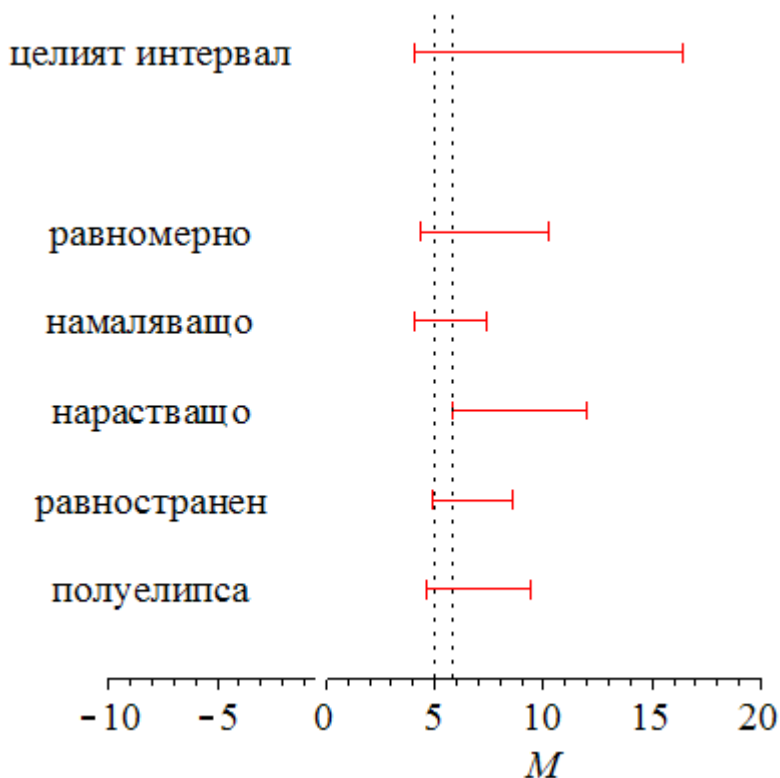
Фиг. 6. Вероятностно разпределение на момента на импулса от вид полуелипса (в ляво) и съответстващото му вероятностно разпределение масата (в дясно).

От особено значение би било установяването на факти, които не зависят съществено от конкретният избор за разпределението $\rho(a)$. Както може да се забележи от фиг. 1 производната $|dM(a)/da|$ нараства силно при големи стойности на a , което означава, че $|da(M)/dM|$ намалява при големи стойности на M . Тази намаляваща производна води до това, че вероятността на високите

маси е по-ниска. Това се потвърждава във всички от разгледаните случаи - графиките имат отрицателен наклон при достатъчно високи стойности на M .

Приписването на по-висока вероятност на по-високите стойности на момента на импулса води до това, че оценката за M се измества към по-високи стойности. Това може да се види, например, като се сравнят фиг. 2, 5 и 6 с фиг. 3 и фиг. 4. При първите три случая математическото очакване за a е едно и също 0.5, т.е. като оценка за момента на импулса е избрана средата на интервала. В тези случаи оценката за M е близка до $7M_{\square}$. Приписването на по-ниска вероятност на високите стойности на a води до по-ниска оценка за M . Както може да се види на фиг. 3 в този случай тя е под $6M_{\square}$. В случая представен на фиг. 4, линейно нарастващо разпределение за a , оценката за масата е значително по-висока, близка до $9M_{\square}$.

В част от случаите, фиг. 4-6, се наблюдава максимум в разпределението $\rho(M)$. Отклонение от установеното по-горе поведение на разпределението $\rho(M)$ при високи стойности на M може да се получи в случаите когато разпределението за a е силно асиметрично и приписва значително по-висока вероятност на по-високите стойности на момента на импулса. Тогава съществува вероятност максимума в разпределението $\rho(M)$ да се измести толкова надясно, че да съвпадне с горната граница на интервала.



Фиг. 7. Интервалите за масата на черната дупка GRO 1655-40 получени чрез различните вероятностни разпределения на момента на импулса.

Референтният интервал е представен с пунктирна линия.

Интервалните оценки за масата, получени от различните разпределения са обобщени на фиг. 7. От нея се вижда, че в почти всички от случаите, с изключение на линейно нарастващо разпределение за a , интервалните оценки за M обхващат референтния интервал. Всички получени интервални оценки частично се припокриват.

