



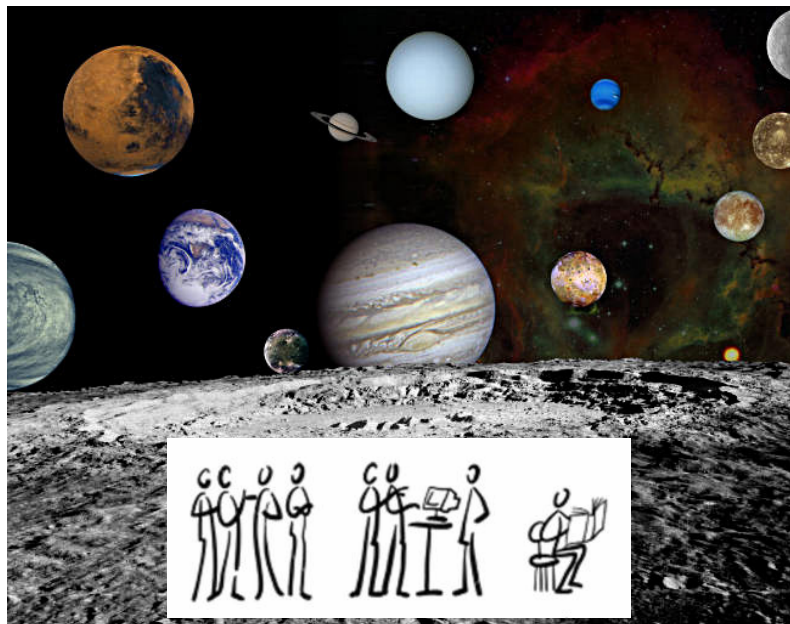
Технически университет София



Департамент по приложна физика

Дни на физиката 2010

Сборник популярни и научни доклади



София, 14 - 17 Април 2010 г.

Дни на физиката 2010

Сборник популярни и научни доклади

Редактор: С. Александрова

МП ИЗДАТЕЛСТВО НА ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

Предговор

Традиционните “Дни на физиката” в Техническия университет – София, организирани от Департамента по приложна физика, се състояха в периода 14 - 17 април, 2010 г. Тази година освен традиционните доклади на интересни и актуални теми от различни области на физиката за широк кръг от слушатели, студенти и преподаватели, на последното заседание се състоя и научна сесия.

Докладите бяха представени от студенти от ТУ-София и преподаватели по физика от ТУ-София и Физическия факултет на СУ “Климент Охридски”. Радостен е фактът, че към по-специализираните доклади от научната сесия проявиха интерес и студенти. Към проявите в областта на физиката има подчертан и траен интерес както от студентите първокурсници, изучаващи физика в момента, така и от студенти от по-горните курсове на ТУ-София. Дните на физиката са една добра възможност както за студентите да придобият опит в излагането на научни проблеми и в участието в научни дискусии, така и за колегите да представят свои научни резултати. Докладите, изготвени от студенти, бяха много добре представени и оформени. Сред научните доклади фигурираха интересни, интригуващи и дискуссионни резултати. В някои случаи, е толерирана свободата на авторите да изложат идеите си пред научната строгост на представените резултати. Темите на тези доклади се отнасят до фундаменталните закони във физиката, възможни нови свойства на материята, нови приложения на квантовите представи в други научни области.

Благодарим на всички колеги, които представиха доклади на Дните на физиката и ги предоставиха за отпечатване в настоящото издание. Благодарим и на всички колеги, които проявиха ангажираност при подготовката и провеждането на Дните на физиката. Специална благодарност дължим на членовете на Организационния комитет гл. ас. д-р Е. Халова, гл. ас. д-р Т. Арабаджиев и ас. Н. Кожухарова. Трябва да отбележим много добре представените демонстрации на физични явления и експерименти на ас. инж. Л. Георгиев, които се посрещнаха от студентите с подчертан интерес. При съставянето на настоящия том много съществен е приносът на гл. ас. д-р Е. Халова.

Надяваме се, че чрез организирането на Дни на физиката успяваме да допринесем за повишаване на интереса на студентите, бъдещи инженери, към тази красива и интересна наука, физиката, чиито приложни аспекти са в основата на съвременната техника и технологии.

Настоящото издание се явява втори том на сборник с доклади, представени на Дни на физиката в ТУ-София. Първият том от миналата година бе посрещнат много ентусиазирано от студентите. Надяваме се за в бъдеще тази тенденция да се развие и задълбочи и сборниците с доклади от Дните на

физиката да се превърнат в регулярно издание на Департамента по приложна физика.

Дните на физиката се организират в рамките на Дните на науката на ТУ-София. Организирането и провеждането на Дните на физиката и издаването на настоящия сборник са финансирани по вътрешния конкурс на ТУ-София 2010 със средства от субсидията за присъща научна дейност.

От Редактора

СЪДЪРЖАНИЕ

ПРЕДГОВОР

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНИ ДОКЛАДИ

1. С. Александрова, М. Христова, Бележити жени във физиката	2
2. Е. Халова, Младите учени и великите открития	14
3. К. Пушкарлова, Корпоскулярно-вълнов дуализъм	24
4. Д. Димитров, Великата тайна на водата	33
5. Н. Кожухарова, Парникови газове – инвентаризация и законодателство в България	41
6. И. Христов, И. Иванов, Видове монитори	46
7. Е. Маринчев, Относно универсалността на физическите закони	54
8. В. Танева-Тончева, Етер, вакуум и теория на струните - забравени и най-нови теории	64

НАУЧНИ ДОКЛАДИ

1. М. Христова, Северното сияние и поляризация на светлината	74
2. С. Донков, Т. Велчев, Съотношение „маса-плътност” на съгъстявания в молекулярни облаци, породени от свръхзвукова турбулентност	83
3. В. Гайдарова, Й. Йорданов, Влияние на Sb върху формирането и развитието на повърхността в бързозатвърдяла AlSiFeSb микрокристална сплав	94
4. A. Atanasov, Probable physical determination of the mass, size, generation time and rate of growth in most simple living cells (prokaryotes)	101
5. Р. Кобиларов, Върху изчисляването на радиационната доза	109
6. T. Arabadzhiev, I. Uzunov, The split step Fourier method for numerical modeling of N-solution bound states of the Nonlinear Schrödinger Equation	113
7. С. Дамянов, Относно електромагнитния процес в електропроводите за постоянен ток	119
Авторски указател	132
Програма на Дните на физиката	133

БЕЛЕЖИТИ ЖЕНИ ВЪВ ФИЗИКАТА**Сашка Александрова и Магдалена Христова**

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

Резюме. Настоящият доклад е посветен на постиженията на бележити жени, оставили ярка следа в развитието на физиката и техниката. Въпреки трудностите и проблемите от различен характер, постиженията им ги нареждат сред най-великите учени на всички времена. Успехите им могат да бъдат вдъхновение и опора за младите жени, които биха искали да се занимават с тази красива наука – физиката.

Ключови думи: жени-физици, физика, изследване, лекции.

Още от древността и до наши дни науката, и в частност физиката, традиционно се счита за професия, подходяща за мъжете. Независимо от значително по-малкия брой на жените, занимавали се с физика, техните постижения представляват сериозен принос в развитието на науката и техниката. Историята показва, че най-често възникващите проблеми за жените са свързани с представите в обществото за различните способности и разпределението на ролите, нагласата за признание и реална оценка на постиженията. Като резултат приносът на много от жените остава неизвестен, както в научните среди, така и за широката публика. Така например, сред общо 186 носители на Нобелова награда по физика, само две са жени – Мария Кюри за 1903 г. и след 60 години Мария Гьоперт-Майер.

В настоящия доклад ще се спрем на постиженията, трудностите и борбите на няколко бележити дами, оставили ясна следа в развитието на физиката и разширяване на познанията ни за света. Надяваме се, че упоритостта за постигане на целите, независимият начин на мислене, постигането на баланс между професионалните и личните ангажименти могат да послужат като вдъхновяващ пример за тези млади жени, които чувстват призвание да се занимават с наука.

Нуратия (около 370 – 415)

Хипатия Александрийска (на старогръцки: *Ἥπατία ἡ Ἀλεξανδρεῖα*) е древногръцки учен от Александрия. Тя е смятана за първата жена с големи заслуги към физиката, математиката, философията и астрономията.

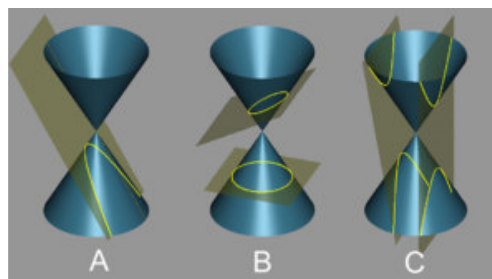
Хипатия е родена в семейството на математика Теон Александрийски, един от най-образованите мъже в Александрия от онова време и последен управител на Александрийската библиотека преди закриването ѝ от ортодоксалния християнски император



Теодосий I. Теон дава на дъщеря си всестранно образование, като я посвещава във всички достъпни по това време науки. Около 400-та година Хипатия е поканена да чете лекции в Александрийската библиотека, където завежда катедрата по философия. Преподава философиите на Платон и Аристотел, математика и се занимава с изчисляване на астрономически таблици. Хипатия е известна с трудовете си по математика и геометрия и най-вече с идеите си за коничните сечения, изложени от Аполоний Пергски. В нейния най-известен труд "За конусите на Аполоний" се описва разделянето на конусите на различни части чрез равнина (фиг.1). Тази концепция доразвива идеята за хиперболите, параболите и елипсите. За съжаление повечето ѝ трудове са унищожени при опожаряването на Библиотеката.

Била е начетена и мъдра, красива и обаятелна жена. От учениците си е била обичана, тачена, дори обожавана. За нея е било немислимо да се омъжи и да загуби възможността да преподава и ръководи философската школа.

Хипатия става жертва на политическите борби между различните групировки в църквата от една страна, от друга – борбата между Александрийският патриарх Кирил и префекта Орест. Според християнския историк Сократ Схоластик тя е заловена и убита от разярена тълпа фанатизирани християни през месец март 415 г. сл.н.е. Споменът за нея обаче остава. 1400 години след смъртта си Хипатия получава признание. На нея е кръстен един от кратерите на Луната. Смъртта на Хипатия бележи края на елинистичната епоха. За науката настъпват векове на застой в развитието ѝ.



Фиг. 1 Коничните сечения, изследвани от Хипатия.

Следващата жена учен за която имаме достоверни сведения се появява приблизително десет века след Хипатия. През 16 и 17 в. жените не са имали достъп до висше образование. Така напр. първият колеж в Кембридж, който приема момичета е основан в 1869 г. Обучение и подкрепа за научни занимания те получават в семействата си. Най-често жените участват в изследванията и правят своите открития като помощници на своите съпрузи или родственици.

Sophie Brahe (1556 – 1643)

София Брахе е родена в старинен датски дворянски род в Кнутструп. Тя е най-малката сестра на известния датски астроном Тихо Брахе. През 1573 г. започва да помага на брат си в астрономичните наблюдения. Често посещава обсерваторията му в Ураниенборг. Изучава астрономия самостоятелно, като използва книги на немски и латински език. Интересува се и от химия и медицина. През 1576 г. се омъжва за Otto Thott и има един син. След смъртта на съпруга си тя управлява имението му



Ericksholm до пълнолетието на сина си, като се занимава с градинарство. Градините, които тя проектира, се смятат за изключително постижение.

Заниманията на София и Тихо Брахе не се считат от семейството им като подходящи за благородническия им произход. София е лишена от финансовата поддръжка, която ѝ се полага и живее в Прага в крайна бедност с втория си съпруг, Erik Lange. След неговата смърт се връща в Дания. От този период датират и интересите ѝ в областта на историята. Тя оставя 900 стр. ръкопис за произхода на 60 датски благороднически семейства.

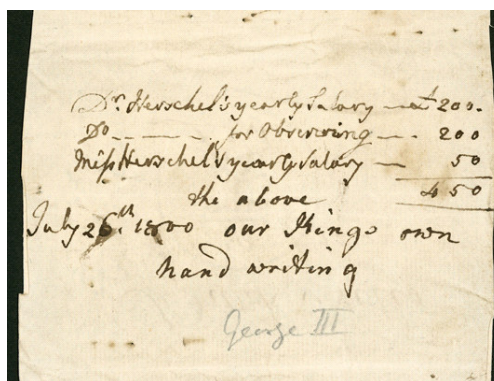
Астрономичните данни на Sophie и Tycho Brache, събирани десетилетия и оформени в каталог, са използвани от Kepler при формулирането на трите закона за движение на планетите. Макар че значителна част от тези наблюдения са дело на София, тя остава в сянката на своя брат и нейното име е известно само на ограничен кръг учени.

Caroline Lucretia Herschel (1750 – 1848)

Каролине Хершел е родена в ХанOVER в семейство на музикант. Баща ѝ отрано забелязва таланта ѝ за музика и математика и, въпреки съпротивата на средата, се занимава с обучението ѝ. Каролине е активен сътрудник в астрономичните наблюдения на своя прочут брат William Herschel, известен най-вече като откривател на планетата Уран. Двамата откриват значителен брой комети. Каролине провежда и самостоятелни изследвания на небесните тела, използвайки собствен телескоп. Така тя открива комета, която се появява през 1788 г. Поради големия ѝ период от 155 г. кометата е открита отново през 1939 г. от Rigollet. Понастоящем тази комета носи името комета Herschel-Rigollet. Тези изследвания Хершел извършват в Англия, където работят като музиканти.

Каролине заедно с брат си започва работа по изработване на каталог на звездите, който да замени стари и неудобни за работа каталози. Това е огромен труд, който Каролине завършва и представя пред Кралското академично дружество през 1798 г. след смъртта на своя брат. Каталогът съдържа 560 нови за това време звезди и 2500 мъглявини. Подпомага и племенника си John Herschel в изследванията му.

За разлика от повечето жени, Каролине получава признание за своите



Фиг. 2 Писмото на крал George III за годишна заплата на Каролине.

постижения. William става кралски астроном през 1782 г., а Каролине е определена за асистент на своя брат от крал George III през 1787 г. и получава затова заплата от 50 лири годишно (фиг.2). Така Каролине Хершел е първата жена, която официално е получила научен статус.

Каролине се радва и на други признания: Златен медал на Royal Astronomical Society, Почтен член на Britain's Royal Society, Член на Royal Irish Academy, Златен медал за наука от краля на Prussia. През 1889 г. малка планета е наречена "Лукреция" в чест на Каролине Лукреция Хершел.

Каролине Лукреция Хершел е една от първите жени, преодоляла множество пречки и трудности и получила признание за своите постижения.

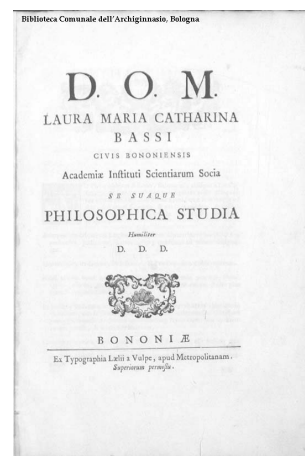
Laura Bassi (1711-1778)

Лаура Баси е известна като първата жена-лектор в университет в Европа. През 1732 г. на 21 годишна възраст тя получава докторска степен от Университета в Болоня и през 1731 г. става професор по анатомия в същия университет. В продължение на 28 години тя преподава експериментална физика: теорията на Нютон за светлината, оптика и законите за движението от *The Principia* на Нютон.

През 1838 г. тя се омъжва за Giovanni Veratti, неин колега, лекар и професор в Университета. Синът им Paolo също е доктор и професор по експериментална физика. Благодарение на женитбата си, Лаура получава възможност да бъде редовен преподавател. Въпреки задълженията ѝ като съпруга и майка на 8 деца, тя никога не изоставя преподавателската и научната си дейност.

От запазени писма се вижда, че тя разполага със собствена лаборатория за провеждане на опасни тогава експерименти в областта на електричеството. Съвместната ѝ работа със съпруга ѝ в областта на електромагнетизма е продължена в изследванията върху електричната природа на невро-физиологията от Luigi Galvani в Bologna и Alessandro Volta в Университета в Pavia.

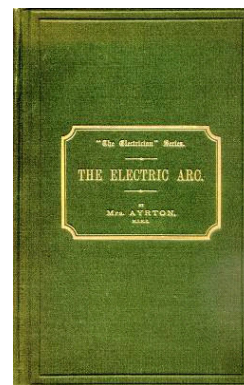
Лаура Баси е оставила 13 научни публикации по физика, 11 по хидравлика, 1 по механика, 1 по химия и 2 по математика. Смята се, че по-голямата част от изследванията ѝ са останали непубликувани. Една нейна публикация *Philosophica studia* е показана на фиг. 3.



Фиг. 3 Книгата "Philosophica studia" на Лаура Баси.

Hertha Ayrton (1854 - 1923)

Рожденото ѝ име е Phoebe Sarah Marks. Родена е в Англия. Тъй като не харесва собственото си име, приема името Херта. Следването си започва след отлично представяне на приемните изпити в Girton College на Cambridge University. Тъй като по това време университета в Кембридж не издава дипломи на жени, тя получава бакалавърска степен от Университета в Лондон през 1881 г. Тя е експериментатор в областта на електричеството и е талантлив инженер, математик и изобретател. Посещава курс по физика в Finsbury Technical College, където среща и бъдещия си съпруг Professor William Ayrton. Изследванията си Херта започва като асистент на съпруга си в експерименти в областта на електричеството и става признат експерт по въпросите на електричната дъга. Публикува няколко работи, които са резултат на собствени изследвания в Proceedings of the Royal Society of London и The Electrician. Херта е първата жена, която представя своя научна работа пред Royal Society of London. Книгата ѝ "Електричната дъга" (фиг. 4) е публикувана през 1902 г. и е широко призната сред специалистите.



Фиг. 4 Х. Айртън
"Електричната дъга"

Херта Айртън е първата жена, избрана за член на *Institution of Electrical Engineers*. Тя е съосновател на International Federation of University Women и на The National Union of Scientific Workers. Работи като вице-президент на British Federation of University Women. Участва активно и в движения за даване на изборителни права на жените. През 1906 г. получава наградата Hughes Medal, който се дава за "оригинално откритие в областта на физичните науки, по-специално електричество и магнетизъм и приложенията им". До 2008 г. Херта Айртън е единствената жена-носител на това отличие.

Maria Sklodowska Curie (1867 - 1934)

Мария Склодовска е родена във Варшава и е най-малката дъщеря в семейство на учители. Баща ѝ преподава физика и математика. През 1891 г. Мария е студентка в Сорбоната в Париж. През 1893 г. тя получава диплома по физика, през 1894 г. по математика и през 1896 г. - диплома за преподавател. През 1897 г. М. Curie започва работа по докторската си дисертация, провеждайки систематични изследвания по радиацията, отрита от Röntgen и Becquerel. През 1894 г. тя среща Пиер Кюри. Това е началото на една удивителна любов,



съвместен живот и сътрудничество в науката.

Пиер ѝ пише: *“It would, nevertheless, be a beautiful thing in which hardly dare believe, to pass through life together hypnotized in our dreams: your dream for your country; our dream for humanity; our dream for science.”*

За тяхното тясно сътрудничество свидетелства лабораторният им дневник, показан на фиг. 5, където ясно се виждат записките на двата почерка. Раждането на двете им дъщери, Ирен и Ев, не прекъсва интензивните ѝ научни изследвания.

Резултатът от изследванията на семейство Кюри е Нобелова награда за физика през 1903 г. съвместно с Анри Бекерел, “за изключителните постижения на съвместните им изследвания на радиационните явления”. По-този начин Мария става първата жена, носителка на престижната награда. По-късно тя въвежда термина “радиоактивност”.

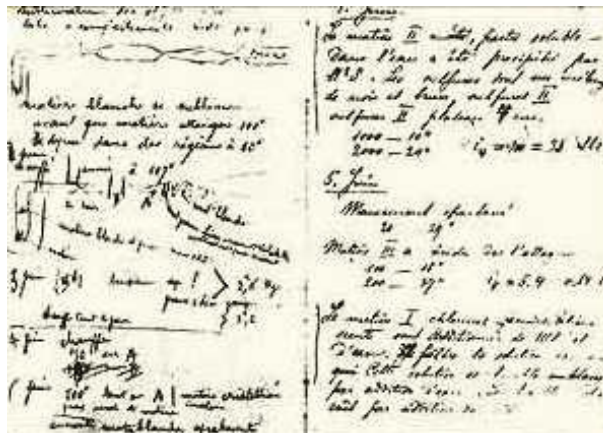
Внезапната смърт на Пиер през 1906 г. е силен удар за Мария, но и повратен момент в кариерата ѝ. Тя е решена да доведе докрай

изследванията, които са започнали заедно. През 1911 г. Мария Кюри получава втора Нобелова награда, този път за химия „за откриването на елементите радий и полоний, чрез изолацията на радия и изучаването на природата и съединенията на този удивителен елемент“. Тя е първият учен, който е носител на две Нобелови награди. Мария Кюри е и една от двамата нобелови лауреати, на които са присъдени Нобелови награди в две различни области.

От 1900 г. е лектор по физика в École Normale Supérieure за девойки в Sévres. Тук тя въвежда метод на преподаване, базиращ се на експериментални демонстрации. През 1906 г. тя наследява Пиер на проферското място и става първата жена-преподавател в Сорбоната. От 1908 г. е редовен професор.

През 1914 г. Мария Кюри основава Radium Institute (Institut du Radium) в Университета в Париж, а през 1932 г. - Radium Institute (seга Maria Skłodowska-Curie Institute of Oncology) в родния ѝ град Варшава.

Мария и Пиер Кюри са основатели на династия в науката. Дъщеря им Ирен заедно със съпруга ѝ Фредерик Жолио са също нобелови лауреати по химия за 1935 г. Синът им Pierre Joliot се занимава с биофизика. Дъщеря им H  l  ne Langevin-Joliot работи в областта на ядрената физика и оказва подкрепа на младите жени, които искат да се занимават с наука. Съпругът ѝ Michel Langevin, внук на известния физик Paul Langevin, също е ядрен физик, а синът им Yves е астрофизик.



Фиг. 5 Лабораторният дневник на Мария и Пиер Кюри.

Мария и Ирен не са приети за членове на Френската академия на науките. Едва през 1962 г. жена е избрана за член на академията – физичката Marguerite Catherine Perey.

Lise Meitner (1878 – 1968)

Лизе Майтнер е родена във Виена. Родителите ѝ подкрепят желанието ѝ да получи високо образование. Лизе започва следването си по физика след успешно издържана матура едва през 1901 г., тъй като до 1899 г. в Университета във Виена девойки не се приемат. През 1906 г. защитава докторат. Следващата година заминава за Берлин, където започва работа по изследване на радиоактивността с химика Otto Hahn в Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie под ръководството на Макс Планк.



Отначало тя работи в приземния етаж, тъй като в лабораториите на горните етажи жени не се допускат. Съвместната ѝ работа с Ото Хан продължава 30 години. На фиг. 6 са показани Лизе Майтнер и Ото Хан по време на експеримент.

През 1938 г. Лизе е принудена да напусне Германия заради еврейския си произход и се установява в Швеция.

В Берлин Ото Хан продължава експериментите заедно с Фриц Щрасман и ѝ съобщава получените странни резултати – при облъчване на уран с неутрони получават барий вместо очакваните трансуранови елементи. Въпросът му е: “Може би можеш да намериш някакво фантастично обяснение”. Лизе има обяснение – ядрото на урана се разделя на две ядра. По този начин се освобождава огромно количество енергия. Експерименталните си резултати Ото Хан публикува през



Фиг. 6 Лизе Майтнер и Ото Хан в лабораторията.

януари 1939 г. в *Die Naturwissenschaften*. Лизе Майтнер заедно с племенника си Ото Фриш публикува теоретичното обяснение в *Nature* през февруари същата година. Те се базират на капковия модел на атомното ядро. Ядрото на урана се разглежда като нестабилна структура. При облъчване с неутрони ядрото се разтрептява и се разпада на две части. Продуктите на деленето се отблъскват електрически. Те наричат процеса ядрено делене по аналогия с клетъчното делене в биологията. Така терминът *nuclear fission* навлиза бързо в научния речник.

През 1944 г. Ото Хан получава Нобелова награда по химия за "откриване на разпадането на тежките ядра". Лизе Майтнер е пренебрегната. Този факт се определя като най-големият пропуск на Нобеловия комитет.

За Лизе Майтнер се казва, че тя е най-великата жена-учен на 20 век. Айнщайн я нарича "немската Мария Кюри".

Rosalind Franklin (1920-1958)

Розалинд е родена в Notting Hill, London. Баща ѝ преподава вечер електричество, магнетизъм и история на Първата световна война в Working Men's College.

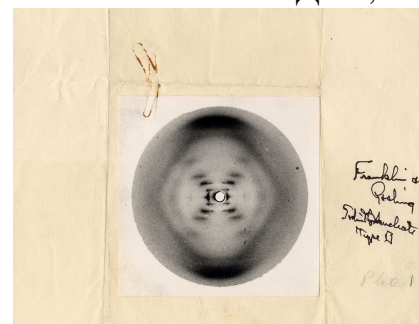
Розалинд получава диплома по химия от Newham College, Cambridge през 1941 г. и през 1945 г. защитава докторат по физикохимия.

Нейното име се свързва най-често с разгадаването на структурата на ДНК – двойната спирала.

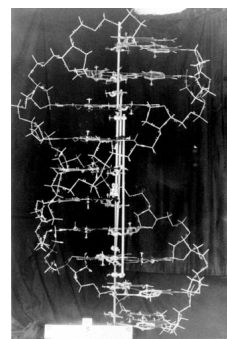
Розалинд работи в Париж от 1947 до 1950 г., където усвоява метода на дифракция на рентгеновите лъчи. През януари 1951 г. Розалинд започва работа в King's College London, където започва изследвания върху структурата на ДНК. На фиг. 7 е показана рентгенова снимка на ДНК,

която се интерпретира като двойна спирала. Върху същата тема работи и Maurice Wilkins. Той показва на Франсис Крик и Джеймс Уотсън рентгеновите снимки на Розалинд с размерите на клетките (фиг.7), както и неин отчет по завършен проект с подробно описание. Така те стигат до идеята за пространствената структура на ДНК във вид на спирала и я илюстрират с показания на фиг. 8 механичен модел. Watson и Crick публикуват резултатите си в *Nature* през 1953 г. В същия брой на *Nature* Rosalind Franklin публикува своите изследвания.

През 1962 г. Франсис Крик, Джеймс Уотсън и Морис Уилкинс са отличени с Нобелова награда за медицина или физиология за откриването на "двойно-спиралния" строеж на ДНК, което правят девет години по-рано. Наградата е смятана за спорна поради смъртта на Розалинд Франклин през 1958 г. Според правилата на Нобеловата фондация наградите не могат да се присъждат посмъртно, така че наградата на тримата учени не означава, че не е признат приносът на Розалинд Франклин. Само че нито Watson нито Crick я споменават



Фиг. 7 Прочутата снимка 51 на ДНК, получена от Розалинд през 1952 г.



Фиг. 8 Модел на двойната спирала.

в Нобеловите си лекции. Само Maurice Wilkins в лекцията си изказва благодарност на Розалинд: "... *my late colleague Rosalind Franklin who, with great ability and experience of X-ray diffraction, so much helped the initial investigations on DNA; ...*".

През 1953 г. Розалинд напуска Кингс колидж и до края на живота си работи в Бъркбек колидж, където провежда серия от блестящи изследвания върху вируса на тютюневата мозайка. До смъртта си Розалинд не научава, че Wilkins е показал на Watson и Crick нейните резултати. Тя счита собствените си резултати като подкрепа на техните идеи.

Chien-Shiung (Madame) Wu (1912 – 1997)

Ву е родена в Шанхай, Китай. От 1930 до 1934 г. е студентка по физика в Physics Department of the National Central University на Китай. Баща ѝ, Wu Zhongyi, подкрепя идеята за равенство на половете. Заминава за САЩ, за да продължи образованието си и през 1940 г. защитава докторат в UC Berkeley.

През 1942 г. тя среща бъдещия си съпруг физика Luke Chia-Liu Yuan. Имат един син, който също се занимава с физика.

Ву работи като преподавател в Smith College, Princeton и Columbia University. Има славата на отличен експериментатор. Участва в работа по проекта Manhattan (първата атомна бомба в Los Alamos). Публикува монографията *Beta Decay* през 1965 г., която е настолна книга за ядрените физици.

През 1956 г. колегите на Wu от Columbia T.D. Lee и C. N. Yang от теоретични изследвания стигат до идеята за нарушение на четността при слаби ядрени взаимодействия. Дотогава се смята, че всички ядрени и субядрени процеси с електромагнитни или силни взаимодействия протичат по такъв начин, че сумарната четност на системата от взаимодействащи частици до и след взаимодействието остава неизменна. По молба Лий и Янг Ву провежда сложен ключов експеримент, който става демонстрация на ефекта на нарушение на четността при слабите взаимодействия, т.е. в този случай слабите взаимодействия нямат симетрична природа.

За откриване на нарушението на четността при слабите взаимодействия Lee и Yang получават Нобелова награда по физика през 1957 г., а Wu не е включена. Въпреки това, тя е носител на много други награди, и е първата жена-президент на American Physical Society, избрана през 1975 г.

След като приключва активната си кариера, Ву изнася лекции за подпомагане на момичетата в научната им занимания.

За нея се говори като за "First Lady of Physics", the "Chinese Marie Curie" и "Madame Wu".



Mileva Marić (1875 – 1948)

Милева е родена в състоятелно семейство в Тител, Войводина (тогава Австро-Унгарската империя, сега Сърбия). През 1891 чрез баща си тя получава специално позволение за частна студентка в мъжкото Кралско класическо висше училище на Загреб. Спечелва си правото да посещава лекциите по физика през 1894 г. и полага последния изпит с отлична подготовката по математика и физика. През есента на 1896 г. Марич се записва в Политехниката на Цюрих. Там тя е единствената жена в група от 6 студента и една от общо 5 жени в Политехниката, изучаващи математика и физика. По това време се запознава и става близка с Алберт Айнщайн. През 1901 г. 2 пъти неуспешно полага изпити за дипломиране и прекъсва работата по дисертацията си, започната под ръководството на проф. Хенрих Вебер.



Ролята ѝ във физиката и в частност приносят ѝ към трите известни труда на Айнщайн от 1905 г. са спорни и до днес. Малка част от академичната общност допуска известна роля от нейна страна. Сред тях е известният руски академик Абрам Йофе, според когото е съществувал вариант на трите прочути работи на Айнщайн от 1905 г., подписани Einstein-Marity. Друг аргумент в полза на Марич са някои писма от Айнщайн през 1901 г. до нея, в които той пише „нашата теория” и „нашата работа”. Като трети аргумент се приема фактът, че Айнщайн предоставя на Марич получената Нобелова награда след развода им. Самата Марич никога не е предявявала претенции за заслуги към работите на Алберт Айнщайн. Обратите на съдбата, както и майчинските грижи и задължения на Милева Марич водят до това една даровита студентка и докторантка да не реализира своите научни търсения и интереси.

**Maria Göppert-Mayer (1906 - 1972)**

Мария произхожда от високообразовано семейство, 7-мо поколение професори по бащина линия. Още от дете тя е заобиколена от студенти, професори, интелектуалци сред които носители на Нобелова награда като Enrico Fermi, Werner Heisenberg, Paul Dirac и Wolfgang Pauli. През 1924 г. Maria Göppert започва следването си в университета в Гьотинген, където нейни преподаватели са бъдещите носители на Нобелова награда Max Born, James Franck и Adolf Windaus. През 1930 г. завършва своето обучение и получава докторска степен. Ръководител на нейната дисертация е Max Born. Тя работи върху теорията на дву-фотонно поглъщане от атомите.



Експерименталното потвърждение на този процес идва с появата на лазерите през 1960 г. В нейна чест единицата за ефективното сечение на дву-фотонно поглъщане от атомите е Goeppert-Mayer (GM).