4. Заключение

Предложената в настоящата работа рецепта ни позволява да получим точна оценка за масата на черната дупка GRO 1655-40. Както се вижда от фиг. 7, интервалните оценки получени по представения начин са значително по-тесни от целия теоретично възможен интервал. Всички те частично се припокриват. Само в един от разгледаните случай, този на линейно нарастващо разпределение за a , имаме основание да подложим на съмнение използването на модела на релятивистичната прецесия за обяснение на ВЧ КПО наблюдавани в рентгеновия спектър на обекта GRO 1655-40.

Възможни посоки, в които настоящата работа може да бъде развита са следните. Да се разгледат други разпределения за a . Изследването да се повтори с други модели за ВЧ КПО и да се провери дали при тях се наблюдават съществени конфликти с референтния интервал от маси. Същата идея може да се приложи и в обратна посока, а именно да се изходи от разпределение за M и от него да се получи разпределение за a . Експериментални разпределения за масата на черни дупки могат да бъдат открити в няколко скорошни работи [10, 11, 12]. При този вариант на изследване, обаче, бихме се лишили от възможността да сравним получените интервални оценки за a с референтни стойности поради липса на такива.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Van der Klis M., "A review of rapid X-ray variability in X-ray binaries", Compact stellar X-ray sources, Lewin & van der Klis (eds), Cambridge University Press, arXiv:astro-ph/0410551.
- [2] Motta S., *Astronomische Nachrichten*, 337, p.398, (2016), arXiv:1603.07885.
- [3] Стефанов И., Сборник с популярни и научни доклади от Дни на физиката 2015, ТУ-София, стр. 89.
- [4] Ташева Р., Стефанов И., Сборник с популярни и научни доклади от Дни на физиката 2016, ТУ-София, стр. 75.
- [5] Stella, L., Vietri, M., *ApJ*, 492, L59 (1998).
- [6] Stella, L., Vietri, M., Morsink, S., *ApJ*, 534, L63 (1999).
- [7] Радев Х., Богев В., „Неопределеност на резултата от измерването“, изд. Софттрейд (2001), ISBN: 954-9725-54-5.
- [8] Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 100:2008, "Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement" .

[9] Riley K. F., Hobson M. P., Bence S. J., “Mathematical Methods for Physics and Engineering”, Cambridge University Press; 3 edition (2006), ISBN-13: 978-0521679718.

[10] Farr Will M., Sravan N., Cantrell A., Kreidberg L., Bailyn C., Mandel I., Kalogera V., The Astrophysical Journal, 741, 19 pp. (2011), arXiv:1011.1459.

[11] C. Fryer, V. Kalogera, The Astrophysical Journal, 554, pp. 548 (2001), arXiv:astro-ph/9911312 .

[12] Özel F., Psaltis D., Narayan R., McClintock J. E., The Astrophysical Journal, 725, pp. 1918 (2010), arXiv:1006.2834.

ЧИСЛЕНО МОДЕЛИРАНЕ И СРАВНЕНИЕ С ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДАННИ НА ЛЕГИРАН С ЕРБИЙ УСИЛВАТЕЛ С ФИЛТРИРАНЕ НА ШУМА И ПРАВО НАПОМПВАНЕ

Тодор Н. Арабаджиев и Иван М. Узунов

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

Резюме. В тази статия чрез числено решаване на уравненията за сигналната и напмпващата мощност и съпоставка на резултатите със съответните експериментални данни е моделиран легиран с ербий влакнест усилвател (EDFA) с филтър на шума. Анализирани са зависимостта на усиляването от началната мощност на сигналното излъчване. Съпоставката на числените с експерименталните данни показва, че между тях е налице много добро съответствие.

Ключови думи: числено моделиране на EDFA

1. Увод

Усилвателите, в които се използва легирано с ербий влакно (EDF), са се наложили в спектрално уплътнените многоканални оптични комуникационни системи. Причината за това са широката спектрална лента на усиляване (~ 90 nm) в С и L обхвата при висок коефициент на усиляване (до 50 dB) и малък коефициент на шум (< 5 dB) [1-4].

Действието на EDFA се основава на възникването на инверсна населеност в ербиевите атоми в следствие на поглъщане на напмпващото излъчване. В резултат възниква стимулирано излъчване, съвпадащо по честотата с усиления сигнал, което определя възможността от оптично усиляване. Освен стимулирано излъчване, обаче, възниква и усилено спонтанно излъчване (ASE) в областта на усиляване на EDF, определящо шумовите свойства на EDFA. Спонтанното излъчване се разпространява в двете посоки на влакното.

Съществуват три основни схеми за оптично напмпване на EDFA. В схемата с право напмпване посоката на напмпващото лазерно лъчение съвпада с посоката на усиления оптичен сигнал. В схемата с обратно напмпване посоките на напмпващото лазерно лъчение и усиления оптичен сигнал са противоположни. В третата схема - схемата на двустранното напмпване – се използват две напмпващи лъчения, едното се подава в началото на влакното, успоредно на посоката на разпространение на усиления сигнал, а другото в края на влакното в посока противоположна на посоката на разпространение на усиления сигнал [1-4].

За моделиране на оптични усилватели на базата на легирано с ербий влакно се използва система от уравнения, описващи разпространението на сигналните, наpomпващите и шумовата мощности по дължината на влакното, както и уравнения, определящи скоростта на изменение на населеностите на енергетичните нива на ербиевите йони [2-4]. За описание на населеността на двете нива най-често се използва модел с две нива на ербиевите йони в неговото стационарно приближение [2-4]. Съществуващите числени методи за анализа на характеристиките на EDFA са детайлно изложени в [2-4]. В най-пълния модел спонтанното излъчване се описва с помощта на множество сигнали (всеки със спектрална ширина, например от 1 nm), разпространяващи се в двете посоки по влакното (forward ASE и backward ASE) [3-4]. В рамките на този модел е описана сложната взаимовръзка между усилван сигнал, наpomпващо излъчване, генерирано спонтанно излъчване (forward ASE и backward ASE) и относителната концентрация на активните ербиеви йони като детайлно описание на получените резултати е направено в [3-4].

Настоящата работа се явява продължение на работа [5], в която се обръща особено внимание на сравнение с експеримента с по-сложен модел на EDFA, отчитащ ефективната спектрална ширина на шумовата мощност на генерираното спонтанно излъчване.

В моделираната от нас опитната установка, обаче, изходният сигнал преминава през филтър с ширина на лентата на пропускане от само 0,22 nm. Това ни дава основание да използваме много по-прост математически модел в сравнение с използвания в [5], изваждайки от него уравненията за мощността, дължаща се на ASE, т.е. пренебрегвайки влиянието на шума от спонтанната емисия върху сигналното излъчване [2,3].

Целта на тази работа е да сравни представения тук симулационен модел на EDFA с експериментални данни, получени при изследване на усилването в зависимост от мощността на сигналното излъчване при право наpomпване и фиксирана дължина на легираното с ербий влакно с използване на оптичен филтър.

2. Математически модел

За моделиране на оптични усилватели на базата на легирано с ербий влакно се използва комплект от уравнения, описващи разпространението на сигналните, наpomпващите и шумовата мощности по дължината на влакното, както и уравнения, определящи скоростта на изменение на населеностите на енергетичните нива на ербиевите йони [1-5]. За описание на населеността на двете нива се използва модел с две нива на ербиевите йони в неговото стационарно приближение [1-5].

В настоящата работа ще изследваме усилването на един сигнал с дължина на вълната $\lambda = 1550$ nm, чиято мощност ще отбелязваме с P_s . Ще използваме наpomпващ лазер с дължина на вълната $\lambda = 980$ nm и наpomпваща мощност $P_p =$

154 mW в схема с право напомнимане. Както е известно с помощта на такъв напомнимащ лазер се постига по-нисък коефициент на шум [2]. Уравненията, описващи разпространението на сигналната и напомнимащата мощност по дължина на влакното (ASE тук не се отчита) имат вида [2,3]:

$$\begin{aligned} \frac{dP_S}{dz} &= \frac{\frac{\sigma_P P_P \Gamma_P}{Ah\nu_P} - \frac{1}{\tau_{21}}}{\frac{\sigma_P P_P \Gamma_P}{Ah\nu_P} + 2 \frac{\sigma_S P_S \Gamma_S}{Ah\nu_S} + \frac{1}{\tau_{21}}} N \Gamma_S P_S \sigma_S \\ \frac{dP_P}{dz} &= \frac{\frac{\sigma_S P_S \Gamma_S}{Ah\nu_P} + \frac{1}{\tau_{21}}}{\frac{\sigma_P P_P \Gamma_P}{Ah\nu_P} + 2 \frac{\sigma_S P_S \Gamma_S}{Ah\nu_S} + \frac{1}{\tau_{21}}} N \Gamma_P P_P \sigma_P \end{aligned} \quad (1),$$