В Гьотинген Мария среща бъдещия си съпруг химика д-р Joseph Edward Mayer (асистент на James Franck). През 1930 г. те заминават за САЩ. Там тя работи доброволно в различни университети и научни организации, но без да заема официални позиции. Младата двойка учени, известни в Johns Hopkins University като "Joe and Maria" оставят у студентите романтични представи и преместването им в Columbia University се приема като голяма загуба.

През 1946 г. постъпва в Argonne National Laboratory като млад научен работник в секцията по Теоретична физика. Там развива математическия модел за обвивките на ядрото, с което печели Нобелова награда (1963) заедно с J. Hans, D. Jensen и Eugene Paul Wigner. Така Мария е втората жена след Мария Кюри, която е нобелов лауреат.

Семейство Mayer имат две деца, дъщеря Maria Ann и син Peter Conrad. Съобщението в пресата при обявяването на Нобеловите награди за 1963 г. гласи: "Майка на син и дъщеря печели Нобелова награда", толкова необичайно е съчетанието на семейството и големите научни постижения. Оттогава вече 47 години Нобелова награда не е печелена от жена.

Посмъртно е учредена стипендия, подпомагащи млади жени във физиката. Кратер на Венера носи името на Maria Göppert-Mayer.

Jocelyn Bell Burnell (1943)

Забележителна наша съвременничка е Jocelyn Bell Burnell, английски астрофизик. Родена в Belfast, Северна Ирландия. От малка проявява интерес към астрономията. Баща ѝ е архитект на планетариума в Armagh (недалече от Belfast). Била е насърчавана да чете от малка и книгите по астрономия са били най-привлекателни от огромната семейна библиотека. Учи в колежа в Lurgan и е била едно от първите момичета с позволение да изучават естествени науки. Дотогава програмата за момичета включва бродерия и готварство. По-късно в Mount School, York, тя е впечатлена от учителя си по физика Tillott, който и показва "колко лесна е физиката". През 1965 тя завършва бакалавър по физика в университета в Glasgow и през 1969 получава докторска степен в университета в Cambridge. Ръководител на дисертацията ѝ е Antony Hewish. Съвместно конструират радио телескоп за изучаване на квазарите. През 1967 г. Jocelyn Bell улавя първия пулсиращ сигнал с голяма регулярност (импулс на секунда) от източник извън Слънчевата система. Jocelyn Bell и Antony Hewish наричат този сигнал LGM (от Little Green Men – малките зелени човечета), тъй като периодичността се приема като признак за източник от извънземна цивилизация. Източникът, известен днес като PSR B1919+21, е идентифициран след няколко години като бързо въртяща



се неутронна звезда. За това откритие е присъдена Нобелова награда само на ръководителя ѝ Antony Hewish през 1974 г.

Jocelyn Bell се омъжва през 1968 г. Съпругът ѝ Martin Burnell е държавен служител и често сменя работното си място. Джослин го следва и работи в продължение на 18 години за кратки периоди в различни университети: Университета в Southampton, University College London, Royal Observatory Edinburgh и Open University. Синът ѝ Gavin Burnell също е физик.

През 1991 г. Jocelyn е назначена за професор по физика в Open University. Два пъти е президент на Кралското астрономическо дружество и е настоящ президент на Institute of Physics. Въпреки, че Bell не е удостоена с Нобелова награда за принос при откриване на пулсарите, са ѝ присъдени редица награди.

Заклучение

Отдавна е известно, че жените получават признание, само ако покажат ниво (брой и качество на научните публикации) значително над средното (Wenneras and Wold, 1997). Често приносът на жените е недооценен, поради традиционното пренебрежение към тях в мъжкия научен свят, научни постижения на жени са били приписвани на мъжете, с които са работили. Джеймс Уотсон пише: “Представите ни за Розалинд са били неправилни. Твърде късно разбрахме, каква борба трябва да води една умна жена в научния свят, където я възприемат повече като пречка, която отвлича от сериозната работа“. Светът обаче се променя. Както казва Джослин Бел в едно свое интервю: “Ние все по-ясно разбираме разликите между мъжете и жените, за различния начин на мислене и приносът на жените започва все повече да се оценява. Има какво още да се прави, но вървим във вярната посока“. Физиката очаква своите бележити представителки. Нека физиката да не остане задълго единствената наука само с две жени-нобелови лауреати.

Извън настоящото изложение остават много жени, чийто принос за развитието на физиката е неocenim, от En Hedu'Anna от Вавилон (около 2354 пр. н. е.) до наши дни.

Литература

- Lynne Osman Elkin, *Physics Today* **56**, 42 (2003)
C. Wenneras, A. Wold, *Nepotism and Sexism*, *Nature* **287**, 341–343 (1997)
http://www.innovations-report.de/html/berichte/physik_astronomie/bericht - 8281.html
<http://www.ruhr-uni-bochum.de/pressemitteilungen-1996/msg00012.html>
Jocelyn Bell Burnell, *Little Green Men, White Dwarfs or Pulsars?*, *Cosmic Search Magazine*, **1**, No.1 (1979)
M. Weatherall, *The Woman Who Discovered Pulsars*, An Interview With Jocelyn Bell Burnell.
Marilyn Bailey Ogilvie, *Women in Science*, MIT Press (1990)
B. Könekamp, B. Kraus, M. Erleemann, C. Kausch, *Chancengleichheit für Männer und Frauen in der Physik*, *Physik J.*, **1**, 22–27 (2002)

МЛАДИТЕ УЧЕНИ И ВЕЛИКИТЕ ОТКРИТИЯ

Елена Халова

Департамент по приложна физика, Технически Университет – София, бул. „Кл. Охридски“ 8, 1756 София, e-mail: ehalova@tu-sofia.bg

Резюме. В доклада е направен исторически преглед на великите открития във физиката направени от млади учени. Представени са исторически данни, както и интересни събития, факти и легенди.

Ключови думи: история на физиката, учени физици.

Повечето хора по света считат, че научните работи, открития, формулировки на природните закони са резултат от работата на хора на почтена възраст, натрупали знания и огромен опит в своята специалност. В действителност, както показва историята на науката физика, това не е така: **най-големите открития са направени от млади хора.**

На по-голямата част от хората е добре известен портрета на италианския математик, физик и астроном Галилео Галилей – старец с голяма брада. Галилей в действителност е живял дълго, но първото свое крупно откритие във физиката той направил през 1583 г., когато бил на 19 години. По време на служба в църква бил открит **закона за постоянството на периода на люлеене на махало.**



Галилео Галилей
15.02.1564–03.01.1642



Фиг. 1 Катедралата в Пиза с „лампата на Галилей“.



Фиг. 2 Наклонената кула в Пиза.

Красивата легенда била разказана от ученика на Галилей – Винченцо Вивини (фиг. 1). Галилей наблюдавал движението на бронзовият полилей, останал в паметта на местното население като “лампата на Галилей” и открил закона за постоянството на периода на люлеенето на махалото. Капризното

течение или случайното побутване от някой богомолец заставяло полилеите в църквата да се люлеят с различна амплитуда. Галилей забелязал, че независимо от тяхното отклонение, периодът на колебание на свещника-махало оставал постоянен. За да се докаже това бил необходим някакъв прибор за измерване на времето. Но това било кошунство – в божия храм да се внасят прибори, още повече от студент? Галилей се сетил да използва за целта собствения си пулс, т.е. “биенето” на сърцето му, което е периодичното движение. Сравнявайки периода на люлеене на полилея в църквата и собствения си пулс, той установил, че периода на люлеене на полилея не зависи от амплитудата. На пръв поглед люлеенето на полилеите е незначително явление. Но в наблюденията на Галилей то е изиграло роля, подобна на тази с “ваната на Архимед” и “нютоната ябълка”. По този повод Лагранж казва, *“Нужен е изключителен гений, за да се установят природните закони при явления, които винаги са били пред очите на всички и все пак са се изплъзвали от вниманието на изследователите”*. Гений е този човек, който успява да види в обикновени събития или явления онова, което милиони други хора не са в състояние да видят. Това откритие послужило като основа за конструирането на часовника.

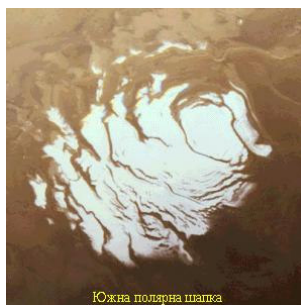
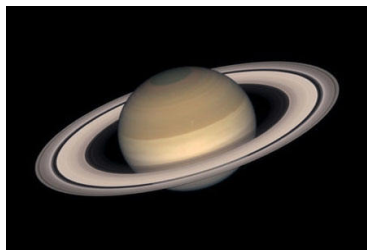
На 25 години Галилей станал професор. Скоро след това експериментално установил своите знаменити **закони за падане на телата под действие на силата на тежестта**. Един от най-известните разкази за Галилей описва как той пуска топки с различна маса от Наклонената кула в Пиза (фиг. 2), за да демонстрира, че времето, за което те падат, не зависи от масата им. Тази история, написана от Вивиани, днес се смята за измислена. Всъщност Галилей прави опити с топки, търкалящи се по наклонена равнина, с което демонстрира същото явление - ускорението не зависи от масата.

Важни открития направил в младите си години и нидерландският учен Кристиан Хюйгенс. На 22-годишна възраст публикувал труда си за определяне дължината на окръжност, елипса и хипербола. Усъвършенствайки конструкция на **телескопа**, Хюйгенс, подобно на Галилей търпеливо провеждал астрономически наблюдения. В продължение на няколко години той успял да направи редица интересни астрономически открития, които описал в книгата *“Системата на Сатурн”* издадена в 1659 г., когато той е бил само на 30 години. През 1655 г. открил **спътника Титан** на планетата Сатурн, определил периода на завъртането му и установил, че **Сатурн е обкръжен от тънък пръстен** (фиг. 3). Наблюдавал също така **полярните шапки на Марс** (фиг. 3), **линиите върху повърхността на Юпитер** и **мъглявините в съвездието на Орион** (фиг. 4). За да измери видимия диаметър на планетите Хюйгенс конструирал астрономически микрометър.

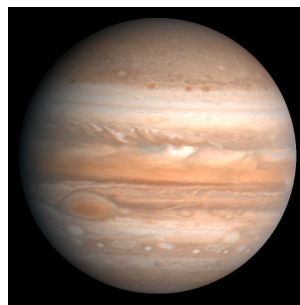


Кристиан Хюйгенс
14.04.1629-08.07.1695

Огромната нужда на морската държава да се разреши проблема с определяне на разстоянията в морето, изисквало точно определяне на времето. Хюйгенс се заел с тази задача и 16 юли 1657 г. Генералните щати на Нидерландия му признават изобретението на **часовника с махало** (фиг. 5). Голяма тежест или топка окачена на края на верига, навита около ос, свързана чрез зъбна предавка с часовниковия мехънизъм. Зъбната предавка контролира скоростта на падане на тежестта, така че часовникът цъка равномерно с постоянна скорост.



Фиг. 3 Пръстените на Сатурн и Южната полярна шапка на Марс.



Фиг. 4 Мъглявините в съзвездието на Орион и поясите на Юпитер.



Фиг. 5 Часовник с махало.

Но най-големия принос за развитието на физиката била разработената от Хюйгенс вълнова теория на светлината. Тя обезсмъртила името му, а търсенето на световния ефир, въведен от него във физиката, стимулирала развитието на физика в продължение на 200 години и довело до създаването в 1905 г. на теорията на относителността.

Класическата механика, която в продължение на повече от два века е служила като основа на физиката, била създадена от английският учен Исак Нютон, роден в годината на смъртта на Галилей. Нютон, така както и Галилей, едно от своите най-големи открития – откритието на **закона за всемирното привличане** – направил на 20 години, макар и поради редица обстоятелства е бил публикуван много по-късно.

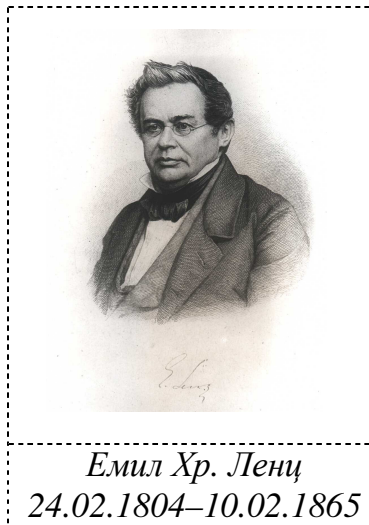
Любимото занимание на юношата Нютон било да изработва разни механични играчки, слънчеви часовници и др. През 1658 г., само на 15 г., той направил първия си физичен експеримент: измервайки дължината на скока по направление на вятъра и срещу него, успял да определи силата на вятъра по

време на буря. На 27 години, през 1668 г., Нютон изготвил модел на телескоп от нов тип (фиг. 6). Първият **телескоп-рефлектор** имал диаметър на огледалото само 2,5 cm и дължина 15 cm, но този малък телескоп давал изображение не по-лошо от грамадните телескопи с лещи.



Нютон пръв показал, че реално съществуват монохроматични лъчи с различни **цветове** и че **белият цвят е комбинация** от тях. В края на 1675 г. Нютон изпратил в Кралското общество труд, в който описвал знаменитите си опити, довели до откриването на **Нютонови пръстени** (фиг. 7). Това позволило ученият да направи извода за „периодичността“ в разпространението на светлината.

На всеки човек имащ познания по физика е известно името на знаменития руски физик Емил Христианович Ленц. Научната дейност на Ленц започва рано, като студент след втори курс. Той провел интересни физични изследвания във водите на **Беринговия пролив, на Тихия и Индийския океан**. През 1828 г. отново се отправил на експедиция. По време на тази експедиция младия Ленц целял да изкачи **връх Елбрус**, но не успял да достигне върха поради лоши метеорологични условия. Въпреки това по показанията на барометъра той изчислил височината на връх Елбрус. Това били първите метеорологически наблюдения на най-високата точка на Европа.



Веднага след откриването на електромагнитната индукция от Фарадей, Ленц започнал да търси общо правило за определяне посоката на индуцирания ток. Известното **правило на Ленц**, отнасящо се именно до посоката на индуцираното електрично поле, било формулирано и докладвано на 29 ноември 1833 г. в неговия труд *“За определяне на посоката на галваничния ток,*

възбуден от електродинамичната индукция”. По това време Ленц бил на 29 години, а на 30 г. бил избран за академик.

Юлиус Роберт Майер, немски физик, направил през живота си само едно откритие, но то обезсмъртило името му. Той пръв строго обосновал **закона за запазване и превръщане на енергията** – един от фундаменталните природни закони. До идеята за запазване и превръщане на различните форми на енергията Майер достигнал в 1841 г., когато изпратил в редакцията на немското списание „Annalen der Physik” първата си научна статия със заглавие “За количественото и качественото определяне на сили”.

Теоретична основа на цялата съвременна електротехника, радиотехника и оптика са четирите знаменити уравнения на Максвел. Това е причината роденият в Шотландия Джеймс Кларк Максвел, справедливо да наричат Нютон в електричеството. В училище той се увличал от геометрията. Своя първи труд Максвел публикувал, когато бил едва на 15 години. Той открил прост, но неизвестен математически метод за изчертаване на елиптични фигури. През 1856 г., станал професор в Абърдинския Университет, а на 29 г. – професор в Кралския колеж в Лондон. През 1864 г. той публикувал една от своите най-важни работи “Динамична теория на електромагнитното поле”.



Юлиус Роберт Майер
25.11.1814–20.03.1878



Джеймс Кларк Максвел
13.06.1831–05.11.1879

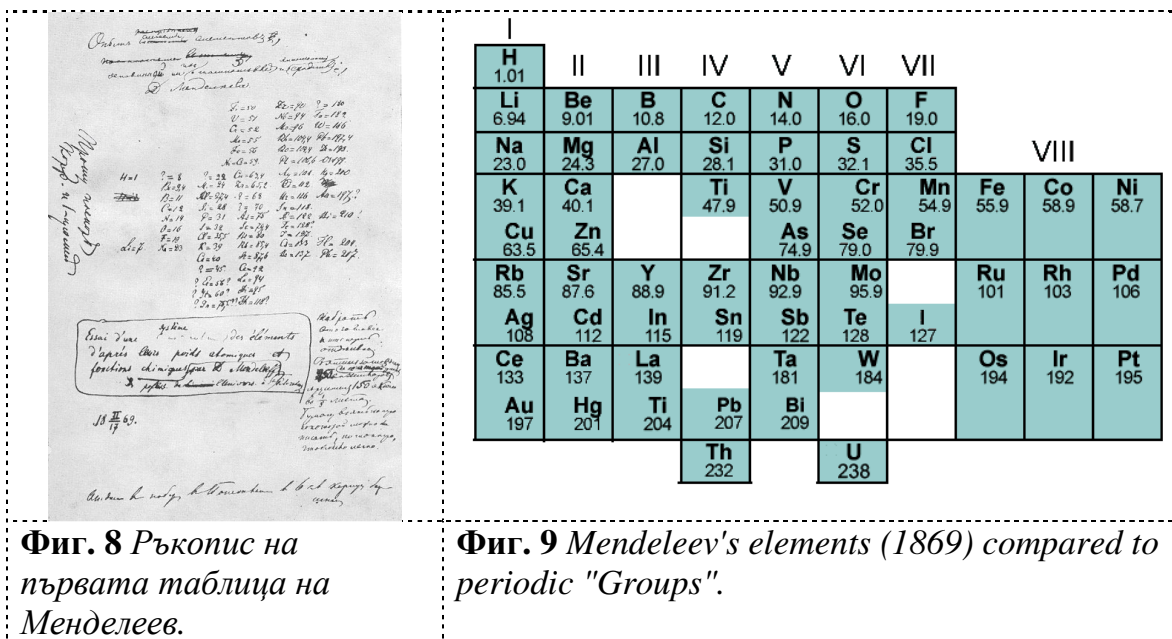


Дмитрий Иванович Менделеев
08.02.1834–02.02.1907

Дмитрий Иванович Менделеев, първооткривателят на един от основните закони на съвременната наука – **периодичния закон за химичните елементи**, когото портретистите обикновено изобразяват като побелял старец с брада, своята първа научна работа публикувал на 21 години, още като студент в Петербургския педагогически институт. На 29 г. бил избран за професор.

Своя знаменит Периодичен закон, донесъл му световна слава, Менделеев открил на 17 февруари 1869 г. (фиг. 8), когато бил на 35 години. Историята на откриването на Периодичния закон е един от ярките примери, когато преподаването може да стане стимул за научно творчество. Разработвайки

основния курс лекции по „Основи на химията”, Менделеев се опитвал да създаде такава система на елементите, така че студентите да могат по-лесно да запомнят имената на химичните елементи и да усвоят свойствата им. Редейки пасианс от карти, на които бил записал символа на химичния елемент, Менделеев изведнъж забелязал периодичността в свойствата на елементите с нарастване на атомното тегло. Това бил ключът към разкриването на великата закономерност. Менделеев подрежда известните до тогава **63** елемента в периодична таблица, като оставил свободни места в своята таблица на все още неоткрити елементи, като е предсказал техните свойства въз основа на мястото им в периодичната система (фиг. 9). Интересен е фактът, че докато Менделеев бил още жив били открити предсказаните от него химични елементи: галий Ga - “екаалуминий”, скандий Sc - “екабор” и германий Ge - “екасилиций”.



Друго революционно откритие е изобретяването на **радиото** от Александър Степанович Попов. На 7 май 1895 г. се случило събитие, изиграло изключителна роля в развитието на човешката цивилизация. В този ден 36 годишния Попов на заседание на Руското физикохимично общество в Петербург демонстрирал първия в света радиоприемник, който приемал знаци от морзовата азбука без помощта на проводници. Своя забележителен доклад, съпровождащ демонстрацията му, завършил с думите: ”В заключение аз мога да изкажа надежда, че моят прибор при по-нататъшно му усъвършенстване може да бъде приложен за предаване на сигнали на разстояние с помощта на бързи електрични трептения, само след като се намери източник на такива трептения, притежаващи достатъчна енергия.” Този ден се счита за рожден

ден на радиото.

През март 1896 г. на заседание на Руското физико-химично общество, той извършва първото в света предаване на радиograma на разстояние около 250 м. През есента на 1897 г. Попов провел опити на кораби от Балтийския флот и през пролетта на следващата година осъществил надеждна връзка на разстояние около 5 км. между транспортният кораб "Европа" и крайцера "Африка". По време на изпитанията на новия радиопредавател изобретателят направил още едно важно откритие: забелязал, че електромагнитните вълни се отразяват в корабите. Това откритие е в основата на развлият се впоследствие нов отрасъл на радиотехниката – радиолокацията.



Александър
Степанович Попов
16.03.1859–13.01.1906

Въпреки това морското ведомство малко се интересувало от работата на учения и само случая му помогнал да осъществи практическата реализация на своето изобретение. Ето какво се случило: В късната есен на 1899 г. от Кронщад на околосветско плаване тръгнал броненосецът "Генерал-адмирал Апрашкин". Едва излезнал от пристанището, той попаднал в жестока снежна буря, отклонил се от курса и се ударил в подводни камъни до остров Гогланд. Опитите да бъде отстранен от камъните пропаднали, а настъпващите студове го сковали в лед. Всичките сили на флота били хвърлени за спасяване на броненосеца, но за осъществяване на спасителната операция била крайно необходима връзка с щаба на флота. И тогава си спомнили за изобретателя на безжичния телеграф. На Попов била възложена задача да осъществи така необходимата връзка с помощта на новото изобретение. И въпреки, че досега е била осъществявана връзка на разстояние не повече от 30 км., а сега разстоянието било повече от 40 км., връзката била осъществена и работила безотказно през цялото време на спасителната операция.

Основите на цялата съвременна ядрена физика и техника била положена с **откриването на радиоактивността**, за изучаването на която основна роля изиграла Мария Склодовска-Кюри. Тогава тя била на около 30 г. Мария Кюри изказала забележителна хипотеза за възможността в минералите да се съдържа нов радиоактивен елемент, непознат до тогава. През юли 1898 г. Мария и Пиер Кюри съобщили за открития от тях нов химичен елемент – **Ро полоний**, а през декември същата година – за откриването на **Ра радия** (фиг. 10). На 36 години Мария Склодовска-Кюри, заедно с Пиер Кюри и Анри Бекерел, получила Нобелова награда за физика през 1903 г., присъдена **"за откриване и изследване на радиоактивността"** (фиг.11). Тя е първата жена, носителка на престижната награда.

След 8 години, през 1911 г., тя получила Нобелова награда за химия „като награда за нейните заслуги за развитието на химията **чрез откриването на**

елементите радий и полоний, чрез изолацията на радия и изучаването на същината и съединенията на този удивителен елемент“. Мария Склодовска-Кюри е единственият учен с две Нобелови награди - за Физика и за Химия.



Мария Склодовска-Кюри
07.11.1867-04.07.1934

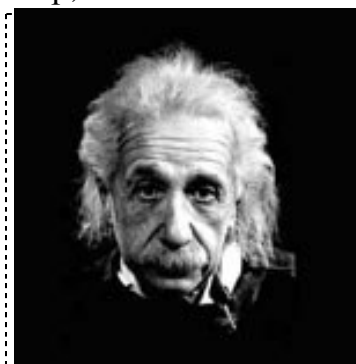


Фиг. 10 Лабораторията на Мария и Пиер Кюри.



Фиг. 11 Нобелова награда за физика.

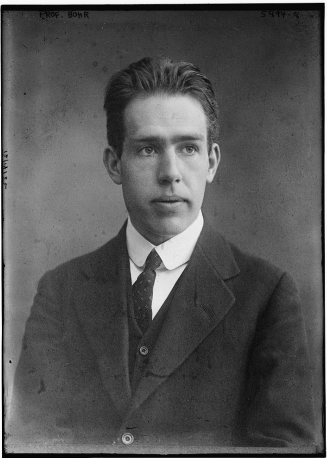
През 1905 г. в немското физическо списание “Annalen der Physik” се появили едновременно четири статии от един и същ автор, всяка от която би могла да му осигури безсмъртие. Авторът на тези статии бил Алберт Айнщайн, който по това време бил едва на 26 г. Една от тези статии със заглавие “За електродинамиката на движещите се тела”, излагала основите на специалната теория на относителността и поставила началото на революцията във физиката. Другата статия била посветена на излагането на теорията на фотоелектричния ефект. Третата статия била със заглавие “За движението на частици в неподвижна течност” и спомогнала за превръщане на молекулярната хипотеза в молекулярна теория. В последната статия със заглавие “Зависи ли инерцията на телата от съдържащата се в тях енергия?” въвел като следствие от теорията си формулата $E = mc^2$ и формулирал закона за зависимостта между масата и енергията. На Айнщайн е присъдена Нобелова награда за физика през 1921 г., но не за неговата теория на относителността, а заради закона за фотоелектричния ефект.



Алберт Айнщайн
14.03.1879–18.04.1955

През 1913 г. е извършена втората революция във физиката. Със своя труд датския физик Нилс Бор, поставил началото на квантовата теория за строежа на атома. По това време Бор бил едва на 28 години. Той изследвал преминаването на α – частици през вещество и използвайки ядрения модел на атома стигнал до извода, че атома на водорода съдържа един електрон, а атома на хелия – два електрона извън положително зареденото ядро. В същото време Бор се опитвал

да обясни ядрения модел на Ръдърфорд с хипотезата на Планк, но чувствал че нещо липсва за създаването на атомната теория. В началото на февруари 1913 г. при беседа с колеги, разбрал за формулата на Балмер. По този повод той писал: *”Щом като видях формулата на Балмер, веднага всичко ми стана ясно”*. През следващите няколко седмици Бор създаде теорията на водородния атом и обяснил спектралните закономерности, открити от Балмер. Както е известно, в основата на теорията лежат двата постулата: за съществуването на стационарни състояния и за квантовите преходи. През 1922 г., на 37 години, Бор получил Нобелова награда за физика **“за заслуги в изследването на строежа на атома и излъчването на атома”**.

		
Нилс Бор 07.10.1885–18.10.1962	Вернер Карл Хайзенберг 05.12.1901–01.02.1976	Волфганг Ер. Фр. Паули 25.04.1900–16.12.1958

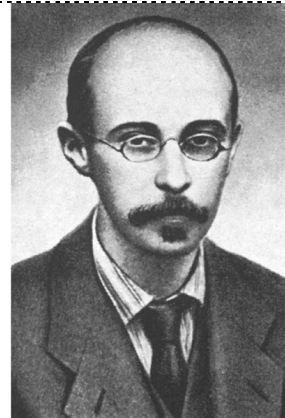
Началото на физичното интерпретиране на квантовата механика било поставено от още един млад учен Вернер Карл Хайзенберг. Само на 26 години, през 1927 г. той формулирал добре известния **Принцип за неопределеност** на Хайзенберг. През 1932 г. Хайзенберг получил Нобелова награда за физика **“за създаването на квантовата механика и в частност, за приложението ѝ за откриването на алотропните форми на водорода - орто- и пара водород”**.

Откриването на един от фундаменталните закони на съвременната физика, през 1924 г. – наричан по онова време **Принцип за забрана**, е дело на Волфганг Ернст Фридрих Паули. Осемнадесет годишният юноша, току що завършил с отличие гимназия, изпратил до немското списание „Physikalische Zeitschrift” своята първа оригинална статия за енергията на гравитационното поле, която била публикувана през 1919 г.

Огромна е заслугата на Паули и за развитието на теорията на елементарните частици. Още през 1931 г. в писмо до свои приятели, а след това по време на дискусия на VII Солвеевски конгрес пред 1933 г. Паули, възразявайки на Бор, който смятал за възможно нарушаване на закона за запазване на енергията при β -разпада (това, което сега наричаме слабо взаимодействие), изказал хипотезата

за съществуването на неутрино, на основата на която Ферми изградил своята знаменита теория за β -разпада. През 1945 г. Паули получил Нобелова награда за физика, за открития от него **“Принцип на Паули”**.

Забележителният руски учен, физик, математик и космолог, Александър Александрович Фридман е живял само 37 г., но за краткия си живот той успял да направи редица открития, оказали съществено влияние за развитието на науката физика. Той доказал разширяването на Вселената (на основата на общата теория на относителността), което в последствие било експериментално потвърдено. Съгласно модела за еднородна изотропна Вселена следва, че при разширението ѝ трябва да се наблюдава т.н. **червено отместване**, пропорционално на разстоянието. Това било експериментално потвърдено през 1929 г от Едуин Хъбъл на основание на астрономически наблюдения: спектралните линии в спектъра на Галактиката, се оказали отместени към червения край на спектъра. Фридман е основател на нова област в механиката, известна сега като газодинамика. Той е основоположник на съвременната динамична теория на метеорологията.



А.Фридман
Александър Ал.
Фридман
16.06.1888–16.09.1925

Заклучение

От всичко казано е ясно, че човек, решил да посвети живота си на научна дейност, трябва да започне колкото се може по-рано – още в студентските, а даже и в ученическите си години. Трябва обаче да е ясно, че големите научни открития са плод на напрегнат труд и изключителна целеустременост на научния работник.

Признавайки голямата роля на младите научни работници за развитието на науката, в никакъв случай не трябва да се омаловажава ролята на научните работници от по-старото поколение, които когато са навлизали в науката също са били млади. Именно те са носители на богатия научен опит и обширни знания, които те предават на своите ученици – младите научни работници. Великите учени си подбират достойни ученици и сами се учат от тях.

Литература

Ю. А. Храмов, **Физици, Биографична Енциклопедия**, „Наука и изкуство”, София (1980)

Г. М. Голин, **Класики Физической Науки**, „Высшая школа”, Минск (1981)

<http://www.google.bg/>

<http://www.wikipedia.org/>

Корпускулярно-вълнов дуализъм

Калина Пушкарлова

ФФОЕ, Технически Университет - София, бул. "Кл. Охридски" 8, 1000, София,
e-mail: kalina.pushkarova@gmail.com

Резюме. Статията е посветена на корпускулярно-вълновия дуализъм, неговото възникване, проявления, физически смисъл и интерпретация. Разгледани са основни ефекти, които не могат да бъдат обяснени в рамките на класическата физика и недвусмислено показват двойствената природа на квантовите обекти.

Ключови думи: вълна, частица, фотон, квантова механика, корпускулярно-вълнов дуализъм, вълна на материята, вълнова функция, електронна дифракция, фотоефект.

1. Увод

Корпускулярно-вълновият дуализъм е мост между класическата и квантовата физика. Той се състои във факта, че при определени условия частиците на микросвета проявяват вълнови свойства, а типични за класическата физика вълнови обекти показват корпускулярни свойства. От гледна точка на класическата физика вълните и частиците са концептуално различни обекти и едновременното съществуване на вълнови и корпускулярни свойства у един и същи обект е принципно невъзможно. Частицата е неделима (атомизъм), локализирана в част от пространството и при движението си описва траектория, докато вълната се простира в широка област на пространството, може частично да се отразява и преминава през полупропусклива преграда, интерферира с други вълни, дифрактира при преминаване край прегради и т.н. Всъщност корпускулярно-вълновият дуализъм се опитва да примири тези два различни типа поведение, като ги разглежда като два различни гранични случая на поведение на един (некласически) обект. Необходимостта от подобно „двойствено” описание се е наложила от експериментални факти, които са несъвместими с класическата механика и вълнова теория. Сред тях са фотоефектът, ефектът на Комптън, електронната дифракция и, разбира се – формулата на Планк за излъчване на абсолютно черно тяло, поставила началото на квантовата механика.