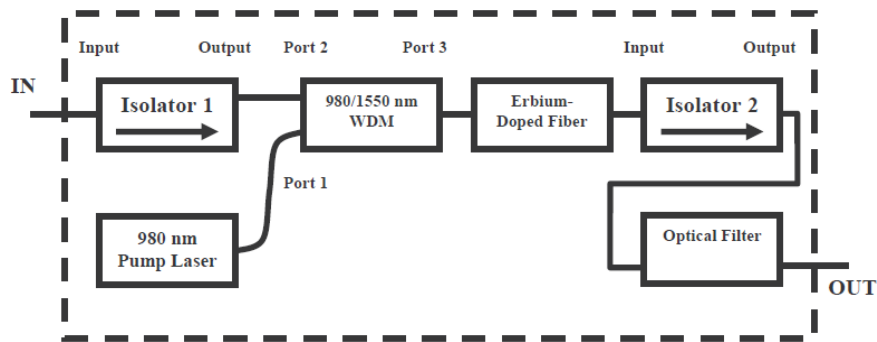
където Γ_S и Γ_P са факторите на припокриване на съответните оптични разпределения с частта от влакното, легирана с ербий. Величините: $\sigma_S = 2.89 \times 10^{-21} \text{ cm}^2$ и $\sigma_P = 2.02 \times 10^{-21} \text{ cm}^2$ са напречните сечения на преходите при излъчване и поглъщане на сигнала и напомнимането; $N = 1.364 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ е пълният брой ербиеви йони в единица обем; $\tau_{21} \approx 9 \text{ ms}$ е времето на живот на възбуденото ниво на ербия; $A = 7.5477 \times 10^{-8} \text{ cm}^2$ е ефективната площ на ербиевото разпределение; $\nu_S = 1.9218 \times 10^{14} \text{ Hz}$ и $\nu_P = 3.0612 \times 10^{14} \text{ Hz}$ са честотите на усилвания сигнал и напомнимането и h е константата на Планк. Тъй като в работата се разглежда сравнително късо легирано с ербий влакно, в уравненията на разпространение не е взето предвид затихването на изследваните лъчения. В симулационния модел EDFA е разделен на множество секции и за всяка се пресмятат населеностите и съответно мощностите [2].

3. Описание на експерименталната установка

Експерименталната установка съдържа: сигнален полупроводников лазер с разпределена обратна връзка (DFB), излъчващ на основна честота от 1561 nm с регулируема мощност до 1,5 mW, напомнимащ полупроводников лазер излъчващ на честота 980 nm с регулируема мощност до 154 mW, детектор на оптична мощност, WDM 980/1550 съединител, легирано с ербий влакно (EDF) модел R37103 с дължина 2,5 m [6,7], оптични изолатори, оптичен филтър с лента на пропускане 0,22 nm. Схемата на свързване на всички изброени компоненти е показана на фиг.1 [6].

На входа IN се подава сигнално излъчване от полупроводников DFB лазер на дължина на вълната 1561 nm. Функцията на изолаторите е да възпрепятстват връщане на отразено лъчение в сигналния лазер и EDF. Функцията на WDM-мултиплексора е да комбинира сигналното и напомнимащото излъчване (1561 nm и 980 nm) в EDF. Филтърът служи за филтриране на ASE около сигналната

честота и е с лента на пропускане 1560,9-1561,12 nm. Сигналят от изхода постъпва в детектор, отчитащ оптичната мощност.

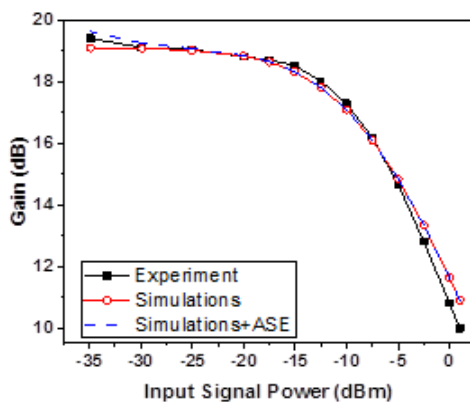


Фиг. 1. Монтажна схема на EDFA [6]

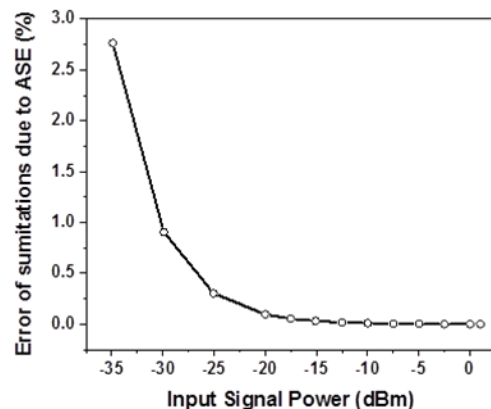
4. Сравнение на числените с експерименталните данни при анализ на зависимостта на оптичното усиление от началната сигнална мощност.

Основна цел на този параграф е сравнение на числените резултати, получени с използване на разработения симулационен модел на EDFA с експерименталните резултати, получени с помощта на представената по-горе опитна установка.

Първата задача, която трябваше да решим, за да изпълним поставената цел, е да приведем в съответствие параметрите, използвани в симулационния модел, с реалните параметри на опитната установка (описани в част 3) [5-7].



Фиг. 2а Усилването в зависимост от мощността на входния сигнал (при фиксирана мощност на напмпващото излъчване)



Фиг. 2б Относителна грешка на симулациите, дължаща се на наличието на ASE

В представяната група резултати ще направим сравнение на симулации и експеримент при усиление на малък сигнал и в областта на насищане на усиляването. При усиление на малък сигнал усиляването остава постоянно при увеличаване на сигналната мощност. Когато скоростта на прехода към основното енергетично ниво достигне максимално възможната си стойност,

тогава при увеличаването на сигналната мощност усилването намалява, т.е. навлизаме в областта на насищане на усилването. На фиг. 2 е показана съпоставка на числените с експерименталните резултати, свързани с усилването на сигналното излъчване в зависимост от началната сигнална мощност при фиксирана мощност на напompващото излъчване.

От фиг. 2 се вижда, че филтрирането на ASE в областта на усилване на EDFA, с излъчение на ASE, пропускан от филтъра, позволява използването на възможно най-простия модел за теоретично описание на EDFA, при това с удовлетворителна точност $<3\%$ (фиг. 2б). При изчисляването на грешката от ASE мощността на шума е измерена експериментално чрез отместване на сигналната честота вън от прозореца на пропускане на филтъра.

5. Заключение

За числени симулации е избран най-простия теоретичен модел за описание на EDFA, неразглеждащ влиянието на ASE. Посредством сравнение на симулационните и експерименталните данни, получени при анализ на зависимостта на усилването от началната мощност на сигналното излъчване, е доказана адекватността на модела за схема на EDFA, съдържаща оптичен филтър с тясна спектрална област на пропускане. Съпоставката на числените с експерименталните данни показва, че между тях е налице много добро съответствие, с относителна грешка дължаща се на ASE, преминал през филтъра, под 3%.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Uzunov I. M., On the application of the model of the effective bandwidth of the amplified spontaneous emission in the investigation of EDFA, Summer School: Advanced Aspects of Theoretical Electrical Engineering Sozopol, 2010.
- [2]. Sujeski S., Photonics Modelling and Design, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2015.
- [3]. Becker P., Olsson N., and Simpson J., Erbium-Doped Fiber Amplifier-Fundamental and Technologies, Academic Press, 1997.
- [4]. Giles C.R., and Desurvire E., "Modeling erbium-doped fiber amplifiers", Journal of Lightwave Technology, vol. 9, pp. 271-283, 1991.
- [5]. Arabadzhiev T., Uzunov I., Mitsev Ts., Dimitrov K., Experimental research of the model of the effective bandwidth of the amplified spontaneous emission for the description of an optical amplifier with erbium-doped fiber, Годишник на ТУ-София, том 61, книга 1, стр. 217-226, 2011, ISSN: 1311-0829.
- [6]. EDFA kit operation manual, Amonics Corp., ver. 5, 2010.
- [7]. Erbium-Doped Fibers R37103 - Specification Sheet, OFS company, 2011.