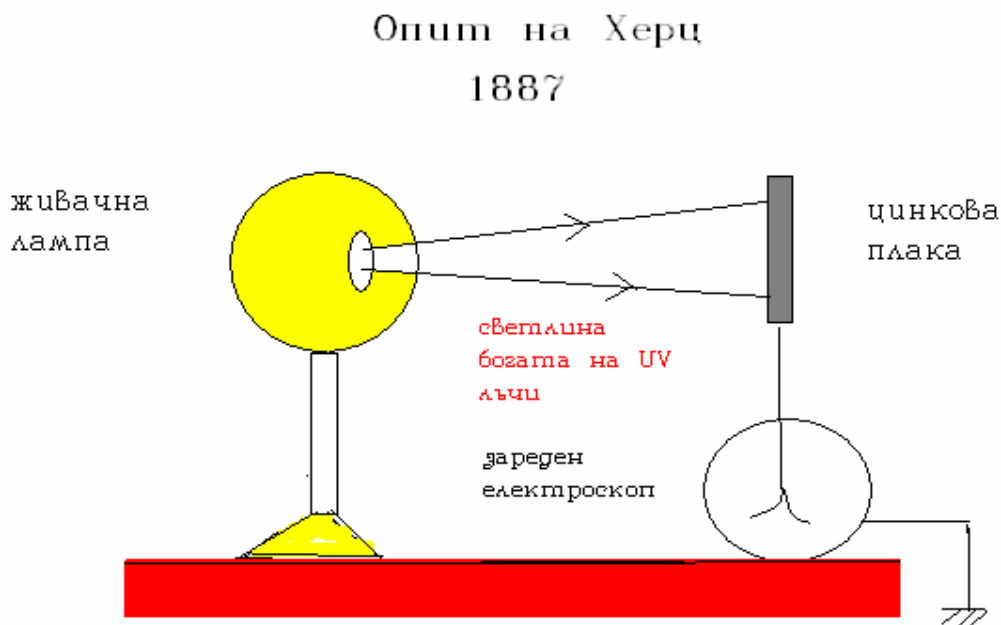
Концепцията за корпускулярно-вълновия дуализъм засяга всички обекти в микросвета, но нейното изучаване и формулиране е удобно да започне със свойствата на *светлината*.

2. Основни понятия и експериментални факти

През 1648 г. Хюйгенс формулира *вълновата теория* на светлината. Според принципа на Хюйгенс, всяка точка, до която достигне фронтът на вълната става източник на нови вълни със същата честота и от същия тип. Теорията е опитно потвърдена от Юнг през 1802 г., който наблюдава интерференция на монохроматична светлина при преминаване през два близко разположени процепа. По-късно Максвел (1862) показва, въз основа на получените от него уравнения, че светлината е електромагнитна вълна.

Друга широко разпространена теория е формулирана от Нютон през 1704 г. Той създава *корпускулярната теория*, според която светлината е поток от частици (корпускули). Неговата теория обяснява отражението и пречупването на светлинния лъч, но не може да обясни дифракцията и интерференцията.

През 1887 г. Хайнрих Херц [1] провел опит (фиг. 1), който не може да се обясни с нито една от двете теории и е първото наблюдение на фотоефекта. Той облъчва с живачна лампа цинкова пластинка, свързана с отрицателно зареден електроскоп и наблюдава разреждане на електроскопа.



Фиг. 1

На прага на XX^{ти} век (декември 1900 г.), докато изследвал абсолютно черно тяло, Макс Планк стигнал до извода, че енергията се излъчва на „порции“, наречени *кванти*. Енергията E на една „порция“ светлина с честота ν е

$$E = h\nu \quad (1)$$

където h е константата на Планк.

Пет години по-късно, на базата на тази хипотеза, Алберт Айнщайн обяснява *фотоелектричния ефект*. Айнщайн е първият, който приписва на квантите на Планк свойства на частици (които днес наричаме *фотони*), като по този начин прави първата крачка към обединяването на вълновата и корпускулярната теория. Според него, светлината е поток от тези фотони, които при определени условия могат да се държат като вълни, и енергията им се излъчва и поглъща на „порции“. Казано накратко, Айнщайн съпоставя на вълна с дължина λ частица с импулс

$$p = \frac{h}{\lambda}. \quad (2)$$

Това му дава възможност да напише знаменитото си (и гениално просто) уравнение на фотоефекта във вида

$$h\nu = \frac{mV^2}{2} + A \quad (3)$$

т.е. енергията на фотона $h\nu$ отива за извършване на отделителната работа A и за кинетична енергия $\frac{mV^2}{2}$ на избития електрон. По този начин, разглеждането на Планковите кванти светлина като частици фотони се оказало много плодотворно.

Друг експеримент, който показва, че светлината може да се разглежда като поток от фотони, бил проведен от Комптън през 1922 г. Той наблюдавал разсейването на рентгенови лъчи върху почти свободни електрони (на някоя от горните Борови орбити) и забелязал, че дължината на вълната на разсеяната светлина е много по-малка от тази на падащата.

На този етап знаем, че при определени явления, една вълна може да се държи като частица. Логичен е въпросът, възможно ли е обратното – частица да се държи като вълна? Отговор на този въпрос дава Луи Дьо Бройл през 1924 г. Изхождайки от симетрията във фундаменталните природни закони, Дьо Бройл предположил, че на всяка частица с импулс p може да се съпостави вълна с дължина

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (4)$$

Тази формула, разбира се математически съвпада с (2), но има нов смисъл – сега на частица с импулс p се съпоставя вълна с дължина λ и честота

$$\nu = \frac{E}{h} \quad (5)$$

Нарекъл тази вълна *вълна на материята*, известна днес и като вълна на Дьо Бройл. Той стига и по-далеч, предполагайки, че този поток от частици би

трябвало да създава интерференчна картина, като тази в опита на Юнг, стига да се подберат подходящи процепи. Оценките показват, че тези процепи трябва да имат ширина от по няколко ангштрѐма и да са много близко разположени, което било практически неосъществимо. Затова провели други опити, които да покажат по същия толкова недвусмислен начин наличието на интерференчна картина. Това се удало на Дейвисън и Джермер [2] през 1927 г. Те бомбардирани повърхността на никелов монокристал и наблюдавали интерференчната картина на отразените от повърхността електрони (*електронна дифракция*). Кристалната решетка на метала служела като дифракционна решетка с константа равна на междуатомното разстояние. Дължината на вълната на електроните била изчислена с помощта на това разстояние.

И така, в края на 20^{те} години на XX век, физиците имат много поводи за размисъл върху валидността и смисъла на основните закони и понятия на класическата физика. Доколко те съответстват на микросвета? Както и много нови проблеми за решаване, които могат да бъдат обединени във въпроса – можем ли и как да създадем понятие за нещо, което е едновременно и вълна, и частица?

3. Резултати и обсъждане

Казахме, че Айнщайн прави първата крачка към обединяване на корпускулярната и вълновата теория в теорията си за фотоефекта. Но в теорията му има съществени противоречия с класическата физика. Те не могат да бъдат пренебрегнати, заради опитното доказателство на Херц. Детайлното изследване на фотоефекта показало, че енергията на избитите от пластината електрони е пропорционална на честотата на облъчващата светлина, а не на нейния интензитет. Това било необяснимо, защото според класическата вълнова теория енергията на вълната е пропорционална на квадрата на амплитудата и не зависи от честотата. При това, според вълновата теория, след достатъчно дълго време всяка вълна би трябвало да разтрепти електрона до енергия, достатъчно голяма, за да го откъсне от метала. Такова нещо обаче не се наблюдавало. На интензитета на падащата светлина бил пропорционален *броят* на избитите електрони, а не тяхната енергия. Електрони били избивани и при произволно ниска интензивност, но никога при честота, по-ниска от една гранична честота, наречена *прагова честота*.

Тези факти обясняват защо светлината не може да бъде поток от частици, в смисъла на Нютон, но не може да бъде и вълна, със свойствата, дефинирани от Хюйгенс.

Ефектът на Комптън бил обяснен като еластично разсейване на две частици – електрон и фотон, всяка от които има своя енергия и импулс. За изменението на дължината на вълната на фотона Комптън получил:

$$\lambda' - \lambda = \left(\frac{h}{mc} \right) (1 - \cos \theta) \quad (6)$$

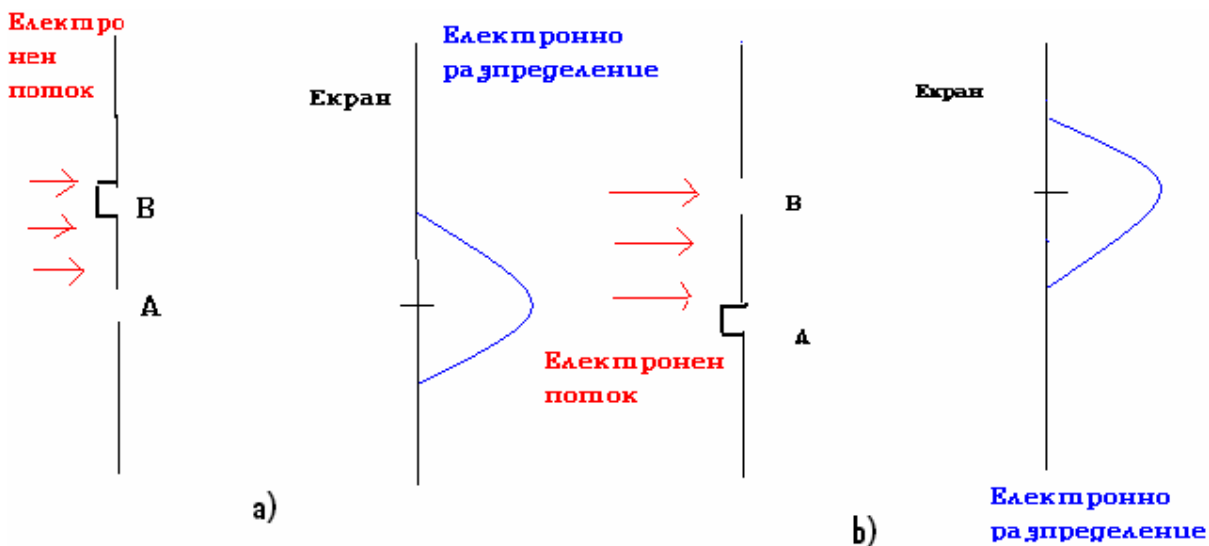
където λ' – дължина на разсеяната вълна след удара, λ – дължина на вълната на падащата светлина, c – скоростта на светлината във вакуум, θ – ъгълът на разсейване. Величината $\frac{h}{mc} = 2,43 \times 10^{-12} \text{ m}^{-1}$, която съдържа само фундаментални константи, днес е известна като Комптънова дължина на вълната.

Ако светлината беше електромагнитна вълна, тя само щеше да разтрепти електроните и те щяха да излъчат нови вълни със същата честота, съгласно принципа на Хюйгенс. Което противоречи на опитните резултати, които са валидни само ако светлината е поток от частици.

Всъщност, проблемът се проявява най-ясно в следния мислен експеримент. Нека си представим, че повтаряме опита на Юнг, но с електрони. Ако пропуснем сноп електрони през 1 процепа, ще се наблюдава само 1 линия, както се и очаква в случай на частица (фиг. 2). Ако електроните са пропуснати през 2 процепа обаче, получават се не 2 линии, а интерференчна картина. Как е възможно подобно явление в случай на частица? Първоначално физиците смятали, че електроните, след като преминат през отвора взаимодействат един с друг и оттам се получава интерференчната картина. Затова нека електроните се пропускат един по един през малки интервали от време, така че да не могат да взаимодействат помежду си. Получава се същият резултат. Следва предположението, че електронът се разделя на 2 преди да премине през отвора и след него интерферира сам със себе си, преди отново да стане цял. В природата обаче не съществува такова нещо като половин или четвърт електрон. Затова нека е поставен детектор след процепите, за да се види какво точно се случва с електрона. Този детектор (Гайгеров брояч или камера на Уилсън), независимо от това зад кой от двата процепа се намира, регистрира целия електрон. Остава възможността електронът да „избере“ през кой от двата процепа да премине. Тъй като процепите са еднакви, вероятността за преминаване през всеки от тях е 50 %, и разпределението на електроните върху екрана трябва да е сума от разпределенията за двата процепа (фиг. 3). Вместо това получаваме стандартна интерференчна картина.

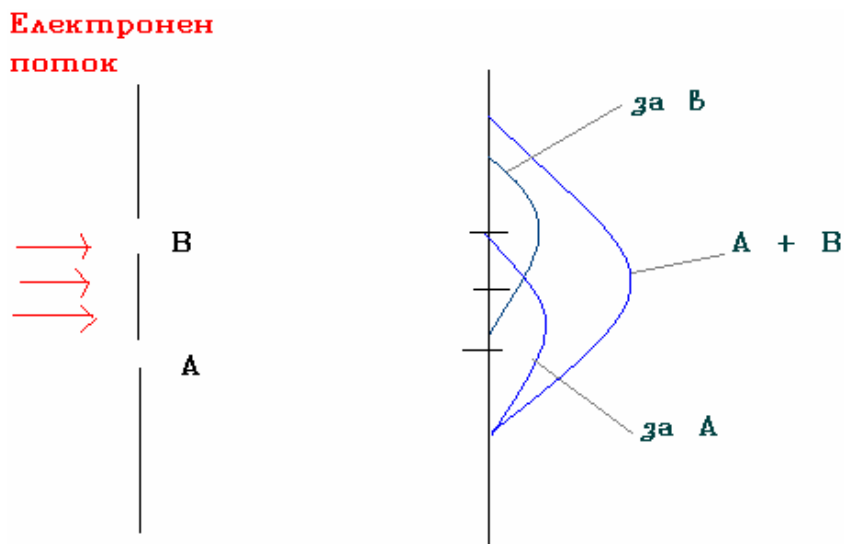
Нека сега Гайгеровият брояч да се намира в точката P_1 и регистрира 100 електрона за секунда, когато е отворен процепа В (фиг. 4). Ако и двата са отворени, не регистрира нищо, т.е. в тази точка има интерференчен минимум. Ако първоначално е отворен процепа А и постепенно се отваря В, очаква се

скоростта на броене да нараства от 100 до 200 електрона. Опитът показва, че намалява от 100 до 0. $100 + 100 = 0$? Как отварянето на втория процеп влияе на електрони преминали през първия?! Ако броячът се намира в точка P_2 , където има интерференчен максимум, то скоростта на броене постепенно ще нараства от 100 до 400 електрона в секунда. С други думи на практика имаме интерференчен максимум в точка, в която класически частици не могат да попаднат!!! $100 + 100 = 400$?

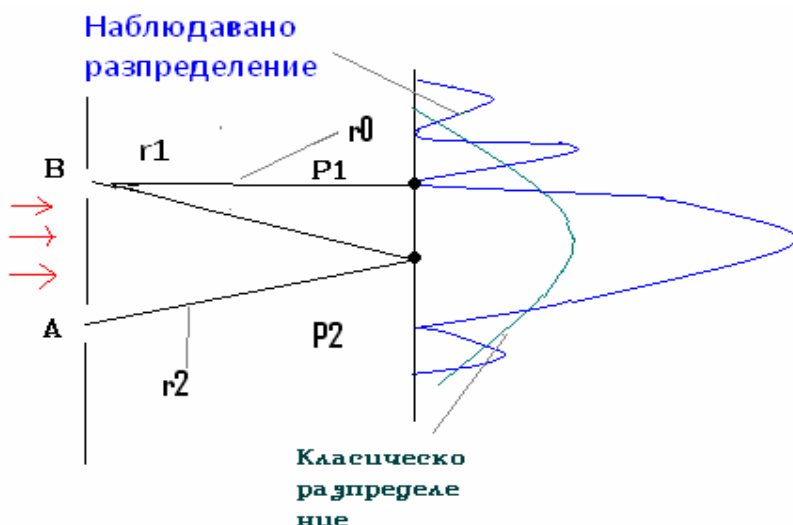


Електронно разпределение съгласно класическата физика

Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

За да се избегнат подобни парадокси, е необходим подходящ математически апарат, който да бъде съвместим с атомизма и да предсказва правилно вълновите явления. И да е непротиворечив! Очевидно, трябвало да се променят някои от основните идеи и принципи на механиката. Състоянието на новата вълна-частица (ще продължим да използваме и за нея термина *електрон*) вече не може да се описва с нейната координата и скорост. Дифракцията на електроните означава, че електронът няма траектория. Ако имаше, щяхме да знаем през кой точно проце́п е минал електронът. Нещо повече, през 1926 г. Вернер Хайзенберг формулира своя *принцип за неопределеност*, според който не може да се проведе експеримент, който да определи точно и положението, и импулса на електрона в даден момент. Точността Δx , с която може да се определи координатата му, и точността за импулса Δp са свързани с неравенството

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar \quad (7)$$

Колкото по-точно определяме едната величина, толкова по-неопределена става другата. Този принцип не допуска съществуване на траектория - в противен случай бихме имали точно определена скорост. Единствено бихме могли да говорим за вероятността да намерим частицата в дадена област от пространството.

За да опише тази вероятност Ервин Шрьодингер [3] въвежда една чисто математическа функция $\Psi(x,y,z,t)$, чрез която е възможно да се определи вероятността частицата да е била на дадено място. Тази функция задава *състоянието* на електрона.

Вероятността частицата да бъде открита в точката с координати (x,y,z) в момента t е пропорционална на $|\psi(x,y,z,t)|^2$, т.е. на интензитета. Взимаме модула на квадрат, защото ψ -функцията е комплексна, а вероятността е реална величина. Тя притежава формално свойствата на класическите вълни, затова се нарича и *вълнова функция*. Електронът може да се намира в състояния, описвани с различни ψ -функции (отговарящи, например, на различните орбити в атома), както и в състояние, описвано с произволна линейна комбинация от тези функции. Това означава, че електронът съществува с определена вероятност във всяка точка на пространството и затова „знае” кой и колко процеп в опита на Юнг са отворени. Той избира процеп с вероятност $|\psi(x,y,z,t)|^2$. Но след като го избере, минава целият през него! И това удовлетворява принципа на атомизма, едновременно с вълновото поведение. Веднага след това, той отново възвръща вълновите си свойства. Ако ние проведем експеримент по откриването (локализирането) на електрона, за да разберем къде е, и го намерим някъде, единственото, което можем да кажем е, че той е *бил* там за безкрайно малко време *след* проведеното измерване. Оказва се, че в квантовата механика процесът на измерване влияе върху резултата от измерването. Това е *принципно нов* момент в сравнение с класическата физика! Всяко измерване е взаимодействие на квантов обект (електрон) с класически прибор. Ние не разбираме езика на квантовите обекти, а разбираме само класическия език на нашия макроскопичен прибор, защото самите ние сме макроскопични същества. И този прибор в едни експерименти ни казва, че електронът се е държал като частица, а в други – като вълна, но *никога* едновременно и като истинска вълна, и като класическа частица.

Дълго време вероятностната трактовка на квантовата механика не се е харесвала. Дори Айнщайн в един от многото си разговори с Нилс Бор, заявява „Бог не играе на зарове!”, а Бор му отвърнал „Айнщайн, спри да казваш на Бог какво да прави!”. Айнщайн, както и много други учени, търсили опит, който да докаже резултатите на мисления експеримент, без да се налага използването на вълновата функция и нейните вероятностни свойства. До ден днешен такъв опит не е реализиран.

Какво представляват „вълните”, приписвани на електроните? Същите като на фотоните. Какво знаем за електромагнитните вълни? Разпространяват се свободно в празното пространство. За разлика от механичните вълни, не е нужна среда, която да извършва колебателно движение. Вълновата функция ψ не е непосредствено наблюдаема, т.е. няма какво да трепти. Класическите вълни и вълните, отговарящи на частиците почиват на едни и същи математически зависимости. С тази разлика, че класическите са видими и подлежат на опитно изследване, а квантовите (ψ) - не са.

4. Заключение

Налице са два експеримента, обяснени от Айнщайн и Комптън въз основа на предположение, че светлината е поток от корпускули – фотони. Опитът на Дейвисън и Джермер показал, че електроните имат вълнови свойства – интерферират. В историята на физиката има и много други експерименти, които потвърждават тези резултати. Интерпретацията им е тясно свързана и с въведената от Планк константа h . Ако положим $h = 0$, дуализмът изчезва. Дължината на вълната на Дьо Бройл става равна на нула, импулсът на фотона във фотоефекта на Айнщайн също става нула, както и Комптъновата дължина на вълната. Следователно, дуализмът е свързан с квантовата механика – той е квантов ефект.

За да обясним резултатите от мисления експеримент се наложи да използваме нов математически формализъм и това се дължи преди всичко на факта, че ние прилагаме в опитите класически прибори, които носят своите класически понятия, приложени за некласически (микро) обекти. Затова квантовата физика не може без класическата, оттам идва и огромното значение на дуализма.

Литература

- [1] H. R. Hertz, *Annalen der Physik*, **267**, 983-1000 (1887)
- [2] C. Davisson, L. H. Germer X, *Nature* **119**: 558–560 (1927)
- [3] E. Schrödinger, *Physical Review* **28** 1049–1070 (1926)
- [4] Richard P. Feynman, *The Feynman Lectures on Physics*, vol. **3**. USA: Addison-Wesley. pp. 1–8 (1965)
- [5] Jay Orear. “Physics”, Macmillan Publ. Co. Inc. New York (1979)

ВЕЛИКАТА ТАЙНА НА ВОДАТА

Димитър Томов Димитров

Факултет за германско инженерно обучение и промишлен мениджмънт (ФаГИОПМ),
ТУ – София, , бул. Кл. Охридски 8, 1000, София, e-mail: mitko_tomov@abv.bg

Ключови думи: вода, структура, клъстер, химични, физични, свойства, биологичен компютър, човек, живот, открития, влияние, факти.

1. Увод

Водата е най-разпространеното вещество на Земята, за което смятаме, че знаем всичко. Тя съпровожда всеки миг от нашия живот. Но знаем ли каква тайна пази в себе си тази удивителна стихия? Откъде е дошла? Кой и защо я е дарил на нашата планета? Защо е единствена в цялата Вселена? Може би отговорите на тези въпроси знае самата вода. Нали и днес тя е толкова, колкото е била в самото начало, когато се е раждал светът, приемайки познатите ни очертания и форми.

2. Обща информация

Име: Вода

Други имена: Въглероден хидрооксид

Молекулна формула: H_2O

Молярна маса: 18,01528 g/mol

Външен вид: Безцветна течност

Водата покрива около 71 % от повърхността на планетата и играе СЪЩЕСТВЕНА роля за поддържане живота на Земята.

Много духовни учители, философи и учени от цял свят говорят за водата. Китайският философ Лао Дзь пише преди повече от две и половина хилядолетия:

„В целия свят няма нищо по-меко и по-податливо от водата. Но тя надделява над твърдото и здравото. Никой не може да я преодолее, въпреки че всеки може да я победи. Податливото побеждава здравото. Мекото преодолява твърдото. Всички знаят това, но никой не се осмелява да действа така.”

Физични и химични свойства

Водата е химично съединение на 2 атома водород и 1 атом кислород съединени с ковалентна химична връзка. Тя винаги е привличала учените със своите необикновени свойства – физични и химични, които като ле ли не се подчиняват на познатите ни физични закони: нито един учен не може да обясни защо водата, за разлика от всички други течности, при понижаване на температурата увеличава своята плътност, а при повишаване – я намалява, въпреки че това се дължи на факта, че при замръзване водата преминава от молекулярно в кристално състояние и така образуваната кристална решетка има по-голям обем от този на молекулите при течната вода. Тя е единственото вещество, което при нормални земни условия се намира и в трите агрегатни състояния – твърдо, течено и газообразно. В сравнение с всички други течности водата има най-високото повърхностно напрежение. Тя е най-универсалният разтворител в природата. Намирайки се в пори и капиляри, водата създава огромно налягане и с лекота се изкачва по стволите на огромни дървета, преодолявайки силата на земното притегляне. В семената например в момента на покълване нейното налягане достига до 400 атмосфери. Ето защо кълновете с лекота пробиват дори асфалт. Ако водата не притежаваше всички тези удивителни качества, може би нямаше да има живот на нашата планета. Академик Вернадски пише:

„Няма такова съединение, което би могло да се сравни с водата по своето влияние върху основните геоложки процеси. Няма такова вещество, минерал, полезно изкопаемо, живо тяло, в чийто състав да не е включена вода.”

3. Интересни факти

С водата са свързани редица интересни факти:

През 1956 година в секретна лаборатория на военен институт в Югоизточна Азия, занимаващ се с разработване и производство на средства за масово унищожение, се провежда съвещание, на което се обсъжда създаването на мощно биологично оръжие от ново поколение. Свойствата, които то, по мнение на учените, трябва да притежава, са предмет на продължителни дискусии. Неочаквано съвещанието прекъсва. Всички участници са закарани в болница със симптоми на силно хранително отравяне. Започва разследване, което стига до задънена улица – освен водата, намираща се в стъклени шишета на масите, учените не са консумирали нищо друго. Водата е изследвана, но в нея не са открити никакви вредни примеси – химичният ѝ състав е H_2O . Така е написано и в доклада – причина за отравянето е обикновена вода.

Аналогичен случай: В секретна германска лаборатория през 60-те години на 20 век става необяснима случка. Лаборантка изпуска херметизирана ампула със силна отрова в съд с дестилирана вода. Оставя я да си лежи вътре - за да не афишира своята небрежност. Ампулата е намерена едва след три дни. Тъй като

е херметична и няма особена опасност, изваждат ампулата и решават да забравят инцидента. По-късно дават тази вода на лабораторните мишки. След известно време мишките са мъртви. Веднага подлагат водата на най-прецизен анализ. От химическа гледна точка тя се оказва безупречно чиста. Тоест водата, без да има контакт с отровата, някак приема нейните свойства, получава негативната информация.

20 години по-късно е оформена фантастичната хипотеза, която може да обясни непредсказуемото поведение на водата – **водата има памет**. В края на XX век голямата тайна на водата беше разгадана и най-новите научни изследвания изцяло преобърнаха представите ни за нея. Съвременните учени стигнаха до извода, че тя се проявява като жива субстанция. Резултатите от експериментите, проведени в различни страни по света, наистина доказват, че водата възприема и запечатва всяко въздействие, запомня всичко, което става в обкръжаващото я пространство. Дотогава господства мнението, че е важен химичният състав на водата. Но сензационната новина е, че **структурата на водата е много по-важна от нейния химичен състав**.

4. Структура на водата

Структурата на водата представлява начинът на подреждане на нейните молекули. Учените са установили, че молекулите на водата се групират и тези групи водни молекули са наречени клъстери. Най-малкият структурен елемент на клъстерите се състои от пет водни молекули, свързани помежду си с водородни връзки. Предполага се, че именно тези петмолекулни агрегати са своеобразният носител на паметта на водата и именно в тях, като на магнетофонна лента, водата записва всичко, което вижда, чувства и усеща. За нея е достатъчно само да се докосне до друго вещество, за да възприеме неговите свойства и да ги съхрани в своята памет.

Клъстер

Ако разглеждаме клъстера като група от точно определени молекули, то неговият живот е къс. Но ако говорим за него като структура, която молекулите могат да напускат и в която да се присъединяват, клъстерът може ефективно да съществува много дълго време. Именно устойчивостта на клъстерната структура потвърждава хипотезата за способността на водата да запечатва и съхранява информация.

5. Пренос на информация между водните молекули

Със съвременна апаратура е установено, че във всеки минимален структурен елемент (група от пет водни молекули) на клъстерите има 440 000 информационни панела, всеки от които отговаря за своя вид взаимодействие с

околната среда. И както всяка отделна клетка съдържа в себе си информация за целия организъм, така и всеки минимален структурен елемент на водата съдържа в себе си информация за цялата наша планетарна система. Всеки минимален структурен елемент не само съхранява информацията, но и я предава на останалите структурни елементи в клъстерната верига, което води до промяна на информационно-фазовото състояние на цялата система. И както многоклетъчният организъм не е механичен сбор от съставлящите го клетки, а е едно единно цяло, в което отделните клетки функционират строго съгласувано, при тясно взаимодействие, обменяйки помежду си вещества, енергия и информация, така и минималните структурни единици на клъстерите се намират в тясна връзка помежду си, носейки и предавайки си информацията, която са възприели.

Водата – биологичен компютър

Водата е безценен компютър, който е единствен по рода си. Тя е един вид компютърна памет – памет за информация. Но за да можем да я използваме, трябва да знаем как протичат всички тези процеси. Може да сравним това с изучаването на азбука. Ако имаме азбуката, но не познаваме буквите, не можем да съставяме думи и изречения. Молекулярната структура на водата е нейната азбука. Когато я научим, ще можем да съставяме думи и изречения. Ще можем дори да променяме изреченията.

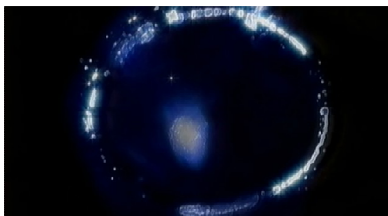
Дали са се досещали за това нашите предци, когато са превръщали обикновената вода в лечебна, използвайки сребърни съдове? Днес сребърната вода е най-мощният антисептик, широко използван в цял свят. Запечатвайки информацията, водата придобива нови свойства, като при това нейният химичен състав остава непроменен – H_2O . Водата, разбира се, си остава вода, но нейната структура, подобно на нервна система, реагира на всяко дразнене.

6. Фактори, влияещи върху структурата на водата

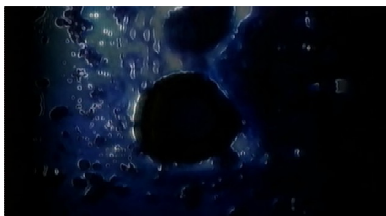
Върху структурата на водата влияят редица фактори – химични и механични, техногенните въздействия (например електромагнитни полета, излъчването на монитори и екрани, мобилни телефони, микровълнови печки, високоволтови електропреносни мрежи (далекопроводи и други), присъствието на различни обекти, включително и човешкото присъствие (молитва, мисли, думи, емоции). Хората дори не подозират, че при включване или изключване на светлината водата също се променя.

Резултатите от експерименти показват, че емоциите (положителни или отрицателни) оказват най-силно въздействие на водата. Положителните емоции (любов, нежност, загриженост) я стабилизират и повишават нейната енергия, а отрицателните (агресия, страх, омраза) – рязко я понижават.

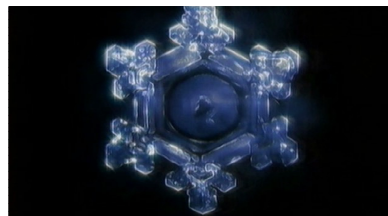
Японският изследовател, д-р Емото Масару, също изследва образци вода, обработена по различни начини. Тя се наблюдава под микроскоп с вграден фотоапарат след бързото ѝ замразяване в криогенна камера. Получените снимки показват поразителната разлика в структурата на водата, върху която е въздействано с различни видове музика, мисли, думи и изображения. Учените могат да отговорят на въпроса как става това (структурата на водата се променя така, че кристализацията настъпва в различни точки на фазовото поле), но на въпроса: „Защо?“, науката все още няма отговор.



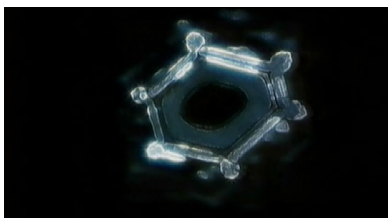
*Вода, нагрята в
микровълнова печка*



*Ефектът от мобилен
телефон*



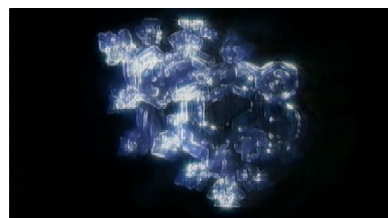
“Благодаря”



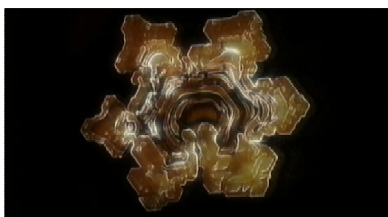
“Извинявай”



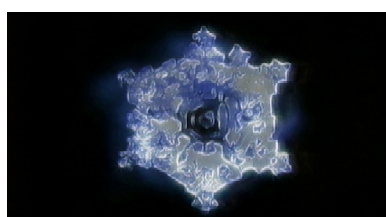
“ Ти си ми противен ”



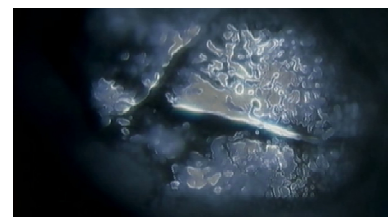
Музика на Бах



*Симфония №40 на
Моцарт*



Симфония № 6 на Бетовен



Хард Рок

7. Човекът и водата

За да поддържа нормалните си жизнени функции, човек ежедневно трябва да изпива около 2 литра чиста вода. Още толкова той поема през кожата си под душа или във ваната. Нашите предци са изграждали селища само там, където е имало изворна вода.

Днес този фактор не е от съществено значение, защото с помощта на високо налягане водата може да се транспортира на хиляди километри от мястото,

където извира. Така преди да попадне в нашия дом, тя изминава дълъг и нелек път: в природата водата винаги се движи по плавно извиващи се русла, докато посоката ѝ на движение във водопроводите често рязко се променя под прав ъгъл. С всеки един такъв принудителен завой нейната естествена структура все повече се разрушава. Погледната под микроскоп, водопроводната вода има неправилна, деформирана и асиметрична структура. Тази вода е загубила своята естествена природна енергия и затова тя поглъща енергия от хората, растенията и животните, които влизат в директен или индиректен контакт с нея.

Всеки знае, че човешкият организъм е съставен основно от вода, следователно представлява система, която може да бъде програмирана. Всеки външен фактор, включително и общуването между хората, променя структурата и биохимичния състав на телесните течности.

Ако се случи нещо с човека, то в структурата на водата също ще настъпят изменения. Но поразителен е друг факт – ако се въздейства върху вода, която помни влиянието на друг човек, то в неговото здраве и поведение също ще настъпят изменения.

Преди няколко години в изследователските центрове на щата Джорджия, САЩ, бяха получени интересни данни за водата. Известно е, че всяка човешка клетка се намира във водна среда (заобиколена е от междуклетъчна течност). В болните тъкани и органи, независимо от вида на заболяването, клетките са заобиколени от междуклетъчна течност, в която водата е деструктурирана, а в здравите органи – от междуклетъчна течност със структурирана вода. Обикновено организъмът сам структурира водата на клетъчно и междуклетъчно ниво, за което изразходва голямо количество енергия. Но тази енергия се съхранява, ако човек приема чиста структурирана вода. Съвременните хора са отвикнали да пият чиста вода. Заменили са я с пепси-кола, лимонада и бира, но организъмът превръща всички тези течности във вода, при което изразходва огромно количество енергия.

8. Влияния на структурираната вода върху човека

Немски учени от института Нюрнберг-Ерланген твърдят, че пиенето на чиста структурирана вода не само помага да се избегнат заболявания на бъбреците, но също така укрепва физическите и духовните способности на човека. Нещо повече – използването на такава вода подобрява човешката памет (известно е, че човешкият мозък се състои 90% от вода).

Съвременният човек не може да усети разликата между изкуствено пречистената и живата природна вода, но ако дадете на едно животно да избира, то винаги ще предпочете водата, взета директно от извора, защото тя носи енергията на природата.

"Рорайма"

На езика на венецуелските индианци пимон това означава "Майка на всички води". Тук през януари 2005 г. се отправя група руски биофизици, за да вземат уникални проби вода, която според учените никога не е била в пряк контакт с човека. Такава вода има единствено във Венецуела. Можем да кажем, че там има вода в нейното девствено, уникално състояние. В лабораторията на проф. Коротков е разработен прибор, определящ енергетиката на водата. Работи с помощта на ефекта на Кирлиян: Всичко, намиращо се в силно електромагнитно поле, започва да излъчва светлина. Колкото повече енергия има обектът, толкова по-ярко свети. Там сравняват водата от Венецуела с обикновена питейна. Тази вода е по-активна не два пъти, ами 40 хиляди пъти!, т. е. това принципно са две различни субстанции. Такава вода веднага активизира организма. Затова там, по тези места индианците са тъй жизнени, достатъчно са щастливи и съвсем не искат при тях да идва цивилизацията.

Да видим как структурираната вода въздейства върху кръвта на човека. Лекар взема кръв от пръста на пациентка. Наблюдавайки я под микроскоп, можем да узнаем състоянието на нейния организъм. Червени кръвни телца са слепени във формация, защото са загубили електрическия си заряд. Лекарят дава на пациента да пие структурирана вода. След 12 минути изследва нова проба кръв. Видно е, че клетките са се оживили, станали са по-енергични. Възстановили са електрическия си заряд и са започнали да се отблъскват. Те вече могат да пренасят кислород и виждаме, че в клетката се образува ново ядро.

9. Сензационно откритие

Съвсем скоро бе открито още едно уникално свойство на природната вода: Тя може да гори. При горенето на природната вода гори самата вода! Защото природната вода е структурирана по особен начин. На научен език "горене" означава процес на окисляване, при който се отделят топлина и светлина. Водата гори при стайна температура, отделената светлина се регистрира със свръхчувствителни прибори. Постоянно кислородът се активизира, гори органично вещество и виждаме светлина. Горенето на водата е продължителен процес, защото ако става мигновено цялата вода щеше да изгори.

10. Водата и религията

Във всички религии водата е посредник, съединяващ човека със Създателя. Ако проследим как се споменава водата в Свещеното писание, виждаме, че тя много често е свързана с идеята за пречистването. Умиването във водата било образ и символ на разкаянието. Опит показва, че водата реагира на молитвите,

образувайки красиви кристали. Това означава, че природната концепция съвпада с всяка религия.

11. Интересни факти

- Студената вода съдържа по-малко микроби.
- При новородено водата е 80% от теглото му.
- Чистата вода има неутрално рН т.е. тя не е киселина, нито пък основа.
- 1 капка в секунда = 1200 литра вода за година.
- 1 пускане на миялната машина изразходва 100 литра вода.
- Вземането на душ, вместо вана, спестява седмично вода, достатъчна за 1000 чаши кафе.
- 1/3 от изразходваната вода в домакинството отива в тоалетната.
- САЩ използва близо 80% от водата си за напояване и водноелектрически мощности.

12. Заключение

Рано или късно водата ще ни върне това, което сме заложили в нейната памет. Затова най-после трябва да престанем да я замърсяваме и да ѝ помогнем да се пречисти. Търсейки начин, който най-силно да пречиства водата, д-р Емото Масару стига до откритието, че това е съчетание от две неща – любов и благодарност. Затова трябва да се отнасяме към живота с любов и да бъдем благодарни за всичко, с което той ни дарява. Нейно Величество Водата е достатъчно щедра и търпелива към човечеството, затова нека и ние, хората, ѝ отдадем необходимото уважение и почит, защото водата – това е самият живот.

Литература

д-р Емото Масару, Тайните послания на водата (2004)

www.kolibka.com

Филмът „Великата тайна на водата”, част 1

Филмът „Великата тайна на водата”, част 2

<http://voda.bg/news-19/info-170>

<http://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%B0>

http://en.wikipedia.org/wiki/Water_memory

ПАРНИКОВИ ГАЗОВЕ – ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ И ЗАКОНОДАТЕЛСТВО В БЪЛГАРИЯ

Невена Кожухарова

ДПФ, Технически Университет - София, бул. Кл. Охридски №8,1000, София,
e-mail: nkojouharova@abv.bg

Ключови думи: парникови газове и емисии, инвентаризация на парниковите газове, нормативни актове и закони

Климатът на Земята се променя непрестанно, но в момента тази промяна не е само естествена, както е било в продължение на милиони години, а до голяма степен е и дължаща се на човешката дейност и това може да доведе до необратими последици. Дrastичното увеличение на концентрацията на парниковите газове може да предизвика увеличаване на средногодишната температура на Земята, но може да доведе и до установяването на нов климатичен модел на планетата.

Какво представлява парниковия ефект знаят вече широк кръг от хора. Проблемът отдавна не вълнува само учените, занимаващи се с проучвания в тази област. **Парниковият ефект** е феномен, при който молекулите на атмосферните газове чрез процесите на изпускане и поглъщане на радиация предизвикват повишаване на температурата на земната повърхност.

Парниковите газове се делят на три основни групи по отношение на начина на въздействието им върху климата. Първата група има само директно въздействие (CO_2 , PFC, SF_6), към втората група принадлежат онези газове, които предизвикват и директно и косвено въздействие (CH_4 , CFC-хлорфлуоровъглероди), а третата група оказват единствено косвено въздействие при взаимодействието си с други парникови газове като например озона (NO_x , CO, NMVOC-наричат се още и прекурсори на парниковите газове).

През последните две- три десетилетия се положили много усилия за направата на сравнителен анализ и оценка на парниковия ефект посредством интегриране на всички ключови фактори в един глобален модел на климатичните промени. В прогнозите съществуват още много несигурности, свързани най- вече със сроковете и величината на климатичните промени от една страна и от друга страна – с регионалните различия, които се основа на функцията на икономическия растеж. В същото време съществуващите рискове са толкова големи, че не могат да бъдат пренебрегнати и този факт бе в основата на решението на правителствата на редица страни да обединят усилията и за решаването на този общ за човечеството проблем.

Първият основен международен документ, третиращ проблемите на климатичните промени в глобален мащаб, е Рамковата Конвенция по

Изменение на Климата на ООН, която е подписана от 150 страни на конференция в Рио де Жанейро през месец юни 1992 година [1]. Тя е ратифицирана от 140 държави до края на 1995 година. (България прави това на 21 март 1994 год.)

Целта на тази конвенция е да приложи глобална стратегия за защита на климата на цялата планета. Основен начин за постигането на тази цел е да се намали и стабилизира концентрацията на парниковите газове до ниво, предотвратяващо опасното антропогенно въздействие. Една от първите важни стъпки в това отношение е да се определи базата за равнището на изхвърляните в атмосферата антропогенни емисии газове за всяка отделна страна. Съгласно конвенцията това трябва да е една от годините между 1987 и 1993, която за дадената страна е с най-голям принос (с максимално количество на емисиите парникови газове). Избраната базова година за по-старите страни- членки на ЕС е 1990 год. За нашата страна най- голям принос има 1988 година (максимални емисии), но се отчита и 1990 година като базова за страните от ЕС.

Какво представлява инвентаризацията на парниковите газове?

Това е оценка на годишните емисии на парниковите газове за дадена страна, при която се отчита приноса на всяка отделна сфера и отрасъл на икономиката. Такава инвентаризация се прави с две основни цели. Първата цел е да се определи коя да бъде базова година за определената страна, а втората причина е свързана с възможността да се направи оценка на индивидуалния ѝ принос в глобалните емисии на Земята.

Методиката за оценка на емисиите следва международно приети принципи и методически указания за изготвянето ѝ, но всяка страна има и свои специфики, с които също трябва да се съобрази.

Според Рамковата конвенция източниците на емисии се разделят на 6 основни групи:

1. Енергия – тук се включват емисиите при изгаряне на горива в енергетиката, промишлеността и транспорта, отчитат се и малките горивни източници в търговията, бита и селското и горско стопанство, както и изтичане при добива и преноса на въглища, нефт и природен газ.
2. Промислени процеси – тук са включени процесите от цветната и черната металургия, от предприятията от неорганичната и органична химия и при производството на неметални минерални продукти
3. Използване на разтворители – отделяните вещества са от третата група замърсители само с косвено въздействие и се отчита приноса от производството на бои и химикали, битовата употреба на разтворители и химическо чистене
4. Селско и горско стопанство – от този отрасъл се отделя предимно метан при ентерична ферментация, производство на ориз, от животински отпадъци , селскостопанско горене на отпадъци и други

5. Промяна на схемата на земеползването и горското стопанство – обикновено в тази част от таблицата имаме числа с отрицателен знак, което е знак за основен принос в намаляването на парниковите емисии чрез няколко основни начина. Те са свързани с промяната на гори и други източници на биомаса, промяна на начина на земеползване (запусвяването на обработваеми земи е един от тези начини) и др.
6. Отпадъци – твърди отпадъци, изгаряне на отпадъци и обработване на отпадни води са основните компоненти, оказващи влияние на парниковите емисии.

Оценката на емисиите за базовата година се правят на основата на данните за дейностите по основните групи, които са част от годишните бюлетини на националните статистически институции. За България данните са взимани от годишника на Националния Статистически Институт, където може да се намери информация за количествата изгорени горива, пропътуваните километри, количеството на произведената продукция за даден отрасъл за определен период от време, емисионните фактори за дадено вещество и т.н.

Емисионен фактор се нарича емисията на даден газ при производството на единица продукция или за единица изразходвано гориво. Всички емисии се представят като количество емитиран газ, например Gg CO₂ (гигаграм), което съответства на хиляди тона CO₂.

Потенциал на глобално затопляне (ПГЗ) – Много важен е фактът, че различните парникови газове имат различно въздействие върху затоплянето на въздуха – изразява се в тегловни единици. За единица ПГЗ се приема въздействието на CO₂. Същото тегловно количество на CH₄ е с 24.5 пъти по-голям принос върху изменението на температурата, поради което и неговият тегловен коефициент е 24.5. За същото тегловно количество N₂O – ефектът е 320 пъти по-голям от този, предизвикан от въглеродния диоксид.

В таблицата по-долу са дадени емисиите на основните парникови газове за базовата за България година 1988.

При условията в нашата страна се оказва, че най-важният парников газ за България се оказва въглеродния диоксид, който представлява 68% от общите емисии на парникови газове и на следващото място е метана с 24.5%. Главен източник на газове, предизвикващи глобално затопляне за България се оказват стационарните източници с дял от 64.2% от общите емисии, за разлика от страните от Западна Европа, където има голям процент на газове от подвижни източници- в нашата страна те имат относително малък дял от около 7-8%.

В структурата на използваните първични енергийни ресурси за България доминират органичните горива с 84% от общата първична енергия през 1988 година и поради тази причина се явяват основен източник на емисии на въглероден диоксид и това става най- вече в енергопреобразуваният сектор.

Вторият по значение сектор е транспортният с 11.1%, въпреки че неговия дял е значително по- малък от този в развитите страни.

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOC
Общо	96878	1412	30.8	486	826.6	132.3
Енергия	90327	371.4	6.9	485		68.8
Промислени процеси	5890	2.44	10.4	0	0	0
Разтворители и други материали	0	0	0	0	0	63.54
Промяна в земеползването	- 4657	0	0	0	0	0
Селско стопанство	0	306.6	13.4	1	37	0
Отпадъци	661	732	0	0	0	0

Може да се направи уточнението, че след въвеждане в експлоатация на 1000 мегаватовите блокове на АЕЦ «Козлодуй» през 1987 и 1988 година има стабилизиране на емисиите на CO₂. През последвалите години в България започва икономическа криза, която е в основата и на намаляването на емисиите на парникови газове. Дори и днес не е възможно да се надминат нивата от 1988 година и страната продължава да спазва изискванията на Конвенцията.

Както вече бе споменато, съществуват и погълтители на CO₂, каквито са горите, с които е покрита повече от 1/3 от територията на България и затова в таблицата има отрицателно число (т.е. не с вреден, а с благоприятен ефект фактор). Това положение е в резултат на сериозна кампания за залесяване в края на 50-те години на 20 век, както и на факта, че годишния прираст на горите чувствително надвишава дърводобива.

На следващо място по значение за страната ни е метанът с дял от около 8% от общите емисии. Основен източник са отпадъците и тяхното изгаряне, както и откритият въгледобив и преработката на нефт. Друг основен източник е животновъдството. Но относителният дял е сравнително по- малък от този в развитите страни.

Емисиите на N₂O не са много високи, а източниците са основно производството на азотна киселина и употребата на азотни торове.

Емисиите на азотни оксиди, неметанови изпаряемоорганични съединения (NMVOC) и въглероден оксид са предимно от транспорта, стационарно

изгаряне и изгаряне на селскостопански отпадъци., както и от употребата на разтворители.

Като извод можем да кажем, че делът на България в общите емисии на парникови газове е под средното ниво за развитите страни, но въпреки това се нарежда сред държавите с високо ниво на емисиите на глава от населението.

Освен Конвенцията от Рио де Жанейро, България е подписала още редица документи (пример за това е Протокола от Киото през 1997 година), свързани с общи инициативи на ООН и със законодателството на ЕС, на който е член от три години. Това доведе до изработване и приемане на редица нови закони. Пример за това е действащият „Закон за опазване на чистотата на атмосферния въздух“, както и множеството правилници, уреждащи функционирането му. Като забележка и пожелание може да се каже, обаче, че нивото на ангажираност на обществото ни към тези проблеми е ниско и трябва да се полагат още много усилия в тази насока.

Литература

[1] Рамкова конвенция на ООН за измененията на климата, Рио де Жанейро

[2] <http://www.moew.government.bg> – от страницата има достъп до всички документи и спогодби, които България е подписала и се е задължила да спазва

ВИДОВЕ МОНИТОРИ

Ивайло Христов и Илиян Иванов

Машиностроителен факултет, Технически университет - София, бул. Кл. Охридски 8,
1000, e-mail: ivorivo@mail.bg:

Резюме. Разгледани са най-популярните видове монитори, начинът им на функциониране и технология за получаване на изображения, както и основните цветови режими.

С настоящия доклад ще ви запознаем с разликите и приликите при цветните монитори. Техните предимства, недостатъци, начин на работа и функционалност. Също така смесване на цветовете а именно RGB и CMYK. Позабравените напоследък монитори с електронно лъчева тръба (CRT) и тези с течни кристали. Разбира се не на последно място и плазмените монитори

1. Смесване на цветовете RGB и CMYK

На екрана изображенията се показват чрез растр, т.е. правоъгълна матрица от пиксели. Всеки пиксел има свой собствен цвят. Първите използване за създаване на изображения монитори са черно-белите:

възможни цветове - черен и бял

заемана памет: 1 бит. Всеки бит е единица (1) или нула (0) и съответства на черно / бяло (може и на обратно). Ако малко си поиграете с побитови операции ще постигнете този минималистичен размер. Някои стари дисплеи (може и на телефони) имат само един цвят при тях един пиксел се кодира точно в един бит - пести се доста памет.

Полутонови - еквивалента на черно-белите телевизори. Има всички цветове между бялото и черното. Т.е. всички степени на сивото. Възможни цветове - всички степени на сивото

заемана памет: 1 байт. В един байт се кодират 255 различни нюанса на сивото

Цветни - възможни цветове – всички

заемат памет - 3 байта. Обикновено всеки цвят има 3 компоненти, като можем да смятаме, че 3те са от 0 до 255 и да ги кодираме в по един байт.

RGB - Най-известният начин за представяне на цвят е така нареченото RGB, съкратено от Red, Green, Blue. Трите компоненти, определящи даден цвят, са именно интензитетите на основните цветове. Този начин е най-широко разпространен.

СМΥΚ - 3те допълнителни цвята на RGB са Cyan, Magenta, Yellow (в приблизителен превод "светло синьо", "пурпурно" - нарича се и просто "магента", и "жълто"). В RGB те се получават така:

Cyan = Green + Blue

Magenta = Red + Blue

Yellow = Red + Green

Ако разсъждаваме в термините на RGB, черното обозначава липсата на всеки от трите основни цвята от RGB (т.е, ако трите цветни компонента - червена, зелена, синя - са нула, се получава черно, а ако са max - 255 или 1, зависи дали ги разполагаме в дискретния интервал [0, 255], или в реалния интервал [0, 1] - се получава бял).

Съществува цветова схема, в която циановото, магентата и жълтото, тези три допълнителни (за RGB) цвята са основни, а червеното, зеленото и синьото пък са допълнителни и се получават чрез смесването на първите три. Тази схема се нарича CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, Black).

CIELab – при този цветови режим за по-точна характеристика на цвета се въвежда и характеристиката яркост:

L*	яркост
a*	тоново отношение между червеното и зеленото
b*	тоново отношение между жълтото и синьото

HSV- Това представяне е най-известното в обработката на изображения. Компонентите му значат:

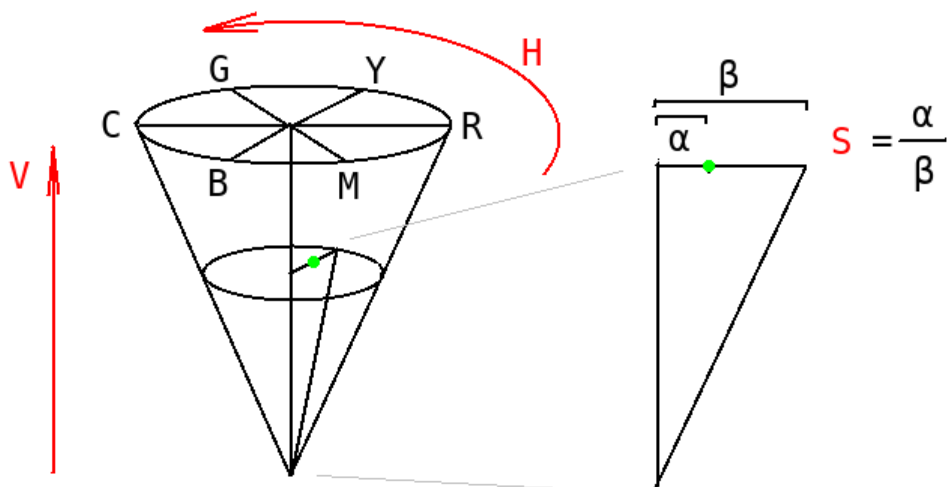
H	Hue	тон
S	Saturation	наситеност
V/B	Brightness Value	яркост

Последната буква понякога е V, понякога B. И двете отговарят за яркостта - няма разлика между самите модели. Изчисляването на H става по следния начин:

$$H = \arctg\left(\frac{a^*}{b^*}\right)$$

Това, разбира се, е спрямо предходния цветови модел.

В пространството може да се представи HSV като обърнат конус, в който сме разположили цветовете. H е ъгъл (има тригонометрична функция), V показва на какво разстояние сме от върха на конуса, S показва отношението между разстоянието от точката до височината на конуса и радиуса на сечението, перпендикулярно на основата през точката.



2. Монитори с електронно-лъчева тръба (CRT)

Основния компонент на CRT мониторите е електронно лъчевата тръба (ЕЛТ) или още наричана катодно лъчева тръба. От нея идва както името на тези монитори, така и големият им размер.

ЕЛТ служи за преобразуване на електрическия сигнал във видима светлина. За целта нагревателят нагрява катода и от него започват да се отделят електрони, които се ускоряват и фокусират от Анод1 и Анод2. Самото фокусиране се осъществява като се регулира напрежението на първия анод. Така се получава нашият електронен лъч. Следва промяна на неговата посока или от вертикални и хоризонтални пластини (както е на фигурата) или с помощта на магнитно поле. При използването на пластини вертикално отклоняващите определят на кой ред от екрана ще попадне лъчът, а хоризонтално отклоняващите – на коя колона. Ако се използва магнитно поле имаме два случая – с магнитна бобина или с постоянен магнит. Магнитната бобина променя посоката на лъча чрез промяна на своето напрежение, а постоянния магнит го прави чрез промяна на положението си. Използването на магнитно поле позволява отклоняване на лъча на по-голям ъгъл (до 110 – 120 градуса), а това от своя страна довежда до направата на по-къси тръби, заемащи по-малко място.

Вече си имаме ускорен, фокусиран и преместен електронен лъч. Щом говорим за цветен CRT монитор значи имаме три лъча – за трите основни цвята (RGB – Red, Green, Blue – Червен, Зелен, Син). Сега вече дойде време тези три лъча да „ударят“ вътрешната част на екрана. Но как се получават светлината и цветовете, които виждаме ние? С тази задача се заема луминофорът. При сблъсъка с електроните, с които го „бомбандираме“, той се засветява. За да се получи едно изображение трите лъча обхождат всички пиксели от екрана ред по ред. Този начин за изобразяване се нарича растерен (Raster Scan). Този процес на обхождане на целия екран (отгоре до доло ред по ред) на CRT монитора се извършва много бързо и незабележимо за човешкото око – зависимост от честотата на монитора (60Hz (херца) – 60 пъти (целия екран) в

секунда, 75Hz – 75 пъти в секунда и т.н.). Честотата или „refresh rate“ зависи пряко от резолюцията на монитора. При по-висока резолюция поддържаната честота намалява. Максималната поддържана резолюция на един CRT монитор се определя от физическия брой на пикселите които съдържа.

Предимства на CRT: неограничен ъгъл на видимост, липса на пикселни грешки, достигане на по-висок контраст, по-високо качество на цветовете, незабележимо време за реакция на пикселите, по-ниска цена.

Недостатъци на CRT: големи размери, голямо енергопотребление, използване на вредни за околната среда материали, трептене на образа, влияят се от магнитни полета, лоша геометрия.

3. Монитори с течни кристали

LCD технологията е съвсем различна от CRT и тук вече не се използва електронно лъчева тръба. Това довежда и до най-очевидната разлика между двете технологии – размерът на монитора. Точно поради малкият размер на течнокристалния дисплей е възможно той да се използва в редица електронни устройства, като например: дигитални часовници, преносими компютри, CD плейъри, MP3 плейъри, мобилни телефони и други.

Молекулите на течните кристали могат да се местят една спрямо друга и същевременно да запазят ориентацията си. Има различни състояния на течни кристали и едно от тях се нарича нематично (nematic). В такова състояние ориентацията им се определя от някакво външно въздействие – например магнитно поле или микроскопични набраздявания по повърхността на която се намират. Определен вид нематично състояние се нарича усукано нематично (Twisted Nematic – TN) и в това състояние течните кристали са поначало усукани. За да се изправят им се подава електрическо напрежение. Зависимост от това каква е стойността на това напрежение те се изправят до определен ъгъл. Това им свойство се използва в LCD екраните за пропускане на светлина. Използват се две стъклени плочи, които от едната страна имат поляризиращи филтри, а от другата са финно набраздени в посока съвпадаща с поляризиращите филтри. Филтрите пропускат само светлината, която е ориентирана успоредно на улеите им. От едната набраздена страна на едната плоча се нанасят течните кристали. Тогава молекулите на първия слой течни кристали (най-близкия до плочата) се ориентират по посока на набраздяванията (понеже имат такова свойство както казахме по-горе). След това се добавя втората стъклена плоча (така че кристалите да попаднат между двете плочи) и първия слой течни кристали който се допира до нея се ориентира по нейните набраздявания. Двете стъклени плочи са разположени така една спрямо друга, че направленията на улеите им да бъдат взаимно перпендикулярни. Така светлината минава през първия филтър после се обръща на 90° от течните кристали, става успоредна на втория филтър и минава през него. Когато се подава напрежение на кристалите (които са усукани) те се изправят до

определен ъгъл, който зависи от стойността на напрежението (това е другото им важно свойство споменато по-горе), а промяната на този ъгъл променя количеството светлина което се пропуска от кристалите. Когато те се изправят напълно светлината не може да премине през втория филтър. Зад тази конструкция от две стъклени плочи с поляризиращи филтри и течни кристали се разполага източник на светлина. Той е нужен понеже течните кристали не излъчват светлина а само я пропускат. За да се получи цветен монитор преди светлината да достигне до всеки един субпиксел тя преминава през цветен филтър – зелен, червен или син.

Крайният резултат е че единствено чрез промяна на напрежение ние регулираме колко светлина ще премине от източника на светлина до предната част на екрана.

Има основно два начина за подаване на това напрежение – чрез пасивна или активна матрица.

При пасивната се изгражда мрежа от прозрачни проводници които се намират от двете страни на течните кристали. От едната страна са колоните на мрежата, а от другата са редовете. Там където се пресичат една колона и един ред се намира един субпиксел. За да се подаде напрежение на тези течни кристали които отговарят за точно определен субпиксел трябва да се използва точно определен ред и колона. Всеки един ред и всяка една колона се управляват от по един транзистор. Пасивната матрица е по-лесен за изработка и по-евтин начин, но определено има недостатъци. Например е трудно да се изправят кристалите отговарящи само за един субпиксел, без да се засегнат съседните. Това води до загуба на контраст на едно изображение. Друг недостатък е високото време за реагиране, което се вижда на екрана като следа оставаща след бързо движещ се обект. Активната матрица (или TFT (Thin-Film Transistor) екраните) е по-усъвършенствана и елиминира някои недостатъци на пасивната матрица. Тук не се използва мрежа от проводници, а е интегриран транзистор при всеки един субпиксел. Този транзистор управлява само своя субпиксел и по този начин е премахната загубата на контраст, предизвикана от засягането на съседните субпиксели при пасивната матрица.

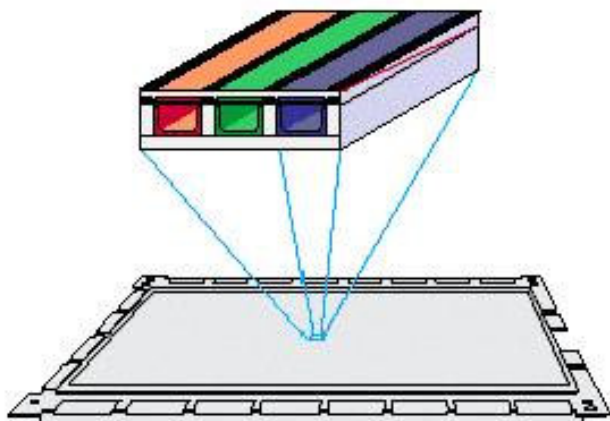
Предимства на LCD: малки размери и тегло, ниска консумация на ел. енергия, липса на вредни излъчвания, не се използват вредни вещества за направата им, липса на трептене на образа, не се влияят от магнитни полета, добра геометрия.

Недостатъци на LCD: ограничен ъгъл на видимост, възможност за поява на пикселни грешки, по-нисък контраст, по-ниско качество на цветовете, високо време за реагиране на пикселите.

4. Плазмени монитори

По същество PDP са екрани емитиращи светлина и използват фосфор, както и електроннолъчевите тръби. Те са изградени от пиксели, всеки от които се

състои от три суб-пиксела, съответно по един за всеки от основните три цвята R, G, B.



Принципът на работа на PDP се основава на фотолуминесцентния ефект на фосфора, а именно: когато фосфорът се облъчи с ултравиолетова (UV) светлина, той преминава във възбудено състояние, в което свети със съответната светлина червена, синя или зелена за съответния суб-пиксел. Суб-пикселите са разделени и образуват малки клетки, запълнени със смес от инертни газове аргон, неон и ксенон. Стените на клетките са покрити съответно с червен, син или зелен фосфор. Инертните газове затворени при ниско налягане имат свойството да излъчват ултравиолетова светлина при настъпване на електрически, газов разряд в тях. Когато се приложи достатъчно високо напрежение, в даден суб-пиксел газът се йонизира, т.е. преминава в плазмено състояние. При този процес се излъчват и фотони светлина, спектърът на която в случая е в ултравиолетовия обхват. Освободената UV светлина предизвиква светене на дадения суб-пиксел със съответния цвят на фосфора. За да се управлява и подава напрежение, към всеки суб-пиксел в PDP се използва пасивна матрица от електроди, които са отделени от клетките с диелектричен слой и в горната част на панела са направени от прозрачен материал.

Принципът на действие на плазмените дисплеи се състои в следното - всеки субпиксел е микроскопична флуоресцентна лампа, която излъчва само един от трите основни цвята. Чрез промяна на интензитета на светлината на субпикселите се постигат нюанси на възпроизвежданите цветове. При плазмените екрани се използва благороден газ (например аргон), затворен в определен обем. На всеки от краищата на това тяло има електроди, посредством които се подава високо напрежение (няколкостотин волта). Така газът преминава в плазмено състояние, т.е. налични са еднакъв брой свободни електрони и положителни йони. В резултат на приложеното напрежение се формира поток на електроните към положителния електрод и на йоните към отрицателния. При сблъскването на атомите последните получават енергия, благодарение на която електроните им преминават на по-високо енергийно ниво. При връщане към стандартните им орбити се отделят фотони или казано с

други думи — светлина. Така светлината е резултат от движението на плазмата под въздействието на силно електрическо поле. Тази светлина обаче не е видима, а е ултравиолетова, затова стените на телата, в които е затворена плазмата, се покриват със специален прах (фосфор), който реагира на ултравиолетови лъчи и на свой ред излъчва бяла светлина. В това отношение плазмените дисплеи до известна степен приличат на конвенционалните кинескопи.