Авторски указател

Сашка Александрова, професор дтн, КПФ, ФПМИ, Технически Университет – София

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

Атанас Атанасов, студент, Минногеоложки Университет, София

Мая Григорова, гл. асистент, д-р, Геологопроучвателен Факултет, Минногеоложки Университет, София

Галин Добрев, студент, Минногеоложки Университет, София

Юлия Илчева, асистент, Минногеоложки Университет, София

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

Никола Косталов, студент, Минногеоложки Университет, София

Денис Кузманов, студент, ФТК, Технически Университет – София

Ралица Нейчева, студент, Минногеоложки Университет, София

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

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

Иванка Стоянова, студент, Минногеоложки Университет, София

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

Недялко Тодоров, студент, Минногеоложки Университет, София

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

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

ПРОГРАМА НА ДНИТЕ НА ФИЗИКАТА 2017 г.**НАУЧНО-ПОПУЛЯРНА СЕСИЯ****25.04. вторник**

Доклад	Автор(-и)	Час
Откриване	доц. д-р Е. Халова	17:30
„Нютон и Оптиката“	проф. И. Лалов, ФзФ на СУ	17:45
„Исак Нютон – ученият, положил фундамента на съвременната теоретична физика“	гл. ас. Н. Кожухарова, доц. д-р Е. Халова, КПФ	18:15
„Мария Кюри - един живот, отдаден на физиката“	доц. д-р Е. Халова, гл. ас. Н. Кожухарова	18:35

26.04. сряда

Доклад	Автор(-и)	Час
„Манипулация на свръх-студени атоми и молекули чрез светлина“	доц. д-р Е. Димова, ИФТТ-БАН	17:30
„Оптика“	студенти А. Тодорова и Б. Стойчева, 1 курс, ФТК	18:00
„Фотоелектричен ефект“	студент Д. Кузманов 1 курс, ФТК	18:15
„Синоптичната прогноза – предизвикателства и решения“	гл. ас. д-р Р. Ташева, КПФ	18:30
„Биологично действие на тока върху човешкия организъм“	студенти Д. Лазаров и Г. Найденов, МУ - София	18:50
„Окото като модел на съвършенство“	студенти Н. Косталов, И. Стоянова, Г. Добрев, МГУ	19:05

27.04. четвъртък

Доклад	Автор(-и)	Час
„Нобелова награда по физика за 2016“	проф. дтн С. Александрова, КПФ	17:30
„Теория на Големия Взрив“	д-р Л. Симеонов, ФзФ на СУ	18:00
„Спирална антена за WiFi“	студент И. Начев, 4 курс, ФТК	18:20
„Сферичните звездни кубове-едни от най-древните звездни конгломерати във Вселената“	гл. ас. д-р С. Донков, КПФ	18:35
„Електричество и магнетизъм“	студенти Р. Петкова и В. Илков, 1 курс, ФТК	18:55
„Интересни факти от живота и битието на Исаак Нютон“	студенти А. Атанасов, Р. Нейчева, Н. Тодоров, МГУ	19:10

28.04. петък

Доклад	Автор(-и)	Час
Представяне на фирма „Sensata“	Д. Караасенов	16:00
„Основен акцент в специализираното обучение по оптични информационни технологии за студенти от специалност „Инженерна Физика“ в ТУ-София“	доц. д-р Т. Арабаджиев, проф. дфн И. Узунов, КПФ	16:30
„Специална теория на относителността на Айнщайн“ - филм	студенти Н. Борисова и И. Иванова, 1 курс, ИФ	16:50
Демонстрации – клуб Роботика	студенти от клуб “Роботика“	17:10
Демонстрации	гл. ас. инж. Л. Георгиев, КПФ	17:30

НАУЧНА СЕСИЯ**29.04. събота**

Доклад	Автор(-и)	Час
„Роля на кратните вълни в сеизмопроучването“	гл. ас. д-р М. Григорова, МГУ	10:00
„Нови техники, базирани на квантово-оптични аналогии“	ас. Х. Христова, ИФТТ-БАН	10:20
„Връзка между квазипериодичните осцилации в спектъра на черни дупки и вероятно разпределение на масите им“	доц. д-р И. Стефанов, КПФ	10:40
Кафе-пауза		11:00
„Относно проводимостта на електролит. Баланс на частиците и масовите потоци“	доц. д-р Д. Стоянов, ИПФ-Сливен	11:50
„Числено моделиране и сравнение с експериментални данни на легиран с ербий влакнест усилвател с филтриране на шума и право напомпване“	доц. д-р Т. Арабаджиев, проф. дфн И. Узунов, КПФ	12:10
„Приложение на свръхпроводници в плоски кабели с ниски променливотокови загуби“	гл. ас. д-р С. Терзиева, КПФ, ИФТТ	12:30

ЗАВОД ЗА ОПТИКА

ОПТИКОЕЛЕКТРОН
ГРУП



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