Основното предизвикателство пред производителите на плазмени екрани е да създадат матрица от няколко милиона субпиксела, всеки от които има размери 200x200x100 микрона. На дисплей с резолюция 1280x780 пиксела има около три милиона субпиксела с шест милиона електрода, които да ги управляват. Разбира се, няма как да бъдат прекарани и шест милиона проводника, така че управлението се осъществява чрез хоризонтални и вертикални линии за всеки ред и колона от матрицата.

Едно от основните предимства на плазмените дисплеи в сравнение с LCD и CRT е възможността за изобразяване на по-широк цветен спектър. Друго качество на плазмите е големият им ъгъл на видимост, особено в сравнение с LCD технологията. Контрастът при плазмените екрани е на нивото на най-добрите CRT телевизори, защото при първите може да се постигне наситено черно — черните пиксели изобщо не излъчват светлина за разлика от аналогичния случай при LCD пикселите. Високата яркост също е една от силните страни на плазмите. Не на последно място, тези дисплеи могат да бъдат с много голям диагонал при запазване на малка дебелина.

Сред недостатъците на плазмените дисплеи са големите по размери пиксели — на практика е проблем да бъде постигнат размер, по-малък от 0,5-0,6 мм. Минималният размер на един такъв екран е 32" или 82 см и единственият начин за увеличаване на резолюцията е чрез увеличаване на диагонала. Освен това гледането на плазмен екран от сравнително близко разстояние не е препоръчително заради наличието на трептене, породено от начина на функциониране на самия дисплей. При определени обстоятелства плазмите могат да „прогарят“ подобно на CRT мониторите, на които дълго време е било показано едно и също изображение. Казано с други думи, тези дисплеи стареят с времето и имат относително малко (за момента) време на живот на пикселите — между 5 и 10 години при няколко часа на ден употреба и постепенно губят качествата си. Оптичните свойства на пикселите след този период се влошават и изображението става бледо и неконтрастно. Освен това поради използването на високо напрежение консумацията им е доста висока — от порядъка на 250W за 42-инчов модел.

5. OLED Монитори

OLED дисплеите имат много предимства пред конвенционалните дисплеи. Най-напред, производственият процес е опростен, а устройствата са по-тънки и

леки от продуктите с CRT (cathode ray tube) дисплеи. Освен това OLED дисплеите имат предимства и пред LCD продуктите – не се нуждаят от задно осветление и могат да бъдат гледани под различни ъгли. На последно място, този нов тип дисплеи намаляват консумацията на електричество.

За да подобрят яркостта на цветовете, производителите добавят различни комплексни молекули (полимери) към слоевете, които са базирани главно на карбон (въглерод). За разлика от LCD-тата, OLED дисплеите нямат нужда от допълнително осветление, защото те са „емитиращи“ дисплеи, т.е. излъчват собствена светлина, а не променят или отразяват чужда светлина. Тънки органични слоеве захранват OLED дисплея със светлина, което има някои значителни предимства пред конвенционалните технологии: по-ярка картина, неограничен ъгъл на гледане, ниска консумация на енергия, лесно производство, по-бързо време за реакция.

Органичните светоизпускащи дисплей се състоят от групи слоеве (дебели около 100 nm), които се поставят между катод и анод. По принцип за субстрат се ползва стъкло, покрито с прозрачен проводим оксид, като това служи за анод. Следва слой от органични пластове, състоящи се също от проводими материали, а накрая е неорганичен катод. Сред ключовите предимства на органичната луминисценция са: химическата променливост на светоизпускащите диоди, което позволява производството на всички цветове, включително и бяло; възможността да се използват изключително тънки и гъвкави субстрати за постигане на високо качество на картината и т.н.

В OLED технологията се различават 2 групи от материали. В първата влизат материали с ниско молекулно тегло, наричани small-molecule (SM) OLED. Такива дисплеи са представени за пръв път от доктор Чинг Танг в лабораториите на Kodak през 1987. Базираните на полимери OLED-и (PLED) са основани на дълги полимерни вериги.

Много електроуреди стоят на прага на технологична революция, започната още през 70-те година на 20 век, с откритието на полимерните проводници. Полимерните материали сега намират приложение и като проводници, и като полупроводници. Скъпите керамични полупроводници стоят в основата на технологичната революция през последните 50 години. Сега, обаче, новата технология може да доведе до появата на уреди, които до скоро са били считани за невъзможни. За кратко време органичните проводници бяха толкова развити, че вече имат проводимостта на металите като мед, например, а пък органичната технология може да бъде наблюдавана във фото-клетки, диоди, светодиоди, лазери и транзистори. Като резултат пластмасовите материали доста бързо изместват традиционните такива. Всичко това ни кара да очакваме, че OLED технологията много бързо ще намери приложение в компютрите, телевизорите, мобилните телефони, билбордите и т.н.

ОТНОСНО УНИВЕРСАЛНОСТТА НА ФИЗИЧЕСКИТЕ ЗАКОНИ

Емил Маринчев

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

Резюме. Тази работа представя опит за нов поглед върху основите на физиката и в частност на теорията на относителността. Представен е нов обобщен принцип за инерцията, като универсален принцип, базиран на универсалността на физическите закони. Направено е уточнение към принципа за максимално възможната скорост и допълнение към „парадокса на близнаците“. Направен е критичен анализ на основните положения на теорията на относителността и е предложен нов теоретичен подход. Направена е обосновка, подкрепена с примери от различни области на физиката: механика, термодинамика, електромагнетизъм, квантова механика и гравитация.

Ключови думи: универсалност, обобщен принцип за инерция, парадокс на близнаците, по-бързо от светлината, гравитация

1. Увод

Универсалността на физическите закони е валидността им навсякъде във вселената, независимо от време, място и движение.

Според Галилео Галилей [1, 2], **бащата на съвременната наука**, знанието трябва да се проверява с количествени експерименти и получените резултати да се описват математически. Галилео открива двата принципа: за инерцията и за относителността:



1. Обектите запазват скоростта си на движение, ако не са под силово въздействие.
2. Наблюдатели, движещи се с постоянна относителна скорост един спрямо друг, ще получат еднакви резултати за всички механични експерименти.

Галилей предполага, че планетите също се движат по инерция [3].

Сър Исак Нютон [4, 5] открива трите фундаментални закона на класическата механика, първият от които е принципът на Галилей за инерцията. В модела на Нютон времето и пространството са абсолютни.



1. Всяко тяло запазва състоянието си на покой или равномерно праволинейно движение, докато не бъде принудено да промени това си състояние под силово въздействие.

2. Скоростта на изменение на импулса на тялото е равна на оказаното силово въздействие $\mathbf{F}$, $d\mathbf{p}/dt = \mathbf{F}$.
3. На всяко действие винаги има равно по големина и противоположно насочено противодействие.

Тук вторият закон е представен в по-кратка форма.

Алберт Айнщайн [6, 7] ползва два постулата при построяването на **частната теория на относителността**, първият от които е **обобщение на принципа на Галилей за относителността**:

1. Всички закони на физиката имат еднакъв вид във всички инерциални отправни системи.
2. Скоростта на светлината във вакуум е еднаква във всички инерциални отправни системи.



В модела на Айнщайн времето и пространството по отделно не са абсолютни, но обединеното 4-мерно време-пространство е абсолютно.

Физиката описва геометрично движението на материята, т.е. на реалните физически обекти съпоставя геометрични обекти (модели). Каква геометрия ще се ползва зависи от разпределението на материята и нейното движение. При малки скорости се ползва евклидова геометрия. При скорости сравними със скоростта на светлината се ползва псевдоевклидова геометрия. Около обекти с голяма плътност на енергията и импулса се ползва псевдориманова геометрия. За количественото описание на физическите явления се ползват следните геометрични обекти - скалари, вектори (поливектори), диференциални форми, тензори и други. Тези геометрични обекти имат абсолютен характер. Те не зависят от избора на отправната система, но имат различно представяне в тях. Физическите закони са универсални и също имат абсолютен характер.

Описанието може да бъде кинематично или динамично (в частност статично). Съществува връзка между двете описания, т.к. описват различни аспекти на едно физическо явление. Кинематиката описва движенията с помощта на понятия като траектория, скорост, ускорение или графичното им представяне. Съществен момент от динамичното описание е ползването на запазващи се величини - импулс, момент на импулса, енергия и маса. При взаимодействие се обменя импулс, момент на импулса и енергия с или без обмен на маса (частици).

Ако една физическа система не взаимодейства с други външни обекти, то тя е затворена и е естествено движението ѝ да се описва със запазващи се величини. Идеята за затворена (изолирана) система е много полезна

абстракция, т.к. динамичното описание на движението е възможно най-простото.

Както е известно, Нютон гради своята механика на три принципа. Дали броят им не е в повече от необходимия? На първо място естествено е поставен най-значимият принцип, принципът за инерцията. Една от основните идеи на тази работа е да бъде представено едно подходящо и универсално обобщение на този принцип, независимо от ползваната геометрия, а останалите принципи да са логически следствия от него.

2а. Принципът на универсалността - обобщен принцип за инерцията [8]

Физическите обекти и системи запазват състоянието си на движение, ако не взаимодействат с други обекти (валидно и в изкривеното време-пространство).

Това свойство на запазване се нарича инерция и се определя от набор запазващи се величини (една от които е масата) - импулс $\mathbf{p}$, момент на импулса $\mathbf{L}$, енергия E и маса m .

Отправните системи, в които е изпълнен този принцип ще наричаме универсални. Обобщеният принцип за инерцията автоматично отчита и въртенето по инерция. Счита се, че инерцията се определя само със скаларната величина маса, една от запазващите се величини. В първия принцип на Нютон се казва, че се запазва състоянието на равномерно праволинейно движение, т.е. се запазва посоката на движение, което не би могло да се определя със скаларна величина. Движението по инерция е с постоянна стойност на запазващите се величини (1).

$$\mathbf{p} = \text{const}$$

$$\mathbf{L} = \text{const}$$

$$E = \text{const} \tag{1}$$

$$m = \text{const}$$

Универсалните отправни системи са реално обобщение на познатите инерциални системи, както в плоското така и в изкривеното време-пространство.

При взаимодействие се променя състоянието на движение с промяна на запазващите се величини. Скоростта на изменение на запазващите се величини определя количествено взаимодействието с околните тела, т.е. следните физически величини - сила $\mathbf{F}$, момент на сила $\mathbf{M}$, работа A и реактивна сила $\mathbf{F}_R$.

$$\begin{aligned}
 \dot{\mathbf{p}} &= \mathbf{F} \\
 \dot{\mathbf{L}} &= \mathbf{M} = \mathbf{r} \times \mathbf{F} \\
 \Delta E &= A \\
 \dot{m}\mathbf{u} &= \mathbf{F}_R
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

При обмяната на импулс между две тела едното отдава, а другото приема вследствие на което действието и противодействието са равни по големина и противоположни по посока. Според третия принцип конят и каруцата взаимно се теглят, но водещата роля на коня е очевидна. В динамиката водещи са законите за запазване, а не силите на взаимодействие.

26. Принципът за универсалната скорост – уточнение

Вторият постулат на Айнщайн може да бъде обобщен до следния универсален принцип:

Съществува максимално възможна универсална скорост обща за всички отправни системи $c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s ($c = 1$). Скоростта на електромагнитните вълни (светлината) във вакуум е равна на тази скорост.

Необходимо е малко, но съществено уточнение: вярно е само за външни наблюдатели. По-подробно ще бъде разгледано в 3.3.

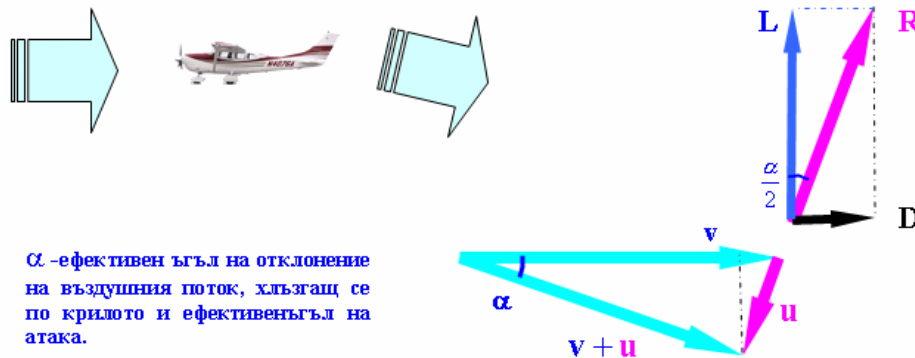
3. Примери

3.1 Не случайно първият принцип на термодинамиката е приложение на закона за запазване на енергията към термодинамичните системи, а явленията на пренос (вътрешното триене, топлопренасянето и дифузията) са свързани с обмен на импулс, енергия и частици на микрониво. Основното уравнение на молекулно кинетичната теория и следствията от него лесно се получават, ако се разгледа налягането като плътност на енергия за една степен на свобода i с едновременно отчитане на двупосочен обмен на импулс.

$$p = 2n\bar{\epsilon} / i = 2n\bar{\epsilon}_1 = nkT \quad \Rightarrow \quad \bar{\epsilon}_1 = \frac{1}{2}kT, \tag{3}$$

където n е броят на молекулите в единица обем, ϵ е енергия за една молекула, ϵ_1 - за една степен на свобода, k е Болцмановата константа и T е температура в К. Вторият принцип обобщава опитните факти: **топлинна енергия не може да се пренася самопроизволно от по-студено към по-топло тяло.**

3.2 Типичен пример за реактивна сила е възникването на пълната аеродинамична сила **R**, резултат от въздействието на присъединяващия се и отклонения импулсен поток (4).



$$\mathbf{R} = -\dot{m}\mathbf{v} + \dot{m}(\mathbf{v} + \mathbf{u}) = \dot{m}\mathbf{u} \quad (4)$$

Този подход дава възможност за по-добро изясняване на физиката на полета и обобщение на великата теорема на Жуковски-Кута за реален тримерен флуид [9]. Същият подход бе успешно приложен към обяснението на ефекта на Робинс-Магнус за реален флуид с и без откъсване на въздушен поток [10].

3.3 Прието е, че частната теория на относителността е построена върху два постулата. Но и в двата постулата се ползва понятието “инерциална отправна система”, определящо се от друг принцип – принципът за инерцията. Има само една принципна разлика между частната теория на относителността и нютоновата механика и тя е кинематична. Това е постулатът за постоянството на скоростта на светлината във вакуум – c . Скоростта е кинематично понятие и се определя в рамките на определена геометрия. Постоянството на скоростта на светлината във вакуум предопределя ползването на псевдоевклидова геометрия. Няма принципна разлика между динамиката на частната теория на относителността и нютоновата динамика. Принципът за инерцията е еднакъв и в двете. Вторият закон на Нютон ($d\vec{p}/dt = \vec{F}$) остава валиден и в частната теория на относителността, но е обобщен в четиримерен инвариант ($d\mathbf{p}/d\tau = \mathbf{F}$). В теорията на относителността законите за запазване са обединени в общ закон за запазване чрез четириектора на импулса **p**. Еквивалентността между енергията на покой и масата, $E_0 = mc^2$, е частен случай от по-обща еквивалентност между масата и големината на 4-вектора на импулса, $m = |\mathbf{p}|/c$ [6].

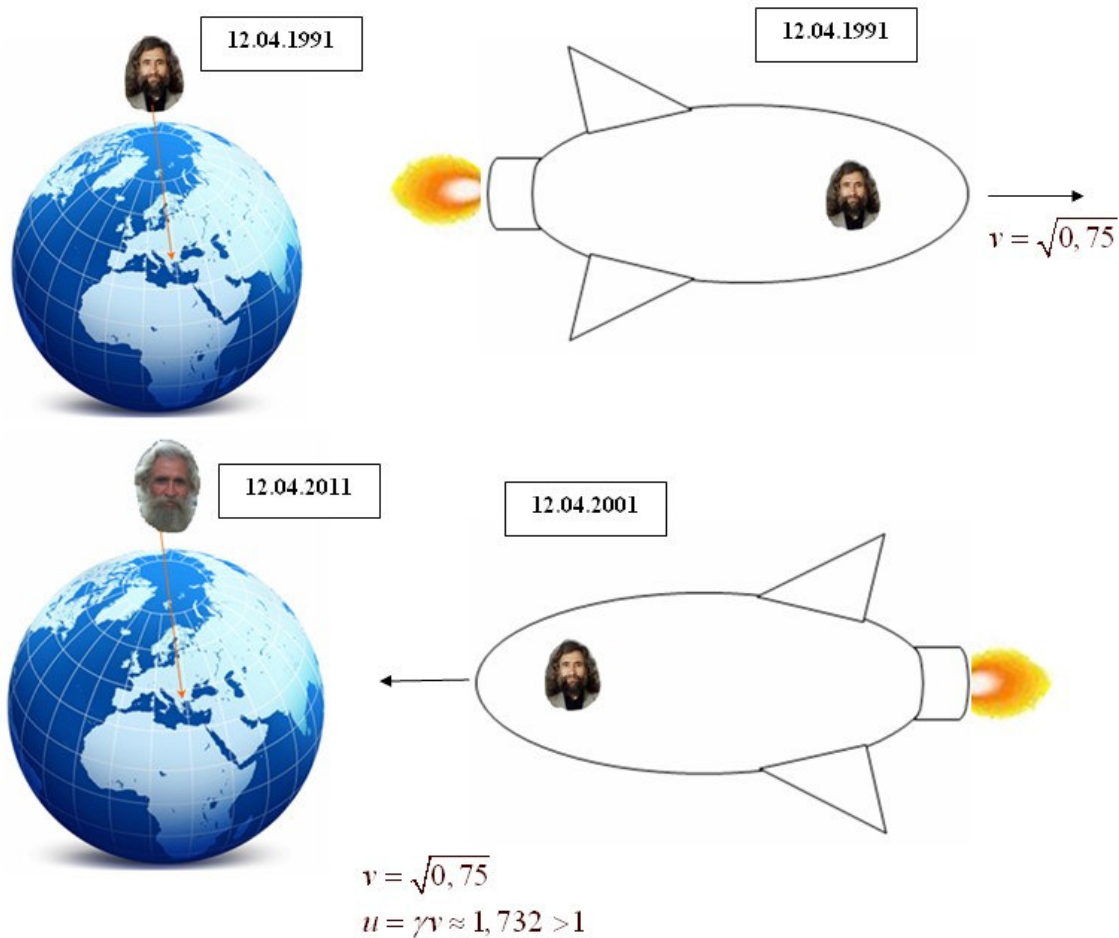
На първо място в частната и общата теория на относителността е поставен принципът за относителността, което навярно е и основната причина за наименованието им. От съвременна гледна точка построяването на тези теории може да бъде направено и без принципа за относителност, както е в нютоновата

механика. Принципът на универсалността дава тази възможност, т.к. съдържа в себе си принципа на относителността. Както бе посочено в 2б вторият постулат на Айнщайн може да бъде обобщен до следния универсален принцип:

Съществува максимално възможна универсална скорост обща за всички отправни системи $c = 3 \cdot 10^8$ m/s ($c = 1$). Скоростта на електромагнитните вълни (светлината) във вакуум е равна на тази скорост.

Необходимо е малко, но съществено уточнение: вярно е само за външни наблюдатели.

Във връзка с последното уточнение ще разгледаме отново “Парадокса на близнаците”.



Когато близнаците се съберат отново на земята ще установят разлика във остаряването си, т.е. разлика в изминалото време:

$$\Delta t = 20 \text{ г.} \quad \text{и} \quad \Delta \tau = \Delta t \sqrt{1 - v^2} = 10 \text{ г.}$$

Разстоянието изминато от космонавта е 2 пъти разстоянието до отдалечената планетна система – $2d$, еднакво и за двамата близнаци. Скоростта на космонавта е различна за двамата близнаци:

$$v = 2d / \Delta t = \sqrt{0,75} \quad \text{и} \quad u = 2d / \Delta \tau = v / \sqrt{1-v^2} = 1,732 > 1$$

Скоростта на близнака космонавт се получи по-голяма от максимално възможната, $c = 1$. Тази скорост не е локална, но е реална. В четиримерния формализъм на теорията на относителността отдавна се ползват скорости надвишаващи максимално възможната без да се прави необходимото обяснение. Това е така, т.к. четиримерният формализъм е създаден от Минковски две години по-късно от частната теория на относителността. 4-векторът на скоростта е векторна величина, а визираната скорост във втория постулат не е.

При връщането си на земята космонавтът, ще трябва да приеме времето на брат си, придвижвайки се в бъдещето без да остарява (в разгледания тук пример с 10 години).

Поради универсалността на законите за запазване и принципа за универсалната скорост е по-добре да се ползва понятието универсалност вместо относителност.

3.4 В електромагнетизма, скоростта на изменение на импулса на заредена частица q е резултат от обмен на импулс с електромагнитното поле определящ силата на Лоренц $\vec{F}_L$.

$$\begin{aligned} \dot{\vec{p}} &= \vec{F}_L = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \\ \dot{\mathbf{p}} &= (\nabla \mathbf{p}) \cdot \mathbf{u} = q \mathbf{F} \cdot \mathbf{u}, \end{aligned} \tag{6}$$

тук $\mathbf{F}$ е тензорът на електромагнитното поле.

Формулите (6) отразяват разбирането, че физическите обекти са носители на запазващи се величини, поради което ако един обект промени импулса/енергията си, то обезателно друг обект също ще промени импулса/енергията си. Полевите уравнения на Максвел обаче нямат директен смисъл на баланс на запазващи се величини, поради което е трудно директно да бъдат експериментално проверени: проверката е косвена посредством законите за запазване. Гласувайки адекватно уважение на законите за запазване и при записване на полевите уравнения, Стоил Донев успя да получи обобщение на Максвеловите уравнения, даващо едно по-пълно и по-реалистично описание на електромагнитните явления както в чисто полевия случай така и в среди [11, 12, 13].

3.5 В микросвета законите за запазване и принципът за универсалната скорост проявяват своята универсалност дори в по-голяма степен отколкото в макросвета, т.к. лесно се постигат скорости близки до скоростта на светлината. В микросвета материята се проявява и с друго свое универсално свойство – корпускулярно-вълновият дуализъм. Микрочастиците от даден вид са неразличими и тъждествени n -знаци. Точно в микросвета „парадоксът на близнаците” е проверен многократно и е експериментален факт. При тунелния ефект микрочастиците могат преодоляват бариерата за по-кратко време отколкото светлината и това трябва да се счита за експериментален факт за скорости по-големи от максимално възможната [14, 15, 16], а възможното обяснение е в 3.3.

3.6 Има принципна динамична разлика между общата теория на относителността и нютоновата механика. В 2а. бе посочено че, принципът за инерцията може да бъде обобщен: **физическите обекти и системи запазват състоянието си на движение, ако не взаимодействат с други обекти.** В общата теория на относителността вместо гравитационно взаимодействие се ползва изкривяване на време-пространството, т.е. липсва гравитационно взаимодействие в нютонов смисъл. Движението на космическите обекти се подчинява на законите за запазване и не е само по права линии, а в общия случай по екстремна линия:

$$\begin{aligned} \mathbf{p} &= (E, \vec{p}) = m\mathbf{u}, \quad m = |\mathbf{p}| = E_0, \quad |\mathbf{u}| = c = 1 \\ \dot{\mathbf{p}} &= \mathbf{F}, \quad \dot{\mathbf{p}} = (\nabla \mathbf{p}) \cdot \mathbf{u} = \nabla_{\mathbf{u}} \mathbf{p} = \frac{1}{2} \nabla \cdot (\mathbf{p} \mathbf{u}) = \nabla \cdot \mathbf{T} \\ \dot{\mathbf{p}} &= (\nabla \mathbf{p}) \cdot \mathbf{u} = \nabla_{\mathbf{u}} \mathbf{p} = \frac{1}{2} \nabla \cdot (\mathbf{p} \mathbf{u}) = 0, \quad \text{if } \mathbf{F} = \mathbf{0} \\ \nabla \mathbf{p} &= \nabla \otimes \mathbf{p}, \quad \mathbf{p} \mathbf{u} = \mathbf{p} \otimes \mathbf{u}, \end{aligned} \tag{5}$$

$\mathbf{T}$ е тензорът на плътността на енергията и импулса. Локално движението е праволинейно, а време-пространството плоско.

3.6' Универсалност и Гравитация: Време-пространството казва на материята как да се движи според законите за запазване (5).

$$\dot{\mathbf{p}} = (\nabla \mathbf{p}) \cdot \mathbf{u} = \nabla_{\mathbf{u}} \mathbf{p} = \frac{1}{2} \nabla \cdot (\mathbf{p} \mathbf{u}) = \nabla \cdot \mathbf{T} = 0, \quad \text{if } \mathbf{F} = \mathbf{0}$$

Между време-пространството и материята няма обмен на енергия-импулс, $\nabla \cdot \mathbf{T} = 0$. Ето защо промените във време-пространството трябва да се описват подобно на движението на материята със симетричен тензор от втори ранг и с ковариантна дивергенция равна на нула, например тензорът на Хилберт-Айнщайн- $\mathbf{G}$ (или в общия случай с допълнителен член включващ космологическата константа + Λg):

$$\nabla \cdot \mathbf{G} = \nabla \cdot (\mathbf{R} - \frac{1}{2} R \mathbf{g}) = \mathbf{0} = \nabla \cdot \mathbf{T} \Rightarrow$$

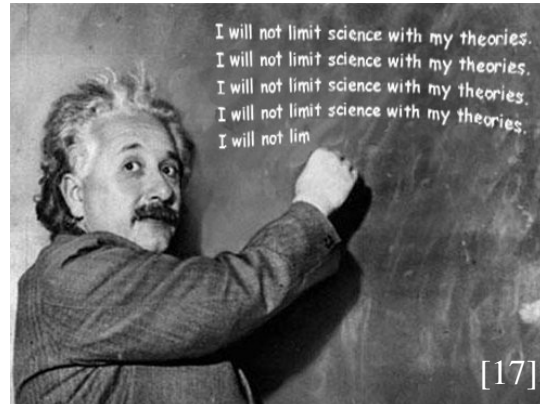
$$\mathbf{G} = \mathbf{R} - \frac{1}{2} R \mathbf{g} = k \mathbf{T}, \quad k = 8\pi\gamma, \quad (7)$$

където $\mathbf{T}$ е тензорът на плътността на потока на енергия-импулс. В теоретичната схема тук бе ползвано само едно единствено понятие за маса, $m = |\mathbf{p}|$, с автоматично включване на принципа за еквивалентност. Изкривяването на време-пространството, т.е. гравитацията, се определя от разпределението на материята и нейното движение, и само в статичния случай, при липса на други полета, от разпределението на масата $\mathbf{p} = (m, \mathbf{0})$, както е в нютоновата гравитация.

4. Заключение

Какво е постигнато?

1. Направен е исторически анализ на развитието и използването на принципите за инерцията и относителността.
- 2а. Обоснована е необходимостта от обобщение на принципа за инерцията и то е направено.
- 2б. Направено е уточнение към принципа за максимално възможната скорост и допълнение към „парадокса на близнаците”.
3. Дадени са примери от различни области на физиката.
4. Показано е с примери как по-лесно могат да се построят основните положения на частната и общата теория на относителността.
5. Тази статия е за хора със смели идеи и с кураж да ги реализират. Финансирането на проекти за овладяване на далечния космос е факт. Необходимостта да се преодоляват огромни разстояния и да се пътува във времето при овладяването на далечния космос е преодолима. Принципът за универсалната скорост не ни ограничава, т.к. максималната гранична скорост е граница на външните наблюдатели; за изследователите пътуващи с транспортното средство няма граница. Пространствената скорост в 4-вектора на скоростта $\vec{u} = \vec{v} / \sqrt{1-v^2}$ е скоростта, с която се преодолява пространството заедно с транспортното средство и която показва скоростомерът му.



Необходимото време за пътуване, за преодоляване на разстояние l е $\tau = \frac{l}{|\vec{u}|} = \frac{l}{v} \sqrt{1-v^2} = t \sqrt{1-v^2}$, т.е. има възможност да е доста по-малко от времето, което е изминало за хората останали на нашата планета. В последното изчисление бе ползвана пространствената част от 4-вектора на скоростта, която може да бъде и по-голяма от максимално възможната и да води до правилен резултат относно забавянето на времето.

Литература

- [1] Electronic representation of Galilei's notes on motion (MS. 72), http://www.mpiwg-berlin.mpg.de/Galileo_Prototype/MAIN.HTM
- [2] G. Galileo, 1632, *Dialogues concerning the two chief world systems*, trans. S. Drake, 2nd edition 1967, University of California Press
- [3] B. Yavorsky, A. Pinsky, Fundamentals of physics, p.30, Moscow (1987)
- [4] I. Newton, Mathematical principles of natural philosophy, New York (1846) <http://rack1.ul.cs.cmu.edu/is/newton>
- [5] I. Newton, Philosophiae naturalis principia mathematica (1687) (<http://members.tripod.com/~gravitee/definitions.htm>)
- [6] А. Эйнштейн, Собрание научных трудов в 4 т., Москва (1965)
- [7] A. Einstein, Elementary Derivation of the Equivalence of Mass and Energy, Bull. Amer. Math. Soc., **61**, N 4, 223-230 (1935)
- [8] E. Marinchev, Universality (2002) <http://adsabs.harvard.edu/abs/2002physics..11106M>
- [9] E. Marinchev, D. Geshev, I. Dimitrov, S. Donev, I. Nedyalkov, ON THE PHYSICS OF FLIGHT, <http://www.lulu.com/content/569164>
- [10] E. Marinchev, D. Geshev, I. Dimitrov, S. Donev, I. Nedyalkov; Robins – Magnus effect – an attempt for complete explanation; Canadian Aeronautics and Space Institute, AERO'09 Conference, Aerodynamics Symposium, ISBN 978-0-9781886-3-4 (2009)
- [11] S. Donev, M. Tashkova, Energy-momentum Directed Non linearization of Maxwell's Equations in the Case of Continuous Media, Proc. R. Soc. Lond. A, 443, 281-291 (1995)
- [12] S. Donev, Parallel Objects and Field Equations, LANL e-print: math-ph/0205046
- [13] S. Donev, M. Tashkova, From Maxwell Stresses to Photon-like Objects through Frobenius Curvature Geometrization of Local Physical Interaction, LANL e-print: math-ph/arXiv:0902.3924v2
- [14] T. E. Hartman, J. Appl. Phys. **33**, 3427 (1962)
- [15] W. Heitmann and G. Nimtz, Phys Lett **A196**, 154 (1994)
- [16] A. Enders and G. Nimtz, Phys Rev **E48**, 632 (1993)
- [17] http://www.geek.com/wp-content/uploads/2009/06/einstein_will_not_limit.jpg

ЕТЕР, ВАКУУМ И ТЕОРИЯ НА СТРУНИТЕ – ЗАБРАВЕНИ И НАЙ-НОВИ ТЕОРИИ

Валентина Танева Танева-Тончева

Департамент по приложна физика, Технически университет, бул. Кл. Охридски 8, 1000
София, e-mail: uraa@dir.bg

Резюме. Настоящата работа проследява еволюцията на идеята за етера като субстанция, запълваща пространството. Проследява се промяната и обогатяването на характеристиките на етера в исторически план. Споменават се опити на различни учени за експериментално изследване на етера. Обсъждат се доводи за и против идеята за етера. Насочва се вниманието към различни, заменящи термина „етер” понятия. Ретроспективно се проследява развитието и усложняването на физическите теории, за които е възможен паралел с теорията на етера. Поставя се въпрос за тъканта на Вселената като се разглеждат елементи от Теорията на струните и Стандартния модел.

Ключови думи: етер, физически вакуум, поле, поле на Дирак, поле на Хигс, Стандартен модел, Теория на струните, Суперсиметрия

1. Развитие на идеята за светоносния етер

През 1618 година Рене Декарт, на базата на наблюдението, че светлината преминава през пространства, незапълнени с материя, изказва хипотезата за съществуването на среда, разположена между телата и частиците на веществото. Той приписва на тази среда определени механични свойства – тя е с дискретна структура, а отделните нейни частици са в плътен контакт една с друга. Така в природата празни пространства няма.

Рене Декарт нарича тази среда *Светоносен етер*.

Взаимодействията между телата от разстояние се предават от етера, а движението на телата са резултат от движението на етерните частици.

Остава открит и неизяснен единствено въпросът – какво е етерът. Материя ли и ако е, защо не може да се открие видът ѝ? Какво представляват частиците на етера, от какво са изградени, могат ли да бъдат наблюдавани и изучени?

През 19 век етерът е много популярна, но вече обогатена идея – етерът е няколко вида, всеки с отделно предназначение – механичен, електромагнитен. Фарадей въвежда представата за *силовите линии* – електрични, магнитни, гравитационни – изпълващи пространството между частиците и между телата. Може би това е етерът?

Тогава за пръв път се чува понятието *поле*. Полето е нов вид материя, която не е изградена от вещество – молекули или атоми, но може да предава взаимодействията от разстояние. Дефинират се електрични, магнитни и гравитационни полета.

Максуел, в своята Теория на електромагнетизма, не се отказва от идеята за етера. Според него *Електродинамиката е Механика на етера*. Според него, отправна система, свързана с етера, става абсолютен критерий за състоянието на покой – *Абсолютна отправна система*. Спрямо такава система се определя и скоростта на светлината, измерена от Рьомер още през 1676 г. въз основа на наблюдение спътниците на Юпитер.

Неоспоримо остава твърдението, че ако има етер, той би се издавал по някакъв начин. В края на 19 век разработването на различни механични, в това число и хидродинамични, модели на етера достига своя апогей. Популярни стават както твърде квалифицирани теоретични работи, така също и различни, чисто качествени разсъждения. Концепцията за етера е толкова популярна, че дори експерименти, които я оборват (като експериментът на Майкелсон-Морли), са се поставяли с цел да изяви най-добрия от съществуващите модели, например – да се проясни въпроса за „увличането на етера“ от материалните тела, в частност от Земята.

През 1904 г. Д. И. Менделеев издава своя труд „Опит за химическа концепция на световния етер“, в който представя своите изследвания на силно разреждени газове. Щом етерът, запълващ междупланетното пространство, е средата, пренасяща светлината, топлината и гравитацията, при разреждането на газовете е възможно да се докаже съществуването на споменатата субстанция, тъй като тогава свойствата на обикновените вещества вече няма да припокриват свойствата на етера.

В началото на 20 век Поанкаре прави предположението, че електромагнитния етер е принципно неоткриваем, а механиката трябва така да се коригира, че да обезпечи тази неоткриваемост!!! (пълна реализация на Принципа на относителността). След него Айнщайн през 1905 г., при окончателното формулиране на СТО приема, че съществуването на етера не е доказуемо теоретично, тъй като няма физически способности да се отличи теорията, включваща в разглежданията си етер, от тази без него.

Години по-късно, след създаването на ОТО, Айнщайн изненадващо ще напише:

"... в теоретичната физика не можем да минем без етера, т.е. континуума, надарен с физически свойства, тъй като Общата теория на относителността ... изключва близкодействието; всяка теория за близкодействието предполага наличие на непрекъснати полета, а следователно, и съществуването на "етер". (Айнщайн А. «За етера»: 1924 г.)

Това възраждане на идеята за етера е свързано с влагането в нея на нов смисъл – става ясно, че *гравитационното поле* не просто е постулирано и съществува само по себе си, а трябва да има носител, който Айнщайн нарича *физически вакуум*. Аналогично - електромагнитното поле съществува не само

по себе си, а е свойство на определен носител и има механизъм за пораждање на електромагнитни вълни.

Въпреки че, с това си изказване Айнщайн дава нов живот на идеята за етера, болшинството физици от онова време предпочитат да не се връщат към изпразнения от съдържание термин. Още повече, че наблюденията и експериментите, проведени от поддръжниците на идеята за „светоносния етер”, не са внасяли нищо ново и различно в теорията.

Нещо повече – употребата на думата „етер” в сериозни научни трудове става ерес.

2. Модели на вакуума, или как да избегнем употребата на думата „етер”

2.1 Физически вакуум

Първият опит да се замени терминът „етер” с друг е, когато се установява, че математическите модели, свързани със СТО на Айнщайн, включващи или пренебрегващи наличието на етер в разглежданията си, не се отличават. Остава да виси само въпросът кой е носителът на гравитационните взаимодействия. По късно наричат този носител с термина „*Физически вакуум*” и той означава напълно лишено от вещество пространство. Но, в новосъздадената Квантова теория на полето се утвърждава, че, в съгласие с Принципа за неопределеността, във физическия вакуум постоянно се раждат и изчезват виртуални частици, наблюдават се така наречените „*нулеви колебания*”. Тези твърдения се доказват и експериментално – например флукуациите на атома, проявяващи се в ефекта на Казимир и отместването на атомните нива на Ламб, се обясняват само след признаване на нулевите колебания на електромагнитното поле във физическия вакуум.

Квантовата теория на веществото и квантовата електродинамика, разработени в по-ново време, както и разбирането на това, че веществото се отличава от електромагнитното поле много по-малко, отколкото се е смятало по-рано – позволява на телата да се гледа като на възбудено състояние на електромагнитното поле.

В някои конкретни теории, *физическият вакуум* притежава нетривиални топологични свойства, а в други – се въвеждат и няколко типа вакуум, различаващи се по плътността на енергията!!! Върху представата за съществуването на няколко типа вакуумни състояния се базира една от основните Инфлационни теории за Големия взрив.

2.2 Физическо поле

Според ОТО, *физическият вакуум* е абсолютно пуст. Тогава, възбуден атом, разположен в такава среда, ще е затворена система и не би трябвало да излъчва. В действителност, ние наблюдаваме такова спонтанно излъчване. Изводът е, че абсолютно празно пространство няма и не би могло да съществува. С каква субстанция тогава е запълнено то?

Избягвайки термина „етер“, отговаряме – със съвкупност от полета. Така идва новата разновидност в терминологията – „*физическо поле*“.

Със задачата да се развие идеята за пространство, запълнено от полева форма на материята, се заема Пол Дирак. През 1928 г. той представя теория, централно място в която заема Уравнението на Дирак - релятивистки-инвариантно уравнение на движението за биспинорно класическо поле на електрона, приложимо и за описанието и на други **точкови** фермиони.

$$\left(mc^2 \alpha_0 + c \sum_{j=1}^3 \alpha_j p_j \right) \Psi(\mathbf{x}, t) = i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t}(\mathbf{x}, t)$$

Тук m е маса в покой на електрона (или на друг фермион), c е скоростта на светлината във вакуум, $p_j = -i\hbar \partial_j$ са компонентите на оператора на импулса (по

x , y и z), където $\hbar = \frac{h}{2\pi}$, h - константата на Планк, $\mathbf{x} = (x, y, z)$ и t пространствени

координати и време, съответно, а $\Psi(\mathbf{x}, t)$ - четирикомпонентна комплексна вълнова функция (биспинор).

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ - са линейни оператори над пространството на биспинорите, които действат на вълновата функция. Тези оператори са подбрани така, че всяка двойка да антикомутира, а квадратът на всеки от тях да е равен на единица:

$$\alpha_i \alpha_j = -\alpha_j \alpha_i, \text{ където } i \neq j \text{ се менят от } 0 \text{ до } 3, \\ \alpha_i^2 = 1 \text{ за } i \text{ от } 0 \text{ до } 3.$$

От уравнението на Дирак следва, че електронът притежава собствен механичен момент – спин, равен на $\frac{\hbar}{2}$, също така – собствен магнитен момент,

равен на Магнетона на Бор $\frac{e\hbar}{2mc}$, който е открит експериментално през 1925 г.

Уравнението на Дирак дава по-точна формула за нивата на енергиите в атома на водорода (и водородоподобните атоми), включително финото разцепване на нивата, обяснява ефекта на Зееман. Въз основа на Уравнението на Дирак са изчислени вероятностите за разсейване на фотони от свободни електрони (ефект на Комптън), както и спиращото излъчване на електрона.

За свободен електрон уравнението на Дирак води до релятивистко съотношение между импулса (p), енергията ($\mathcal{E}$) и масата (m) на частицата:

$$\mathcal{E}^2 = m^2 c^4 + p^2 c^2 \text{ или } \mathcal{E} = \sqrt{m^2 c^4 + p^2 c^2}, \text{ откъдето за частица в покой } \mathcal{E} = \pm mc^2.$$

Характерна особеност на Уравнението на Дирак са онези негови решения, на които съответстват отрицателните стойности на енергията и отрицателната маса. В квантовата теория на полето състоянието на частица с отрицателна енергия се интерпретира като състояние на античастица, притежаваща положителна енергия, но с противоположен заряд. Уравнението на Дирак дава състояние на електрон с две възможности за спина $\pm \frac{1}{2}$ и на *антиелектрон* със същите стойности на спина. Такава частица действително бива открита през 1932 г. от К. Андерсън и е наречена „позитрон”. Преходът на електрона от състояние с отрицателна в състояние с положителна енергия или обратно се интерпретира като процес на образуване на двойка електрон-позитрон и „*анихилация*”, съответно. На вакуума вече се гледа не като на „празно пространство”, а като на „океан”, пълен с виртуални частици!

За да се опише взаимодействието на квантовото електронно поле с квантовото електромагнитно поле е нужна нова теория, наречена „Квантова електродинамика”. (1950 г.)

2.3 Поле на Хигс. Теория на Вайнберг-Салам – Стандартен модел.

Периодичната система на елементите на Менделеев цели да подреди и групира по един логичен начин химичните елементи според техните химични и физични свойства. Когато елементарните частици също стават повече, възниква идеята за тяхната подредба и групиране, а също така – и за обединяване теориите на взаимодействията в природата, издигната за пръв път от Алберт Айнщайн. Той нарича това обединение *Единна теория на полето*, а в наше време - *Теория на всичко*.

Теоретичното обединение на електромагнитното, слабото и силното взаимодействие се прави във Физиката на елементарните частици и не нарича *Стандартен модел*. Той не включва гравитационното взаимодействие като много по-слабо от другите три.

Стандартния модел съдържа следните предположения:

- веществото се състои от 12 фундаментални частици - фермиони: 6 лептона (електрон, мюон, тау-лептон и три вида неутрино) и 6 кварка (u, d, s, c, b, t), които могат да се обединят в три поколения фермиони.

- частиците, изграждащи веществото участват в електромагнитни, силни и слаби взаимодействия. Съществуват частици-носители на тези взаимодействия – фотон за електромагнитното, глюон за силното и три тежки частици W^+ , W^- , Z^0 за слабото взаимодействие. Частиците-носители са бозони.

- кварките участват в силни, слаби и електромагнитни взаимодействия; заредените лептони (електрон, мюон, тау-лептон) – в слаби и електромагнитни; неутрината – само в слаби взаимодействия.

- За разлика от електромагнитното и силното взаимодействие, слабото може да смесва фермиони от различни поколения, което води до нестабилност на всички частици, освен на най-леките, и до такива ефекти като нарушение на CP - инвариантността и неутринните осцилации.

Основно препятствие за развитието на теорията на електрослабото взаимодействие е фактът, че W и Z бозоните имат маса, докато фотонът няма такава. Според Калибровъчната теория бозоните не бива да притежават маса, по подобие на фотона. Единно обяснение на това противоречие между теория и експеримент дава *Механизмът на Хигс*, който въвежда *нова частица*, отговаряща за нарушението на симетрията и придаваща маса на W- и Z-бозоните. Тази частица - носител на *полето на Хиг* бива наречена Бозон на Хигс. От теорията следва също, че това поле може да съществува в няколко енергетични състояния, като основното състояние, съответстващо на физическия вакуум, е изродено, а вакуумът се разглежда като «*море от енергия*», от взаимодействието с което елементарните частици придобиват маса.

Стандартният модел има съществен недостатък – добро съвпадение на електромагнитното, слабото и силното взаимодействие има само при големи разстояния и големи енергии – над 100 GeV. При много близко разглеждане и при ниски енергии, обаче, тези взаимодействия са близки, но не съвпадат напълно.

До 2006 г., единствената предсказана от Стандартния модел, но неоткрита експериментално частица, е бозонът на Хигс. Очаква се от експериментите на Големия адронен колайдер да получим потвърждение за нейното съществуване. Очакват се също съобщения за регистриране на нови, неизвестни частици, на хипотетичния *магнитен монопол на Пол Дирак* и на множество отклонения от Стандартния модел.

3. Теория на струните

Друг проблем при създаването на Единната теория на полето или на Теорията на всичко е гравитационното взаимодействие. Според Квантовата механика всички елементарни частици са точкови, т.е. – безразмерни. За да се напише Единна теория на полето, която да обединява всички известни в природата взаимодействия и да присъедини гравитационното взаимодействие

за разстояния от порядъка на Планковата дължина $\sqrt{\frac{\gamma}{\hbar c}} \sim 10^{-35} \text{ m}$ (където $\hbar$ е

приведената константа на Планк, c - скоростта на светлината във вакуум и γ е Нютоновата гравитационна константа) е необходимо да се отчетат ефектите на

квантуването и на *гравитационното поле*, тъй като за тези малки разстояния гравитацията е сравнима с другите три взаимодействия. Теорията въвежда и носител на гравитационните взаимодействия – бозон със спин 2, наречен *гравитон*.

Въвеждането на кванта гравитационно взаимодействие е опит да се разшири Стандартния модел с добавянето на гравитона, но в областта на високите енергии (равни и надвишаващи енергията на Планк) теорията среща редица трудности. На решаването на този въпрос е посветена теория, наречена *Теория на струните*, която съчетава в себе си идеите и на *Квантовата механика*, и на *Теорията на относителността*.

Според Теорията на струните всички елементарни частици и техните фундаментални взаимодействия възникват в резултат на колебанията и взаимодействията на ултрамикроскопични *квантови струни* с размери от порядъка на Планковата дължина 10^{-35} m . Основен параметър на квантовата, както и на обикновената струна, е нейната *еластичност*. Еластичността ще се стреми да я свие до по-малък размер, на което ще се противопоставя основният принцип в квантовата механика – *Принципа за неопределеността на Хайзенберг*. Така се създава баланс между двете противоположни въздействия и квантовата струна *трепти*. Спектъра на квантовите струни съдържат само определени честоти (квантови амплитуди). Колкото по-голяма е честотата, толкова по-голяма енергия е натрупана в това колебание и в съответствие с формулата $E = mc^2$, толкова по-голяма ще е масата на частицата.

Благодарение на наличието на *размер* на квантовата струна се избягва проблема с възникването на безкрайно големи стойности на амплитудата при плътно сближаване на частиците, така наречения «*квантов кипнеж*» - в теорията на струните близко разположените струни се сливат в една струна.

Непротиворечиви и самосъгласувани квантови теории на струните са възможни само в пространство с голяма размерност (по-голяма от 4, като се вземе предвид и времето). Поради което, във физиката на струните стои открит въпросът за размерността на Пространство-времето.

Предполага се, че по-висшите размерности ще се проявят при взаимодействията между елементарните частици при много високи енергии.

След 1970 г. Струнните теории, основани на формулите на Габриел Венециано за адронните струни, стават реализуеми за размерности, по-големи от 4, но всички те предсказват съществуване на частица, наречена *тахсион*. Скоростта на тахиона превишава скоростта на светлината във вакуум и, това противоречи на закона за причинността, който се нарушава в микросвета. Решаването на въпроса с тахиона е всъщност Принцип за отстраняване на аномалиите в Теорията на струните.

Теорията, която обяснява фундаменталните взаимодействия, наречена *Бозонна теория*, се базира на процедурата за квантуване на действието на Поляков, според която струната може да вибрира по различен начин и всеки начин съответства на отделна елементарна частица. Масата на частицата се

определя от своеобразната честота (обертон), която се извлича от струната. С други думи, струната може да има «спектър» на масите.

Първоначалните модели включват два типа струни – отворени (имащи два свободни края) и затворени (бримки, примки, брънки – в зависимост от превода). Двата типа струни се държат по различен начин и генерират различни спектри.

Теорията на Бозонните струни има фундаментални несъвършенства, освен че е валидна единствено само за бозоните – т.е. тя обяснява само съществуващите преносители на взаимодействия. Изследванията за това, как да се включат и фермионите в спектъра на теорията на струните, е довело до понятието *Суперсиметрия* – теория за взаимовръзката между бозони и фермиони – между сили и материя. Това води до по-нататъшно усложняване на набора елементарни частици – въвеждат се техни частици-партньори, наречени *суперпартньори* със същата маса и електричен заряд. Например, електронът има суперпартньор, наречен *суперелектрон*.

И така стигаме до *Суперструнната революция*.

4. Суперструнна революция

Суперсиметрията е теория, която обединява не само съществуващите взаимодействия в природата, но и техните материални носители. Струните в тази нова теория са *суперструни*, а математичният апарат, използван за описване на симетрията между взаимодействията и частиците е известен като *теория на групите*.

В средата на 80-те години се доказва, че суперсиметрията, която е централно звено в теорията на струните, може да се включи в разглежданията не по един, а по пет различни начина. Това води до *пет* различни *Суперструнни теории*. В хода на развитието на *Суперструнната революция* тези теории се оказват тясно свързани, като се явяват гранични случаи на една единна 11-мерна фундаментална *М-теория*.

Най-интересното и интригуващо предсказание на Теорията на струните е явлението *Многомерна Вселена*. Според Бозонната теория измеренията трябва да са 26, но в суперструнните теории те са 11. *Времето* е с 1 измерение, а пространствените са 10 като са групирани по следния начин - една тройка пространствени координати е с дълги оси (x,y,z) представя обикновеното пространство, в което живеем. Другите две тройки са в компактифицирано състояние – навити сами върху себе си като се затварят във форми, наречени *Пространства на Калаби-Яу* с толкова малки размери, че стават неоткриваеми за експеримента. Десетото пространствено измерение се появява в теорията на Калуца-Клайн като Пето измерение още по времето, когато Айнщайн предполага, че Вселената е четиримерно *пространство-време*!

Тъй като, според СТО ние живеем в четиримерно пространство-време, остава открит въпроса защо допълнителните измерения се оказват навити и

ненаблюдаеми. В Теорията на струните има два механизма за обяснение на това явление:

- Първият е *Компактификацията* – във всяка точка на тримерното пространство (оформено от трите дълги оси) останалите 6 или 7 измерения се навиват сами върху себе си в 6-мерни *Пространства на Калаби-Яу*, с огромен брой възможни форми, някои от които водят до Стандартния модел. В тази теория не е нужна пренормировка на параметрите за съвпадение с експеримента, а цялата нискоенергетична физика напълно се определя от свойствата на изкривеното 6-мерно пространство.

- Вторият начин е *Локализацията*. При него допълнителните измерения не са така малки, а всички частици са „сенки” на многомерни обекти, локализирани върху четиримерния лист на нашата Вселена. Този четиримерен лист наричаме *Брана* и ние живеем върху него. Тъй като цялата ни техника е съставена от частици, които не могат да напуснат листа-брана, няма как да погледнем на Вселената отвън.

Единствената възможност да открием присъствието на допълнителните измерения е *Гравитацията*, защото според ОТО, тя се явява изкривяване на пространство-времето и не е локализирана върху Браната. Поради това, ако в наблюдавания свят осъществим процес, свързан с внезапно изчезване на енергия и импулс, това ще е доказателство, че дадена частица е напуснала Вселената, в която съществуваме.

След 2000 година се търси способ да се сведе 10-мерната Супеструнна теория към 4-мерната ефективна Теория на полето. Обаче, всеки от вариантите за редукция поражда свой 4-мерен свят, който може да напомня, а може и да не напомня нашия. Съвкупността от възможните реализации на нискоенергетичен свят от изходната Суперструнна теория се нарича *Теория на ландшафта*. Броят на вариантите е наистина огромен: минимум 10^{100} , но най-вероятно – около 10^{500} , но не е изключено и по-голямо число – 10^{1000} .

5. Струнна Космология

Космологията се занимава с едромасштабните структури във Вселената, с нейния произход и еволюция. Във връзка с това, интерес за Космологията е и историята и еволюцията на физичните закони. Свързването на Струнната теория с науката за Космоса в нова наука - *Струнната Космология* - дава простор за приложение на представите за Пространствата на Калаби-Яу за обясняване етапите в развитието на Вселената. Изводите на *Струнната космология* променят представите за структурата на Вселената непосредствено в момента на *Големия взрив*, за който Стандартният модел дава нулев начален размер. Струнната теория отменя фундаменталния принцип за геометрията на Пространство-времето, освен за големи мащаби и слаби взаимодействия.

Въпреки, че арената на действието в Теорията на струните е недостъпна за пряко експериментиране, редица косвени предсказания могат да се проверят

опитно. *Големият Адронен Колайдер* би могъл да даде отговори на редица въпроси, да открие някои нови частици. Експерименти по изучаване на гравитационното взаимодействие на разстояния от порядъка на 10^{-5} - $10^{-6}m$, търсенето на отклонения от закона за всеобщото привличане, на *гравитона* - частицата-носител на гравитационните взаимодействия и на микроскопични *черни дупки* ще даде ключов аргумент в полза на *Суперсиметрията*.

Някои варианти на *Теорията на струните* водят и до астрофизически предсказания. Космическите струни, D-струните или други струнни обекти, разтеглени до междугалактически размери, притежават силно гравитационно поле и могат да играят роля на *Гравитационни леци*. Движещи се струни трябва да създават гравитационни вълни, които биха могли да бъдат открити както в експерименти от типа на LIGO (Лазерна интерферометрична гравитационна обсерватория) и VIRGO, така и в известна нерегулярност на *Реликтовото лъчение*.

Друго интересно предсказание на Суперструнната теория е съществуването на *Тъмна материя*, която може да се открие само по изключително слабото взаимодействие с обикновената материя. Експерименталното доказателство за съществуването на тъмната материя ще обясни така наречената *скрита маса* във Вселената.

Теоретичната физика в наши дни се е усложнила до такава степен, че някои учени я наричат, с право, Математика. Въвеждат се многомерни пространства, решава се задачата за пробив на пространство-времевата тъкан.

Но! Няма теория, която да отговори на въпроса какво изгражда тази тъкан. Дали, все пак, да не се върнем към старото и така удобно понятие „етер“, вместо да измисляме все нови и нови думи от страх да не ни обвинят в научна ерес? Напоследък все по-често се изказва предположението, че включването на *Антропоморфния принцип* – т.е., че човекът съществува в такава Вселена, защото само в нея той може да съществува – ще е истински прогрес в Теорията.

Литература

- [1] Н. Иванчев, Ст. Петров, П. Паунов – „Физика“, София (1962)
- [2] Дорфман Яков – „История на физиката“, Т. 2, „Наука и изкуство“, София (1980)
- [3] М. Лауе, „История физики“
- [4] М. Грин, Теории суперструн в реальном мире, Успехи физических наук, декември, Том 150, № 4 (1986)
- [5] А. Поляков, Калибровочные поля и струны. - М.: ИТФ, -300 с (1995)
- [6] М. Chalmers, Stringscape // Physics World., Т. 20, № 9 (2007)
- [7] Б. Грин, Элегантная Вселенная. М.: Едиториал УРСС (2007)
- [8] М. Грин, Дж. Шварц, Э.Виттен, Теория суперструн, М.:Мир, Т.1,2 (1990)
- [9] А. В. Маршаков, Теория струн или теория поля? – Успехи физических наук, сентябрь, Том 172, № 9 (2002)

СЕВЕРНОТО СИЯНИЕ И ПОЛЯРИЗАЦИЯ НА СВЕТЛИНАТА

Магдалена Христова

Департамент по приложна физика, Технически Университет - София, бул. „Климент
Охридски 8, 1000 София, mchristo@tu-sofia.bg

Резюме. Северното сияние е оптичен феномен произтичащ в небето над полярните райони на Земята. Предизвиква се от взаимодействието на заредените частици от слънчевия вятър и земната атмосфера. Тук са представени експериментални и теоретични резултати от научната литература за излъчването на двете най-интензивни линии в термосферата $O\ I\ 630.0$ и $557.7\ nm$. Проследени са публикациите в литературата върху поляризацията на червената кислородна линия $O\ I\ 630.0\ nm$, които показват, че тя се дължи на ударите на възбудените кислородни атоми с насочени супратермични електрони от слънчевия вятър. Поляризацията на светлината е нова възможност за векторна диагностика, която би допринесла за нов начин на достигане и описване на космоса около планетите.

Ключови думи: Aurora Borealis, polarization, atomic processes, line profil, line formation

1. Увод

Северното сияние (Aurora Borealis) е зрелищно и вълнуващо както за наблюдаване така и за изучаване. Aurora Borealis – буквално преведено от латински означава “Зора на севера”. Така на научен език се наричат полярните сияния в северното полукукло. Полярното сияние е оптичен феномен, наблюдаван в небето над полярните райони на Земята, образуващо се в следствие на взаимодействието на заредени частици от слънчевия вятър с магнитосферата. Причина за удивително красивото природно явление е слънчевата активност [1]. Атмосферата на Слънцето е съставена най-вече от водород. От най-външния и най-разредения й слой непрекъснато се откъсват невидими частици (електрони и протони) и изтичат в Космоса. Този поток се нарича слънчев вятър. Част от него достига Земята и под действие на нейното магнитно поле, което е най-силно при полярните области, взаимодейства със земната атмосфера, предизвиквайки разноцветно светене на атмосферни газове. Важно свойство на слънчевата плазма е това, че в нея е вложено магнитното поле на Слънцето, което тя пренася през междупланетното пространство достигайки Земята. На всеки 11 години активността на Слънцето достига своя максимум и потокът на слънчевия вятър се засилва. В този период полярните сияния са много живописни. Осветлението и високите сгради в градовете пречат на наблюдението на това невероятно зрелище, затова най-добре е то да

се следи от незаселен район. Над канадския град Чърчил полярни сияния могат да се наблюдават около триста нощи в годината [2].

През 1954 г. полярното сияние било наблюдавано в България, във Варна. Много хора го възприели като отблясъци на огромен пожар. През 1941 г., по време на Втората световна война, полярно сияние в небето над Вашингтон предизвикало паника, тъй като жителите на американската столица го взели за начало на немско въздушно нападение. Известен е само един случай, когато полярното сияние е било наблюдавано на екватора. Дори на ширината на Москва (55.75 градуса с.г.ш.) полярните сияния се наблюдават веднъж на 10-15 години. Планетарната картина на развитие на полярната светлинна буря най-често е разделена на серии от интензивни избухвания, които започват близо до полунощ и продължават до 10 минути, с обща продължителност на серията от 30 минути до 1-2 часа – т.нар. суббури.

Изучаването на механизма и появата на Северното сияние допринася за изясняване на взаимодействията между Слънцето и Земята; изучаване на климата, на междупланетното магнитно поле (Венера и Марс – планети без собствено магнитно поле); спомага развитието на орбитографията (науката за определяне орбитите на сателитите). Очакванията от изследването на поляризацията на излъчените от Северното сияние линии са за нов начин за достигане и описване на космоса около планетите.

Спектралният анализ на светенето на атмосферата показва, че основният цвят на полярните сияния (жълтозеленият) съответства на дължина на вълната 557.7 nm. На интензивното червено светене в спектъра на полярното сияние съответстват дължини на вълните 630.0 nm и 636.3 nm. Тези лъчения принадлежат на атомите на кислорода, намиращи се в твърде разредените горни слоеве на атмосферата. В спектрите на полярните сияния е открито също така излъчване на молекулите на азота. То придава синия и виолетовия цвят на някои части от сиянията.

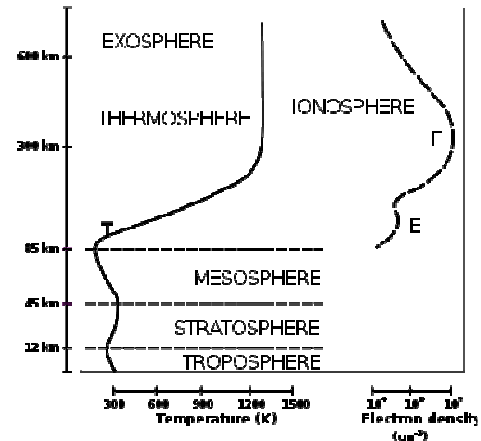
Тъй като целта на този доклад е да запознае публиката с научните изследвания в литературата [3-6] върху поляризацията на светлината от Северното сияние, то по-долу ще бъдат разгледани само такива, които имат отношение по въпроса, а именно свързани с измерване и моделиране на излъчването на кислородните линии O I 630.0 и 557.7 nm от видимия спектър.

2. Експериментални и теоретични резултати за излъчването на O I 630.0 и 557.7 nm

Още в класическата гръцка и римска литература има сведения за Северното полярно сияние. Системните научни наблюдения започват във втората половина на 19 век с работите на Е. Лумис (САЩ) и Х. Фриц (Австрия), 1860 – 1873. През 1869 А. Ангстрьом започва да изследва спектъра на сиянието. Системни изследвания започват и в Норвегия през XIX век, Лас Вегард –

Обсерватория в Тромсьо, Кристиан Бъркланд (1869) – теоретични разглеждания и Карл Штьормер (1874 – 1957).

От литературата е известно, че светенето на кислородните линии става в термосферата и долната част на йоносферата. Тези височини са достъпни за изследване чрез изкуствени спътници на Земята. Върху такъв спътник е монтирана апаратурата Wind Imaging Interferometer, WINDII. WINDII е конструиран и управляван съвместно от Canadian Space Agency and French Centre National d'Etudes Spaciales в сътрудничество с NASA. Чрез него се извършват измервания за вятъра и температурата в атмосферата като се използва Доплерова интерферометрия (интерферометър на Майкелсон). Измерват се екстремно малки отмествания на спектрални линии, породени от движението на въздушните маси. Също така се получават експериментални резултати за излъчването (volume emission rate – брой фотони в 1 обем за 1 време) в атмосферата и Северното сияние.



Научната организацията EISCAT European Incoherent Scatter Scientific Association дава друга възможност за изучаване на физиката на явленията във високата атмосфера. Тя обединява усилията на Норвегия, Швеция, Финландия, Япония, Китай, Великобритания и Германия за изследване взаимодействия между Слънцето и Земята. Три радарни системи, настроени на 224 MHz, 931 MHz в северна Скандинавия и една на 500 MHz в Сварбалд изпращат сигнали към йоносферата, които се разсейват от електроните в нея. Разсеяния инкохорентен сигнал позволява измерването на концентрация на електроните, йонна температура (енергия) и електронна температура (енергия). Движението на електроните в йоносферата се управлява от много по-бавните йони, промените в електронната концентрация са свързани с температурата на йоните и разпределението им.

Изучаването на физиката на полярните сияния, както и механизма за появата им изисква моделиране на атмосферата и процесите водещи до излъчване. От своя страна моделирането на излъчването се нуждае от числени стойности за концентрацията на заредените частици в атмосферата (електрони, йони), както и за тяхната температура (енергия). Едно такова комплексно разглеждане е обект на изследване в [3,4]. Новото в двете работи е това, че едновременно се използват експерименталните резултати от WINDII и EISCAT за численото моделиране на излъчването на кислородните линии в термосферата.

На фигурата по-долу са отразени измерванията на броя фотони в 1 обем за 1 време по височина. Те показват, че излъчването на червената линия е максимално на височина около 220 – 230 км, докато при зелената линия се

наблюдават два максимума: на около 180 – 200 км и на около 100 км.

WITASSE ET AL.: MODELING THE OI 630.0 AND 557.7 NM DAYGLOW

24,641

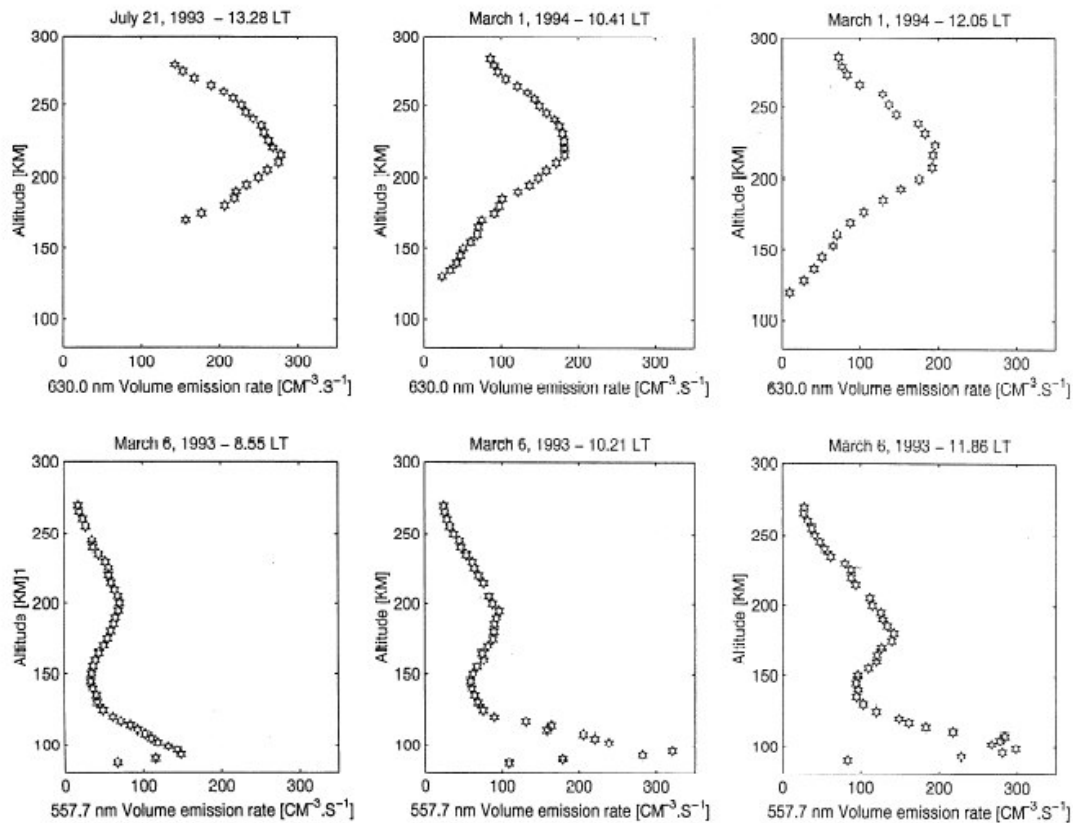


Figure 1. The (top) 630.0 nm and (bottom) 557.7 nm volume emission rates for the six specific dates.

За моделиране на излъчването е използван модела ТРАНСКАР. Чрез разглеждане на термосферата като флуид от начало се получават електронната концентрация и температура. Те са входни данни в кинетичния код от където се получават сечения и скоростни константи на отделните процеси и електронното нагряване. Те от своя страна влизат във флуидния код. В крайна сметка след голям брой итерации по зададени критерии се получава излъчения брой фотони в 1 обем за 1 време (volume emission rate). В таблицата по-долу са нанесени

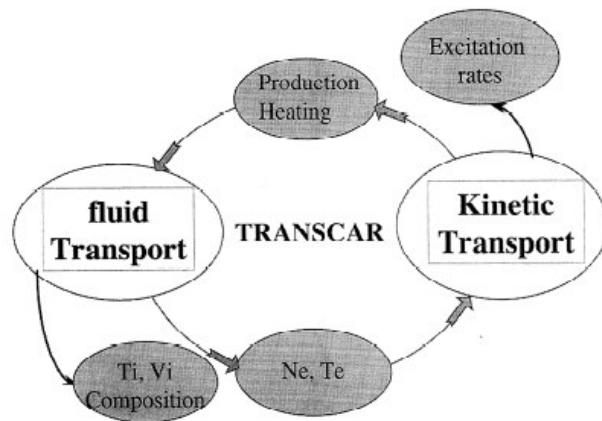


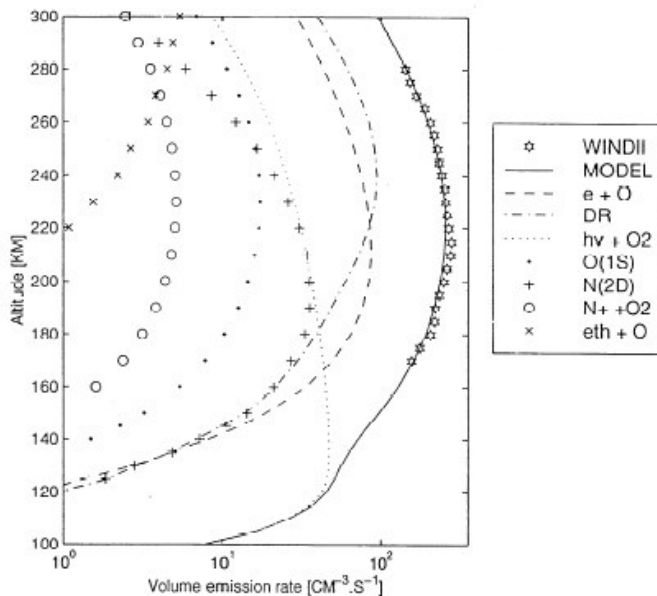
Figure 2. Synopsis of the TRANSCAR model.

процесите и реакции формиращи двете линии (кинетичен код), т. е. водещи до заселване и разселване на съответните възбудени нива на кислородния атом.

Table 2. Productions and Losses for $O(^1D)$ and $O(^1S)$

Reaction	Recommended Rate*	Reference
$O(^1D)$		
$O + e_{ph} \rightarrow O(^1D) + e_{ph}$	see text	
$O + e_{th} \rightarrow O(^1D) + e_{th}$	$k_2 = 0.596 T_e^{1/2} \frac{9329 + T_e}{(51183 + T_e)^3} \exp(-\frac{22756}{T_e})$	Mantas [1994]
$O_2^+ + e_{th} \rightarrow O + O(^1D)$	$k_3^{v=0} = 2.21 \times 10^{-7} (\frac{300}{T_e})^{0.46}$	Guberman [1988]
	$k_3^{v=1} = 1.82 \times 10^{-7} (\frac{300}{T_e})^{0.49}$	Guberman [1988]
$O_2 + h\nu \rightarrow O + O(^1D)$	see text	
$O(^1S) \rightarrow O(^1D) + h\nu(557.7 \text{ nm})$	see text	
$N(^2D) + O_2 \rightarrow NO + O(^1D)$	$k_6 = 5 \times 10^{-12}$	Torr et al. [1990]
$N^+ + O_2 \rightarrow NO^+ + O(^1D)$	$k_7 = 2 \times 10^{-10}$	Huntress and Anicich [1976]
$O(^1D)$ from $O_2^+ + e_{th}$	see text	
$O(^1D)$ from $N^+ + O_2$	$\beta_7 = 0.7$	Langford et al. [1986]
$O(^1D) + N_2 \rightarrow O + N_2$	$k_{N_2} = 2 \times 10^{-11} \exp(\frac{107.8}{T_e})$	Streit et al. [1976]
$O(^1D) + O_2 \rightarrow O + O_2$	$k_{O_2} = 2.9 \times 10^{-11} \exp(\frac{67.3}{T_e})$	Streit et al. [1976]
$O(^1D) + O \rightarrow O + O$	$k_O = (3.730 + 1.1965 \times 10^{-1} T_e^{0.5} - 6.5898 \times 10^{-4} T_e) \times 10^{-12}$	Sun and Dalgarno [1992]
$O(^1D) + e_{th} \rightarrow O + e_{th}$	$k_{e_{th}} = 6.6 \times 10^{-10}$	Sobral et al. [1992]
$O(^1D) \rightarrow O + h\nu(630.0 \text{ nm})$	$A_{630.0} = 7.1 \times 10^{-3}$	Froese-Fisher
$O(^1D) \rightarrow O + h\nu(636.4 \text{ nm})$	$A_{636.4} = 2.2 \times 10^{-3}$	and Saha [1983]
$O(^1S)$		
$O + e_{ph} \rightarrow O(^1S) + e_{ph}$	see text	
$O_2^+ + e_{th} \rightarrow O + O(^1S)$	$k_3^{v=0} = 8.1 \times 10^{-10} (\frac{1150}{T_e})^{-1.47}$	Guberman [1987]
	$k_3^{v=1} = 7.5 \times 10^{-9} (\frac{300}{T_e})^{5.34}$	
$N_2(A^3\Sigma_u^+) + O \rightarrow N_2 + O(^1S)$	$k_{2'} = 2.8 \times 10^{-11}$	Piper et al. [1981]
$O_2 + h\nu \rightarrow O + O(^1S)$	see text	
$O_2^+ + O \rightarrow O_2 + O(^1S)$	see text	McDade et al. [1986]
$N + O_2^+ \rightarrow NO^+ + O(^1S)$	$k_{6'} = 2.5 \times 10^{-11}$	Frederick et al. [1976]
$O(^1S)$ from $N_2(A) + O$	$\beta_{2'} = 0.36$	Singh et al. [1996a]
$O(^1S)$ from $O_2^+ + e_{th}$	see text	
$O(^1S) + O_2 \rightarrow O + O_2$	$k'_{O_2} = 4 \times 10^{-12} \exp(-\frac{862}{T_e})$	Slanger et al. [1972]
$O(^1S) + O \rightarrow O + O$	$k_O = 2 \times 10^{-14}$	Slanger and Black [1981]
$O(^1S) \rightarrow O + h\nu(557.7 \text{ nm})$	$A_{557.7} = 1.215$	Baluja
$O(^1S) \rightarrow O + h\nu(297.2 \text{ nm})$	$A_{297.2} = 0.076$	and Zeippen [1988]

* $\text{cm}^3 \text{ s}^{-1}$, s^{-1} or without units.



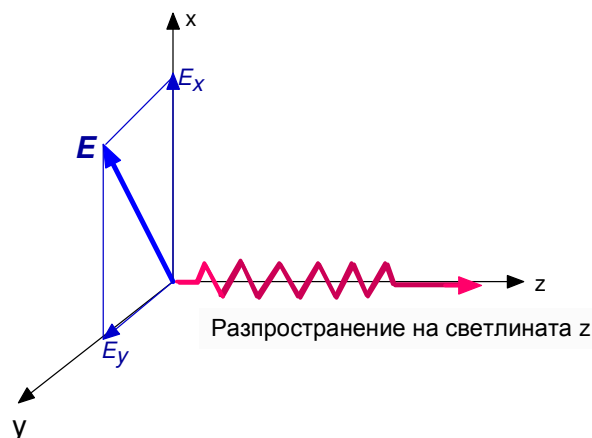
Сравнението на теоретичното (непрекъсната линия, MODEL) и експериментално излъчване (звездичка, WINDII) е показано на фигурата в ляво. Съгласието между тях в интересния интервал височини от 170 до 280 км е много добро.

Публикациите относно поляризацията на светлината от Северното сияние не са много и тяхната хронология [5] е следната. Изследванията

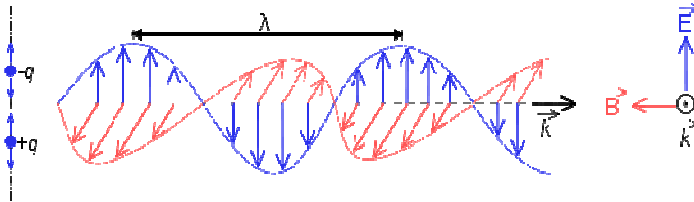
на Dufay (1929) показват частична поляризация. Работите на Хвостиков (1938) са първите върху поляризация на спектралните линии на О атом, а Гинзбург (1943) интерпретира за първи път механизма на поляризация като пише, че той е в резултат от взаимодействия с електрони. Първите измервания с цел изясняване на този въпрос са проведени през 1947 – 1950 от Bricart & Kastler и те не откриват поляризация на кислородните линии. По-късно през 1959 по повод международната година на геофизиката Duncan извършва експерименти и съобщава за 30 % степен на поляризация на червената кислородна линия. През 1999 Казанцев моделира същата линия от където следва 30 % степен на поляризация. Такива са и по-късните резултати от модела на Lilienstein & Blelly през 2002. Отсъствието на нови измервания, повече от 50 години, за поляризацията на кислородните линии провокира интереса на физици от Лабораторията по планетология в Гренобъл (Франция), Университета в Осло (Норвегия), Лабораторията по физико-химия в Орсей (Франция) и Университетския център в Сварбалд (Норвегия) [5,7].

Защо поляризация? От интензивността на една спектрална линия, излъчена или погълната от плазма можем да получим информация само за скаларни величини, характеризиращи плазмата: концентрации и температури на отделните компоненти [8]. Те от своя страна могат да послужат за моделиране на дадени обекти, техните спектри и атмосфери в астрофизиката. Например от Доплеровото отместване може да се определи компонентата на скоростта, върху линията на наблюдение, но тази информация е непълна. Моделирането на обектите в астрофизиката, атмосферата на Земята, климата и в частност Северното сияние се нуждае от намиране на векторни характеристики на плазмата: векторът на магнитното поле ($\partial \mathbf{B} / \partial t$ с $u = x, y, z$ са необходими), векторите на скоростите (снопове от частици) и др.

От гледна точка на класическата физика, съгласно която светлината е електромагнитна вълна, поляризацията на светлина се свързва с поведението на електричния вектор $\vec{E}$, който трепти в равнина перпендикулярна на



направлението на разпространение на вълната. Когато всички направления по които трепти $\vec{E}$ са равновероятни светлината е неполяризирана. Ако има преимуществени направления на трептене то светлината е поляризирана. Времовата еволюция на $\vec{E}$ в равнина перпендикулярна на разпространението на светлината показва вида на поляризацията: 1) при трептене по едно преимуществено направление светлината е линейно поляризирана (фигурата по долу); 2) ако трептенето на $\vec{E}$ описва елипса поляризацията е елиптична;



3) $\vec{E}$ описва кръг – кръгова поляризация. Разглеждането на поляризацията изисква избор на отправна система. Съгласно вълновата оптика електричният вектор на монохроматична вълна с честота ω зависи от времето по следния начин:

$$E(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} (E(t)e^{-i\omega t} + E^*(t)e^{+i\omega t}) \quad (1)$$

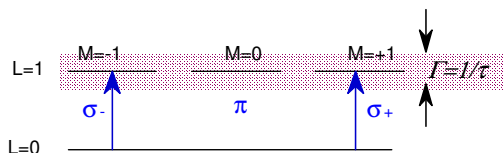
Един от начините за определяне на поляризацията е чрез параметрите на Стокс (I, Q, U, V) и матрицата на поляризация (Π), където

$$\begin{cases} I = \Pi_{xx} + \Pi_{yy} \\ Q = \Pi_{xx} - \Pi_{yy} \\ U = \Pi_{xy} + \Pi_{yx} \\ V = i(\Pi_{xy} - \Pi_{yx}) \end{cases} \quad \Pi = \begin{pmatrix} \langle E_x(t)E_x^*(t) \rangle & \langle E_x(t)E_y^*(t) \rangle \\ \langle E_y(t)E_x^*(t) \rangle & \langle E_y(t)E_y^*(t) \rangle \end{pmatrix}$$

I – интензивността на вълната (винаги положителна); Q – характеризира линейната поляризация и зависи от избора на x и y ; U – характеризира линейната поляризация и зависи от избора на x и y ; V – интензивността на кръговополяризираната вълна, може да бъде положителна и отрицателна величина в зависимост от посоката на въртене.

От гледна точка на квантовата механика поляризацията на светлината изглежда по следния начин. Светлината е съставена от фотони чийто спин е 1 (бозони). Двете собствени състояния на фотона са +1 (кръгова дясна поляризация) и -1 (кръгова лява поляризация). Състоянието на поляризация на фотона е линейна комбинация от двете собствени състояния, което позволява да се дефинират линейната и елиптична поляризация. Всеки отделен фотон е напълно поляризиран.

Нека разгледаме един възможен преход на атома от начално състояние с орбитално квантово число $L = 0$ в крайно състояние с $L = 1$. Възможните проекции на $L = 1$ по зададена ос на квантуване са $M = -1$; $M = 0$ и $M = +1$.



Когато насочена неполяризирана светлина (фотони с поляризация $-\sigma$ и $+\sigma$) падне върху атоми в начално състояние ($L = 0$) те се възбуждат и заселват поднивата $M = -1$ и $M = +1$ с еднаква вероятност. Поднивото $M = 0$

не е заселено. В този случай се казва, че поднивата са *aligned*. Възбудените поднива не се намират в локално термодинамично равновесие (не се подчиняват на закона на Болцман за разпределението на атомите по енергии). Такова заселване на поднивата се нарича атомна поляризация. Така възбудените атоми преизлъчват погълнатите фотони като излъчената светлина е линейно поляризирана. Матрицата на поляризацията на излъчването отразява матрицата на възбудените нива. За да се осъществи такава анизотропия на възбудените нива е необходимо насочено излъчване или поток от частици (най-често енергетични електрони или протони). Слънчевият вятър пренася насочени ускорени супратермични електрони (тяхната енергия надвишава многократно енергията на блуждаещите електрони в атмосферата, наречени термични) към Земята. Северното сияние е резултат от взаимодействията на тези насочени електрони с кислородните атоми в термосферата при което излъчената червена светлина е линейно поляризирана.

3. Резултати и обсъждане

Последната публикация в литературата, посветена на поляризацията на светлината в Северното сияние съобщава, че червената кислородна линия O I 630.0 nm е поляризирана. Резултатите показват, че това се дължи на ударите на възбудените кислородни атоми с ускорените електрони движещи се по дължината на магнитните силови линии. От измерванията се получават енергията на частиците, тяхната концентрация и направлението на магнитното поле.

4. Заключение

Измерването на поляризацията на светлината носи информация за атомната поляризация, чиято интерпретация води до нови възможности за векторна диагностика. Очакванията в това направление са за: *i*) индикация за промяната на концентрацията на частици в атмосферата, което играе важна роля за сателитите в орбита; *ii*) изучаване на междупланетното магнитно поле (Венера и Марс – планети без собствено магнитно поле); *iii*) нов начин за достигане и описване на космоса около планетите.

Литература

- [1] <http://www.geo.mtu.edu/weather/aurora/>
- [2] www.wikipedia.com
- [3] O. Witasse, J. Lilensten and C. Lathuillère, *J. of Geophys. Res.* **104** NO A11, 24,639—55 (1999)
- [4] F. Culot, C. Lathuillère, J. Lilensten and O. Witasse, *Annales Geophys.* **22** 1947—60 (2004)
- [5] J. Lilensten, C. Simon, M. Barthélemy, J. Moen, R. Thissen, and D. A. Lorentzen, *Space weather* **4** S11002 (2006)
- [6] P. S. Barklem, *Astron. & Astrophys.* **462** 781--8 (2007)
- [7] J. Lilensten, J. Moen, M. Barthélemy, *Geophys. Res. Letters* **35**, L08804 (2008)
- [8] S. Sahal-Bréchet, *New Astron. Rev.* **53** 231—9 (2009)

СЪОТНОШЕНИЕ „МАСА-ПЛЪТНОСТ” НА СГЪСТЯВАНИЯ В МОЛЕКУЛЯРНИ ОБЛАЦИ, ПОРОДЕНИ ОТ СВРЪХЗВУКОВА ТУРБУЛЕНТНОСТ

Сава Донков¹ и Тодор Велчев²

¹ Департамент по приложна физика, ТУ – София, e-mail: savadd@tu-sofia.bg

² Катедра “Астрономия”, Физически факултет, СУ “Св. Кл. Охридски”,
e-mail: eirene@phys.uni-sofia.bg

Резюме. Предположението за съотношение „маса-плътност” $n \propto m^x$ за сгъстявания в междувездната среда, от които могат да възникнат звезди, е изследвано с използване на три различни подхода. Те са основани на съотношения между различните типове енергии в сгъстяванията, изразени чрез емпирични уравнения, които са изведени от съвременни числени симулации. Получени са стойности на степенния показател $0 \leq x \leq 1$ и е направено кратко сравнение с различни възможни физични случаи и приложения.

Ключови думи: междувездна среда: физични свойства, молекулярни облаци; звезди: звездообразуване

1. Увод

Съвременните наблюдения на междувездната среда (ISM) показват, че звездообразуването в Галактиката протича в сгъстени области от молекулен водород H_2 , наречени *молекулярни облаци* (МС). Мащабите на МС варират в широките граници $L \sim 0.1 - 100 pc$, с типични стойности на температурата $T \sim 10 K$ и на газовата концентрация $n \sim 1 - 10^5 cm^{-3}$. Така характеристиките на младите звезди и разпределението им по маси са органично свързани с динамиката на ISM. При пренебрежими макроскопични потоци, звездите възникват от гравитационно неустойчиви сгъстявания, като единствено противодействие оказва топлинното налягане P . Критичната маса на такива сгъстявания е масата на Джинс $M_J \propto T^{\frac{3}{2}} n^{-\frac{1}{2}}$, с характерен радиус на неустойчив сферичен облак дължината на Джинс $R_J \propto T^{\frac{1}{2}} n^{-\frac{1}{2}}$. Наблюдения и числени симулации от 80-те години насам обаче показват, че в ISM е налице и свръхзвукова турбулентност [1, 2, 3], която съществено променя цялостната картина.

Според съвременната парадигма сгъстяванията в МС, които евентуално могат да претърпят гравитационен колапс, възникват под действието на ударни вълни, генерирани от свръхзвукови турбулентни потоци [4, 5, 6, 7]. С други думи, турбулентната фрагментация на средата води до образуване на нетрайни

газови структури и субструктури в МС, чиято маса може да превиши локалната маса на Джинс. Понастоящем няма стройна количествена теория, описваща турбулентността (субзвукова или свръхзвукова). Класическата теория K41 на Колмогоров и Обухов е основана на предположение за несвиваемост $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ и субзвукови скорости. Тя предполага съществуването на междинен (инерционен) интервал от пространствени скали, много по-малки от основния размер на облака и много по-големи от дисипативния мащаб. В инерционния интервал турбулентността е хомогенна, изотропна и в статистическо равновесие [8]. Два основни резултата от теорията са законът за скалиране на турбулентните флуктуации на скоростта δu и спектърът на кинетичната енергия.

Отличителни черти на турбулентността в ISM са свиваемост и свръхзвуковост на потоците, водеща до ударни вълни и резки флуктуации в плътността. От друга страна, йерархията от скали и каскадата на кинетичната енергия по тях, предсказана в K41, се запазват и в този случай, макар и с други скалиращи съотношения. Наблюдателно потвърждение са откритите от Larson степенни зависимости на δu и средната концентрация $\langle n \rangle$ от характерния размер L на газовата структура [1]:

$$\delta u \propto L^\alpha \quad (1.1)$$

$$\langle n \rangle \propto L^\beta \quad (1.2)$$

Използваните в настоящата работа стойности $\alpha = 0.48$, $\beta = -0.44$ са заимствани от съвременни числени симулации [6]. Сложната мрежа от взаимодействащи си ударни фронтове поражда многообразие от структури с относителни концентрации $n/\langle n \rangle$ в много широк интервал. (За типичен размер на родителски облак от $L = 4pc \Rightarrow n/\langle n \rangle \sim 10^{-3} - 10^3$) Надеждно установен факт от числени симулации е, че вероятностното разпределение (PDF) на величината $n/\langle n \rangle$ се апроксимира добре с логнормална функция [9, 10, 11] – ако $z \equiv n/\langle n \rangle$, то:

$$P(\ln z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot \exp\left(-\frac{(\ln z - \overline{\ln z})^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1.3)$$

Също от числени симулации са установени връзките:

$$\overline{\ln z} = -\frac{1}{2} \cdot \sigma^2 \quad (1.4)$$

$$\sigma^2 = \ln(1 + b^2 \cdot M_s^2), \quad (1.5)$$

където b е параметър, описващ внасянето на турбулентна енергия в ISM, $M_s = \frac{\delta u}{c_s}$ е числото на Мах, а c_s е скоростта на звука, с типична стойност в МС $\sim 200m/s = 0.2km/s$ (за $T \sim 10K$). Представителна стойност за скоростта на потока

е средната стойност на турбулентните флуктуации на скоростта в средата δu , тъй като средната скорост $\langle \vec{u} \rangle$ на потока е нула.

Гравитацията играе ключова роля за еволюцията на газовите структури в МС. Естествено е да се очаква съотношение „маса – плътност“, което би задавало физичната връзка между газови структури и протозвезди. Настоящата работа е опит за теоретична обосновка на съотношение от степенен вид $n \propto m^x$, където показателят x зависи по сложен начин от физичните параметри на средата.

2. Теоретична обосновка на съотношението „маса – плътност“: различни подходи

Ние нормираме отношението „маса – плътност“ във вида:

$$\frac{n}{n_0} = \left(\frac{m}{m_0} \right)^x \quad (2.1)$$

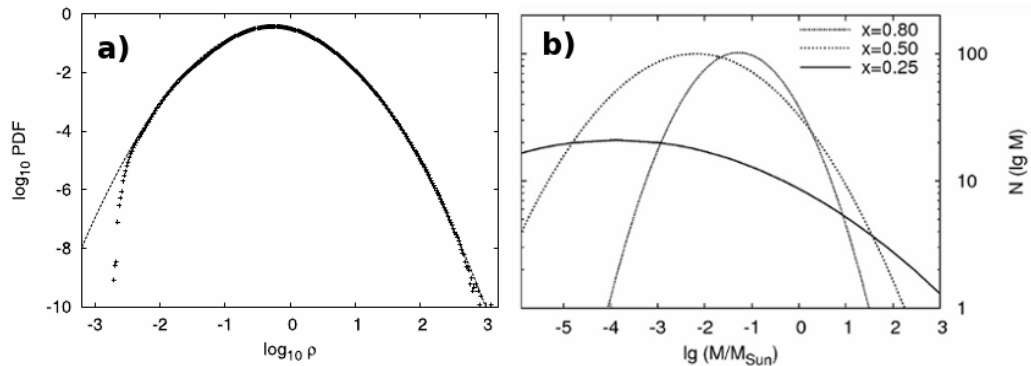
като n_0 и m_0 по принцип са свободни параметри. Поради очевидната връзка между маса, размер и плътност на пространствен обект, уравнението (2.1) определя и съотношение „размер – плътност“ от типа:

$$\frac{n}{n_0} = \left(\frac{l}{l_0} \right)^{\frac{3x}{1-x}} \quad (2.2)$$

Системата (2.1) и (2.2) обуславя взаимозависимост между нормировъчните параметри n_0 , m_0 и l_0 . Ние правим естествения избор от физична гледна точка $n_0 \equiv \langle n \rangle$. (С оглед на (1.2), това предполага зависимост от скалата.) Тогава задаването на един от параметрите m_0 или l_0 определя другия.

Чрез заместване (2.1) в (1.3) PDF на плътността се преобразува в PDF по маси, а положението на максимума и дисперсията се скалират с фактор $(1/x)$:

$$\ln \left(\frac{m}{m_0} \right) = \frac{1}{x} \cdot \ln \left(\frac{n}{n_0} \right), \quad \overline{\ln \left(\frac{m}{m_0} \right)} = \frac{1}{x} \cdot \overline{\ln \left(\frac{n}{n_0} \right)}, \quad \sigma_m = \frac{\sigma}{|x|} \quad (2.3)$$



Фиг. 1 а) Типична PDF на плътността от числени симулации [6]; б) PDF на масата, получени от PDF на плътността за $L = 4pc$, при различни стойности на x и при скалиране на δu и $\langle n \rangle$ по Larson ((1.1) и (1.2)).

Видът на тези функции е показан на фиг. 1. От (1.1) и (1.5) следва, че σ зависи съществено от скалата, а при σ_m се прибавя и зависимост от x . При размери на родителския облак $L = 4pc$, масите на сгъстяванията с плътност, съществено над средната, варират в диапазон от няколко порядъка (фиг. 1b).

И трите подхода, които използваме за определяне на степения показател x , се основават на съотношения между гравитационната, кинетичната, вътрешната и магнитната енергии на сгъстяванията в МС.

2.1 Теорема на вириала и равновесност на енергиите

Енергетичният баланс на обект от ISM с произволна форма се определя от теоремата на вириала [12], която се извежда от уравнението на Навие-Стокс, умножено скалярно с радиус-вектора спрямо локална отправна система и после интегрирано по обема V . В Ойлерови координати теоремата се записва:

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{d^2 I_E}{dt^2} = 2 \cdot (E_{th} + E_k - \tau_{th} - \tau_k) + E_{mag} + \tau_{mag} + W - \frac{1}{2} \cdot \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.4)$$

където $I_E = \int_V \rho \cdot r^2 dV$ е инерчният момент на обекта. Обемните членове са:

$$E_{th} = \frac{3}{2} \cdot \int_V P dV \text{ (вътрешна енергия); } E_k = \frac{1}{2} \cdot \int_V \rho \cdot u^2 dV \text{ (кинетична енергия; в обекта и}$$

в ISM полето на скоростта съвпада с полето на турбулентните й флуктуации:

$$u \equiv \delta u); E_{mag} = \frac{1}{2} \cdot \int_V B^2 dV \text{ (магнитна енергия). Повърхностните членове за тези}$$

енергии съответно са $\tau_{th} = \frac{1}{2} \cdot \oint_S \vec{r} \cdot (P \cdot \vec{n}) dS$, $\tau_k = \frac{1}{2} \cdot \oint_S \vec{r} \cdot \rho \cdot \vec{u} \otimes \vec{u} \cdot \vec{n} dS$ и

$$\tau_{mag} = \oint_S \vec{r} \cdot \hat{T} \cdot \vec{n} dS, \text{ а } \hat{T} = \vec{B} \otimes \vec{B} - \frac{1}{2} \cdot B^2 \cdot \hat{I} \text{ е тензорът на напреженията на Максвел (} \hat{I}$$

е единичният тензор). Гравитационната енергия на обекта

$$W = - \int_V \rho \cdot \vec{r} \cdot \text{grad}(\varphi) dV = E_g + E_{ext} \text{ се състои от енергията на самогравитация } E_g \text{ и от}$$

енергията E_{ext} , дължаща се на полето, създавано от околната среда. Последният

$$\text{член } \Phi = \oint_S \rho \cdot r^2 \cdot \vec{u} \cdot \vec{n} dS \text{ е потокът на инерчния момент през границата на обема и}$$

няма да фигурира при използване на Лагранжеви координати.

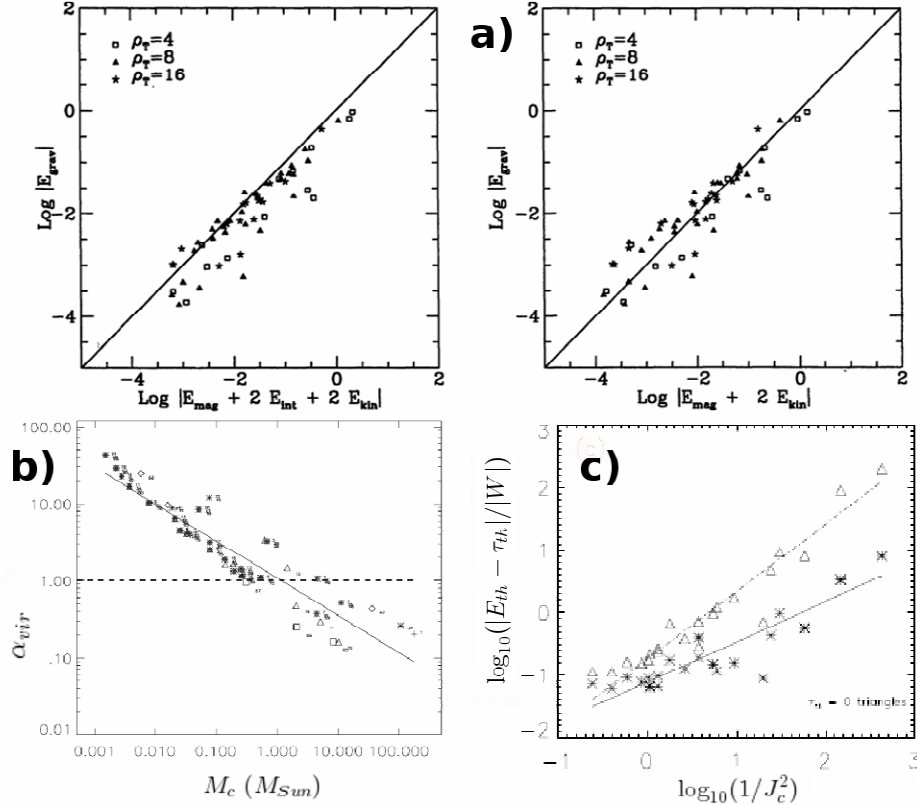
Уравнение (2.4) предоставя критерий за вириализация на разглежданото сгъстяване: когато дясната страна се нулира, обектът е във вириално равновесие - инерчният му момент се изменя с постоянна скорост. Нашето изследване *не* изисква обектите да са вириализирали – достатъчно е да са налице съотношения между различните енергии. Използваме резултати от съвременни числени симулации на хидродинамична (HD) и магнитохидродинамична (MHD) турбулентност.

На фиг. 2а са показани приблизителните съотношения:

$$|W| = 2 \cdot (E_k + E_{th} - \tau_{th}) + E_{mag} \quad (2.5)$$

$$|W| = 2.E_k + E_{mag}, \quad (2.6)$$

получени в [13] за МС със средна плътност над някаква гранична стойност. Това са статистически равенства, изпълнени за типичен представител на изследваните обекти. При сравнение на (2.5) с фиг. 2а (вляво) се вижда, че членът τ_{th} не е отчетен – според авторите, отчитането му би довело до изпълнение на равенството.



Фиг. 2 Използвани подходи за оценка на показателя x : а) равнодяловост на енергиите по [13] (горни панели); б) вириален параметър и маса на сгъстяването [15]; с) число на Джинс и съотношение между топлинна и потенциална енергии [16].

За простота ние предполагаме, че сгъстяванията са сферично симетрични и средата в тях е хомогенна и изотропна. С индекс “ L ” обозначаваме величините, отнасящи се за родителския облак, а с индекс “ c ” - за средностатистическото сгъстяване. За гравитационната потенциална енергия имаме:

$$|W| = z_c \cdot \frac{3}{5} \cdot G \cdot \frac{m_c}{l_c} \cdot \rho_c \quad (2.7)$$

където $\rho_c = \bar{\mu} n_c$ е масовата плътност на сгъстяването (при средна маса на частиците $\bar{\mu} \approx 4.10^{-24} \text{ g}$ в МС), G е гравитационната константа, m_c и l_c са съответно масата и радиусът на сгъстяването, а коефициентът z_c отчита гравитационното въздействие на околната среда. Съгласно [14] z_c може да приема стойности 1 (нулево), 1.5 (средно) и 2 (силно влияние на родителския

облак); при нашите пресмятания се приема стойност $z_c = 1.5$. От (2.1) и (2.2) следва:

$$m_c = m_0 \cdot \left(\frac{\rho_c}{\rho_0} \right)^{\frac{1}{x}} ; \quad l_c = l_0 \cdot \left(\frac{\rho_c}{\rho_0} \right)^{\frac{(1-x)}{3 \cdot x}}, \quad (2.8)$$

с естествена връзка между нормировъчните коефициенти $m_0 = (4/3) \cdot \pi \cdot \rho_0 \cdot l_0^3$.

Кинетичната енергия на сгъстяването е функция на турбулентната скорост δu_c в него, която може да се изрази чрез турбулентната скорост δu_L в целия облак с използване на следния инвариант за средата [6]:

$$\varepsilon' \equiv \rho_l \cdot \frac{\delta u_l^3}{l} = \rho_L \cdot \frac{\delta u_L^3}{L} = \rho_c \cdot \frac{\delta u_c^3}{l_c} = \text{inv}(l) \quad (2.9)$$

Така от (2.2) и (2.9) получаваме:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot \rho_c \cdot \delta u_c^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho_0 \cdot \delta u_L^2 \cdot \left(\frac{l_0}{L} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{\rho_c}{\rho_0} \right)^{\frac{(2+x)}{9 \cdot x}} \quad (2.10)$$

Обемният и повърхностният членове за вътрешната енергия изглеждат така:

$$2(E_{th} - \tau_{th}) = 3 \cdot \rho_0 \cdot \left(\left(\frac{\rho_c}{\rho} \right) - 1 \right) \cdot \frac{R \cdot T}{M}, \quad (2.11)$$

където $\overline{M} = 2.4 \text{ g/mol}$ е средната моларна маса на газа. За магнитната енергия приемаме, че $E_{mag} = 2 \cdot E_k$ (съгласно числените оценки, направени в [13]). След заместване на изразите (2.7)-(2.11) в (2.5) и (2.6), стигаме до уравнения за x :

$$FT_E(x) = z_c \cdot \frac{4}{5} \cdot G \cdot \pi \cdot \rho_0 \cdot l_0^2 \cdot \left(\frac{\rho_c}{\rho_0} \right)^{\frac{(4 \cdot x + 2)}{3 \cdot x}} - 2 \cdot \delta u_L^2 \cdot \left(\frac{l_0}{L} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{\rho_c}{\rho_0} \right)^{\frac{(2+x)}{9 \cdot x}} - 3 \cdot \left(\left(\frac{\rho_c}{\rho_0} \right) - 1 \right) \cdot \frac{R \cdot T}{M} = 0 \quad (2.12)$$

$$F_E(x) = z_c \cdot \frac{4}{5} \cdot G \cdot \pi \cdot \rho_0 \cdot l_0^2 \cdot \left(\frac{\rho_c}{\rho_0} \right)^{\frac{(4 \cdot x + 2)}{3 \cdot x}} - 2 \cdot \delta u_L^2 \cdot \left(\frac{l_0}{L} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{\rho_c}{\rho_0} \right)^{\frac{(2+x)}{9 \cdot x}} = 0 \quad (2.13)$$

Уравненията са показателни; (2.12) няма точно решение, но (2.13) има. Нормировката ρ_0 пресмятаме от n_0 , докато за l_0 няма естествен избор. Тя може да се определи по два начина:

а) като процент от размера на родителския облак

$$l_0 = k \cdot L ; \quad (2.14)$$

б) чрез съпоставяне на сумарния обем на всички сгъстявания с този на родителския облак. Посредством (2.2) се извежда формулата:

$$l_0 = L \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{N_0}} \cdot \exp \left(\sigma^2 \cdot \frac{(1-x)(2 \cdot x - 1)}{6 \cdot x^2} \right) \quad (2.15)$$

където σ^2 е стандартното отклонение (1.3), а N_0 е броят на всички сгъстявания от PDF, разделен на броя обеми на облака, които те могат да запълнят. В зависимост от използваната нормировка l_0 , получаваме два варианта на (2.12) и (2.13). За средностатистическата плътност на типично сгъстяване използваме оценката $\rho_c / \rho_0 \approx 5 = \exp(1.609)$ [13].

2.2 Вириален параметър и маса на сгъстяването

Този подход се основава също на емпирично уравнение, получено от числени симулации [15]. Въвежда се т. нар. *вириален параметър*

$$\alpha_{vir} \equiv \frac{5 \cdot \delta u_{1c} \cdot l_c}{G \cdot m_c}, \quad (2.16)$$

където δu_{1c} е средна квадратична стойност на турбулентните флуктуации на скоростта в сгъстяването по една от осите на тримерното пространство. При предположение за изотропна турбулентност в сгъстяванията [15] е в сила:

$$\delta u_{1c}^2 = \frac{\delta u_c^2}{3} + c_s^2 \approx \frac{\delta u_c^2}{3} \quad (2.17)$$

Вириалният параметър представлява отношение на $E_k + E_{th}$ към $|W|$ (като е отчетена единствено самогравитацията) в сгъстяванията и дава прост критерий за гравитационната им свързаност – при $\alpha_{vir} \leq 1$ те са гравитационно свързани. В цитираната работа е получено емпиричното уравнение:

$$\alpha_{vir} = \left(\frac{m_c}{m_{sun}} \right)^\chi \quad (2.18)$$

където m_{sun} е масата на Слънцето, а $\chi = -0.48 \dots -0.72$ в зависимост от силата на магнитното поле в МС. Чрез замествания и преобразувания в (2.18) от (2.8), (2.9), (2.16) и (2.17), получаваме уравнение за показателя χ :

$$F_A(x) = \left(\frac{4}{3} \cdot \pi \right)^{\chi+1} \cdot G \cdot \frac{\rho_0^{\chi+1} \cdot l_0^{3\chi+2}}{m_{sun}^\chi} \cdot \left(\frac{\rho_c}{\rho_0} \right)^{\frac{\chi+1}{x}} - \frac{5}{3} \cdot \delta u_L^2 \cdot \left(\frac{l_0}{L} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{\rho_c}{\rho_0} \right)^{\frac{5-11 \cdot x}{9 \cdot x}} = 0 \quad (2.19)$$

Уравнението има точно решение. По подобие на предния ни подход, можем да използваме два негови варианта, в зависимост от начина на пресмятане на нормировката l_0 : (2.14) или (2.15). Оценка за средната плътност са типичното сгъстяване получаваме като интегрираме и осредняваме по PDF на плътността в граници: $7.5 \leq \frac{\rho_c}{\rho_0} \leq 100$ [15].

2.3 Число на Джинс

Ключова роля в този подход играе т. нар. *число на Джинс*, дефинирано като отношение между линейния размер на сгъстяването и дължината на Джинс:

$$J_c \equiv \frac{l_c}{R_J} \quad (2.20)$$

От числени симулации на [16] е получена емпиричната зависимост (обозначена с плътна линия на фиг. 2с):

$$\frac{(E_{th} - \tau_{th})}{|W|} = 10^{-1.10 \pm 0.07} \cdot \left(\frac{1}{J_c^2} \right)^{0.64 \pm 0.05} \quad (2.21)$$

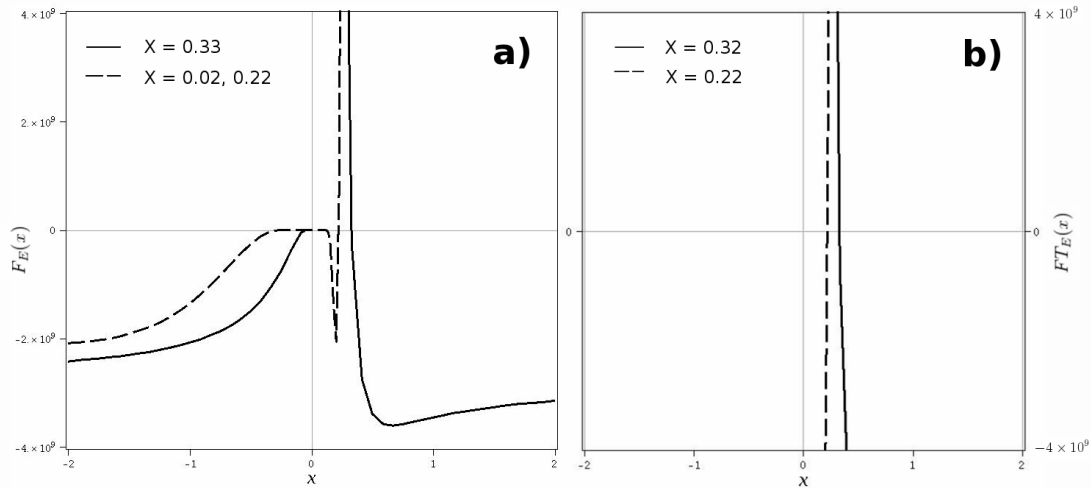
След заместване на (2.20) в (2.21) и пресмятане на гравитационната (2.7) и вътрешната енергии (2.11), с използване на (2.8), се получава уравнение за показателя χ :

$$F_J(x) = \frac{5 \cdot \left(\frac{\rho_c}{\rho_0} - 1 \right) \cdot c_s^{2 \cdot (1-\gamma)}}{\frac{4}{3} \cdot \pi^{1+\gamma} \cdot G^{1-\gamma} \cdot \rho_0^{1-\gamma} \cdot l_0^{2 \cdot (1-\gamma)}} - A \cdot \left(\frac{\rho_c}{\rho_0} \right)^{\frac{(4-\gamma) \cdot x + 2 \cdot (1-\gamma)}{3 \cdot x}} = 0 \quad (2.22)$$

където $A = 10^{-1.10 \pm 0.07}$, а $\gamma = 0.64 \pm 0.05$. Отново можем да използваме два варианта на уравнението, в зависимост от начина на пресмятане на нормировката l_0 : (2.14) или (2.15).). Оценка за средната плътност са типичното съгъстяване получаваме като интегрираме и осредняваме по PDF на плътността в граници: $7.5 \leq \frac{\rho_c}{\rho_0} \leq 100$ [16].

3. Резултати и обсъждане

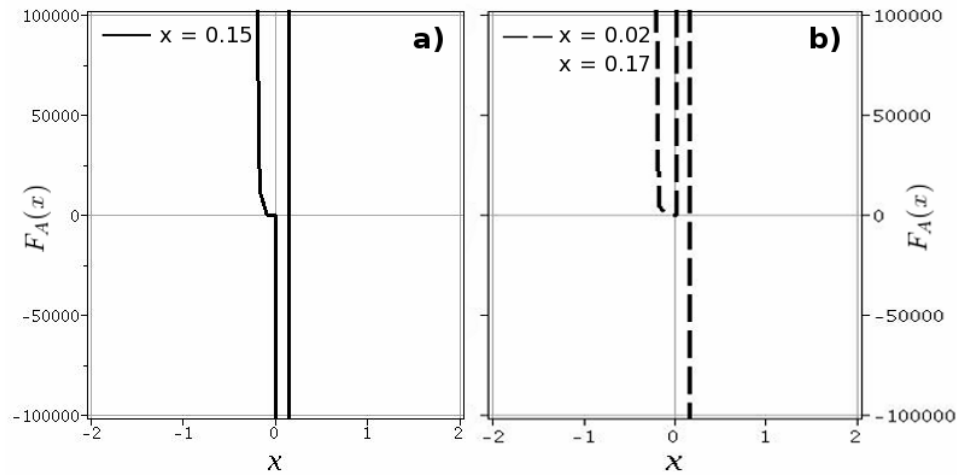
Резултатите от прилагането на трите подхода за пресмятане на показателя x са онагледени на фиг. 3-5. На практика във всички случаи уравненията имат корен в интервала $0.15 \leq x \leq 0.5$, чиято стойност е устойчива при вариране на свободни параметри като: размера на родителския облак L , параметрите за пресмятане на нормировката l_0 (k и N_0), коефициента z_c , отчитащ гравитационното влияние на родителския облак, показателя χ (при подхода 2.2). При задаване на l_0 чрез N_0 понякога има и втори корен. От фиг. 3-5 се вижда, че той варира в по-широки граници, между 0 и 1, а в някои случаи (които не сме онагледили) може да стане съществено по-голям от единица.



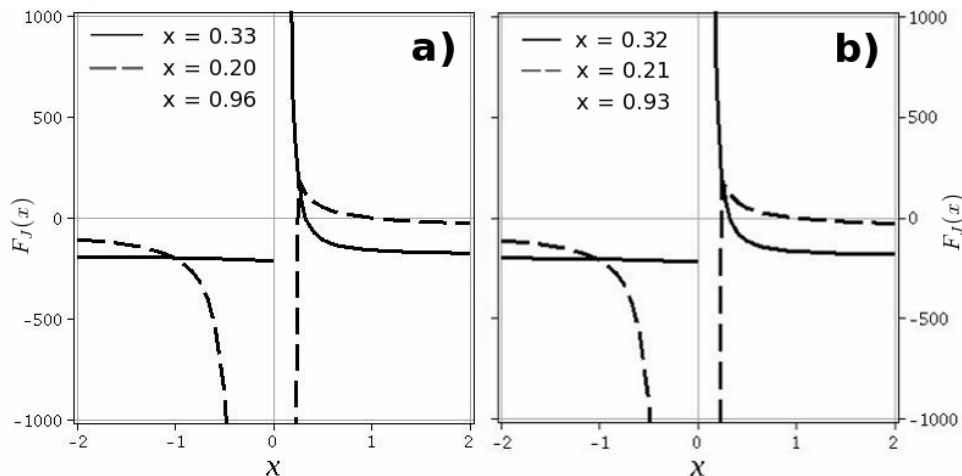
Фиг. 3 Резултати за показателя x от съображения за равновесие на енергиите (подход 2.1), с пресмятане на нормировката l_0 чрез параметъра k (плътна линия) или чрез N_0 (пунктир): а) без отчитане на топлинната енергия; б) със отчитане на топлинната енергия. Избраните стойности на свободните параметри са: $L = 1.5$ pc, $k = 5\%$, $N_0 = 25$, $z_c = 1.5$.

Поучително е да се направи кратко сравнение на тези резултати с някои особени стойности на показателя x , получени от различни физични съображения или наблюдения:

- $x = -2.0$: Този случай можем да наречем *Джинсов*, защото при него $m_c \propto \rho_c^{-0.5}$. Тогава всички сгъстявания по дефиниция претърпяват гравитационен колапс, което прави този случай нереалистичен.
- $x = -0.5$: Това съответства на резултата на Larson за широк клас обекти в ISM : $\rho_c \propto l_c^{-1}$. В този случай плътността на сгъстяванията следва скалирането на структури в родителския облак.
- $x = 0.$: Можем да го наречем случай на *несъществена турбулентност*, тъй като при него $\rho_c = const$; турбулентността не създава контрасти на плътността, в ярко противоречие с наблюдения и симулации.
- $x = 1.$: Съгласно (2.2) това означава, че $l_c = const(\rho)$, което също не съответства на наблюденията, показващи голямо многообразие от форми и размери на плътни структури в MC и въобще в ISM [17].



Фиг. 4 Същото като фиг. 3, но за подход 2.2: а) HD случай ($x = -0.5$); б) MHD случай ($x = -0.6$).



Фиг. 5 Същото като фиг. 3, но за подход 2.3: а) HD случай; б) MHD случай.

Устойчивият корен при нашите пресмятания ($0.15 \leq x \leq 0.5$) не попада в нито един от особените случаи. Интересно е, че интервалът на решенията включва стойността $x = 0.25$, при която плътността на сгъстяванията е право пропорционална на размера им $\rho_c \propto l_c$ (срв. (2.2)). Това означава съществено различно скалиране на сгъстяванията в сравнение с това на родителски облаци и подструктурите им.

4. Заключение

Представеното изследване на сгъстявания в МС, формирани под действието на свръхзвукова турбулентност, показва наличието на съотношение „маса – плътност” за тези обекти $n \propto m^x$, със стойност на показателя $0 \leq x \leq 1$, като вероятните стойности са близки до 0.25. Резултатът е потвърден чрез три различни подхода, с използване на съвременни числени симулации, което ни кара да вярваме в неговата достоверност. Той е потвърден косвено от съвременно изследване в областта на теорията на звездообразуването, посветено на разпределението по маси на нововъзникнали звезди [18], което сочи най-добро съответствие с наблюденията при $x = 0.25$.

Отворен остава въпросът за несъответствието между тези резултати и скалиращото съотношение на Larson (1.2). Ключът към разбирането на този проблем вероятно трябва да се търси във феноменологията на плътните обекти в МС: от сгъстявания през плътни ядра към протозвезди. От друга страна, изследването на Larson покрива твърде широк интервал от пространствени скали (и съответно числа на Мах), в които вариациите на плътността имат съществено различно поведение. Ние планираме да задълбочим това изследване поне в две посоки: а) като изхождаме пряко от уравнението на Навие-Стокс; б) като разглеждаме многообразието на геометрията на сгъстяванията.

Т.В. заявява частична подкрепа за настоящата работа на НФ „Научни изследвания” по договор VU-F-201/06.

Литература

- [1] R. Larson, Mon. Not. R. Astr. Soc., **194**, 809 (1981)
- [2] M. Heyer & C. Brunt, IAU Symp., No. **237** (2006), eds. B. G. Elmegreen & J. Palous
- [3] R. Klessen, ASP Conf. Ser. (eds. T. Montmerle, Ph. Andre), **243**, 139 (2001)
- [4] B. G. Elmegreen, Astroph. J. Let., **419**, L29 (1993)
- [5] R. S. Klessen, F. Heitsch, M.-M. Mac Low, Astroph. J., **535**, 887 (2000)
- [6] A. Kritsuk, M. Norman, P. Padoan & R. Wagner, Astroph. J., **665**, 416 (2007)
- [7] A. Kritsuk, S. Ustyugov, M. Norman, P. Padoan, J. Phys. Conf. Ser., **180**, Issue 1, 012020 (2009)
- [8] Л. Ландау, Е. Лифшиц, Гидродинамика, изд. Наука, Москва (1986)

- [9] E. Vazquez-Semadeni, *Astroph. J.*, **423**, 681 (1994)
- [10] P. Padoan, A. Nordlund, B. Jones, *Mon. Not. R. Astr. Soc.*, **288**, 145 (1997)
- [11] T. Passot, E. Vazquez-Semadeni, *Phys. Rev. E*, **58**, 4501 (1998)
- [12] C. McKee, E. Zweibel, *Astroph. J.*, **399**, 551 (1992)
- [13] J. Ballesteros-Paredes, E. Vazquez-Semadeni, *Rev. Mex. AA, Ser. Conf.*, **3**, 105-108 (1995)
- [14] J. Ballesteros-Paredes, G. Gomez, B. Pichardo, E. Vazquez-Semadeni, *Mon. Not. R. Astr. Soc.*, **393**, 1563 (2009)
- [15] S. Dib, J. Kim, E. Vazquez-Semadeni, A. Burkert, M. Shadmehri, *Astroph. J.*, **661**, Issue 1, 262 (2007)
- [16] S. Dib, J. Kim, *ASP Conf. Ser.* (eds. Haverkorn, M., Goss, W.), **365**, 166 (2007)
- [17] B. G. Elmegreen, *Astroph. J.*, **668**, 1064 (2007)
- [18] T. Veltchev, R. Klessen, P. Clark, *Mon. Not. R. Astr. Soc.* (submitted), (2010)

ВЛИЯНИЕ НА Sb ВЪРХУ ФОРМИРАНЕТО И РАЗВИТИЕТО НА ПОВЪРХНОСТТА В БЪРЗОЗАТВЪРДЯЛА AlSiFeSb МИКРОКРИСТАЛНА СПЛАВ

Валентина Гайдарова¹, Йордан Йорданов²

¹Институт по металознание –БАН, София

²Департамент по физика, Технически университет-София, бул. Кл. Охридски 8, 1000 София, e-mail: Y_jordanov@abv.bg

Резюме. За бързо затвърдялите (БЗ) сплави е характерно силно увеличено съотношение „повърхност/обем“, поради което процесите, протичащи на повърхността при формиране и развитие на структурата са от съществено значение. Al-Si12-Fe2 БЗ микрокристални сплави, модифицирани с 0,17% Sb са изследвани с помощта на Оже електронна спектроскопия. Оксид на алуминиева основа с участие на Sb в него и слой, обогатен с легиращите елементи Si и Fe са регистрирани последователно в дълбочина от повърхността. При повишени температури антимоунът оказва силно въздействие на развитието на тези наноразмерни слоеве, като намалява дебелината им и ги уплътнява.

Ключови думи: Оже електронна спектроскопия, бързо затвърдяване (БЗ), микрокристални алуминиеви сплави.

1. Увод

Необходимостта от изделия с разнообразни качества и добри експлоатационни свойства нараства непрекъснато в световен мащаб. Изискванията към съвременната промишленост налагат разширяване на изследванията за търсене на нови пътища и подходи при получаването на материали с комбинация от разнообразни полезни характеристики като повишена якост, пластичност, ниско относително тегло, устойчивост на корозия, нисък коефициент на термично разширение и пр. Физичните, химични и механични свойства на металните сплави са в строга зависимост от тяхната микроструктура, което определя необходимостта от задълбочени изследвания за разбиране на взаимовръзката между получаването им, формиралата се структура и работните им качества.

За подобряване на механичните свойства чрез промени в микроструктурата на материала се прилагат различни методи [1-7]. Използването на легиращи елементи до голяма степен е изчерпало възможностите си и болшинството от така получените сплави са достигнали максималните граници на подобрене. Създаването и разработването на нови технологии като бързо затвърдяване (БЗ), предоставя добри перспективи за напредък в областта на създаването на нови материали.

Редица учени [8-11] работят по въпросите за въздействието и приложимостта на метода на БЗ в създаването на нов клас метални сплави за широко потребление. Естеството на получения материал (ленти, люспи, нишки, прахове) предопределя голяма свободна повърхност, а издребняването на структурата вследствие БЗ увеличава относителния дял на силно развитата вътрешна (зърногранична, интерфейсна) повърхност. При изследванията в ИМет върху AlSiX сплави ($X = \text{Mg}, \text{Sr}, \text{Fe}$) [12-16] е обърнато особено внимание на граничните повърхности, образувани в бързо затвърдялия материал. Участието на Fe в сплавта допринася значително за подобряване на термичната стабилност на материала. Установено е, че положителните изменения на свойствата се дължат основно на естеството на формираната структура в интерфейсите и зърногранични области. В настоящата работа се разглежда влиянието на модифициращата добавка от антимон върху формирането и еволюцията на структурата в четворната сплав Al-Si-Fe-Sb .

Целта на поредица от изследвания върху тройни и четворни AlSiFeX БЗ микрокристални сплави е разкриването на ролята на повърхността в процесите и явленията, протичащи при формирането на структурата или вследствие на промените, които настъпват след термично третиране. Резултатите ще дадат информация за разбиране взаимовръзката между получаването, микро/нано характеристиките и макроскопското поведение на изследваните материали. Работата има както научно-приложен, така и фундаментален характер. Изследването ще доведе до решаване на практически въпроси, свързани с производството за получаване на продукти с желана микроструктура и механични свойства. От фундаментална гледна точка изследването ще даде възможност за задълбочаване знанията върху формирането и развитието на структурата и създаване на система за прогнозиране на свойствата на материалите.

2. Методика на експеримента

Микрокристалните ленти със състав $\text{Al-12\%Si-2\%Fe}$, модифицирани с $0,17\%\text{Sb}$, са получени по метода на леене в плосък поток върху бързо въртящ се меден диск [17] с линейна скорост на охлаждащата повърхност 19 m/s . Лентите са с ширина 10 mm и дебелина около $70 \mu\text{m}$. Извършеното предварително прогряване в диференциален сканиращ калориметър дава сведение за температурите, при които протичат структурни промени [18]. Два екзотермични пика показват две основни температурни области на трансформации, а ясно очертаната асиметрия на втория пик предполага наличието на две трансформации във втората температурна област. Образците за изследване са приготвени след анализ на DSC-кривата и избор на подходящи температурни обработки, за да може да се проследят промените, които настъпват в структурата на повърхността на лентите след термотретиране. Образците са нагрявани в пещ с ниска термична инерция от стайна температура

до 255, 365 и 400 °C без продължително задържане при тези температури. Така подготвени, те са изследвани с помощта на Оже електронна спектроскопия в съчетание с последователно разпрашване на слоеве с ускорени Ar^+ йони. Наблюдаваните Оже преходи са Al(LVV), Si(LVV), O(KLL), Fe(LMM), и Sb(MNN). За получаване на профили в дълбочина първичният електронен сноп с параметри 5 kV/40 nA е сканиран в област $10 \times 10 \mu\text{m}$. При необходимост от Оже анализ в петно се използва фокусировка с размери на лъча, достигащи до 100 nm (0,5-20 KeV). Скоростта на разпрашване, избрана за настоящите изследвания, е 10 или 51 nm/min (калибрирана за SiO_2).

Експериментите са провеждани на Сканиращ Оже електронен микроскоп Physical Electronics PHI 660 в Центъра за микроанализ на материалите към Изследователската лаборатория „Фредерик Сайтц” при Илинойския Университет в Урбана-Шампейн, САЩ.

3. Експериментални резултати и обсъждане

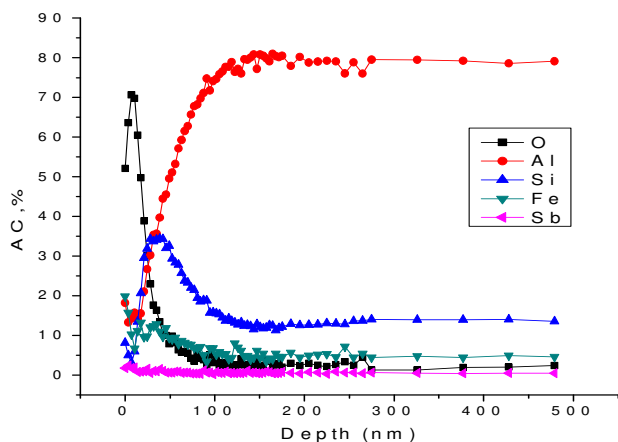
На фиг. 1-4 са представени типични разпределения на елементите в дълбочина (Оже-електронни профили в дълбочина - ОЕПД), получени от повърхността на сурова (as-cast) лента (фиг. 1) и на ленти, подложени на термично третиране от стайна до 255, 365 и 400 °C (фиг. 2-4, съответно).

На повърхността на суровата лента е формиран оксид на алуминиева основа. Независимо от незначителното количество антимоно в сплавта се вижда, че той присъства в най-външния слой на оксида. Постепенното намаление на сигнала на кислорода и плавно увеличаване съдържанието на алуминий показват, че не съществува рязка граница между естествено формиран оксид и лежащия под него обемен материал. Те проникват един в друг, дебелината на оксида варира от няколко до около 50 nm (на такава дълбочина съдържанието на кислород спада под 8%). За средна дебелина на оксида може да бъде приета пълната ширина на височина $\frac{1}{2}$ от максимума на разпределението на кислорода, която в случая е около 25 nm. Непосредствено под оксида се регистрира слой, обогатен с легиращите елементи желязо и силиций, като разпределението им в дълбочина се променя синхронно. Тяхното съдържание бележи максимум на около 40-50 nm дълбочина, след което започва да спада. В този обогатен слой (ОС), чиято дебелина е около 80-100 nm, присъства и алуминий, като неговото съдържание се увеличава постепенно с навлизането в дълбочина, достигайки концентрация от около 80 ат.%. След по-продължително разпрашване на слоеве се достига постоянна концентрация на съставлящите елементи.

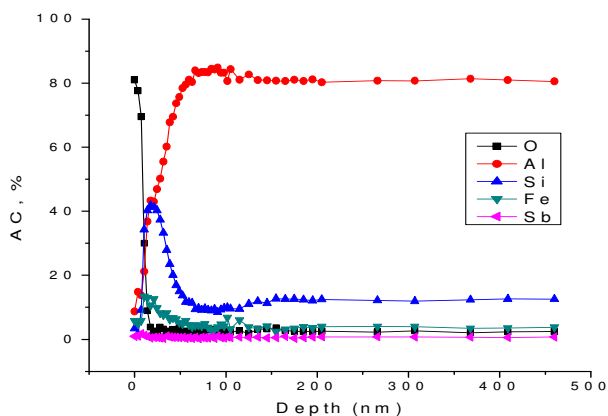
Термичното третиране до 255 °C променя ширината както на оксида, така и на ОС (фиг. 2). Наблюдава се силно стеснение на тези области в дълбочина, като дебелината им намалява повече от два пъти, а относителното съдържание на кислорода в оксида и на силиция в ОС се увеличава в сравнение с това, което е характерно за разпределението им в суровите ленти. Оформя се рамо в разпределението на алуминия на дълбочина, където се очертава пикова

стойност на разпределението на желязото, което показва че непосредствено под оксида се разграничава желязо-съдържащ комплекс, с участието на силиций и алуминий в него.

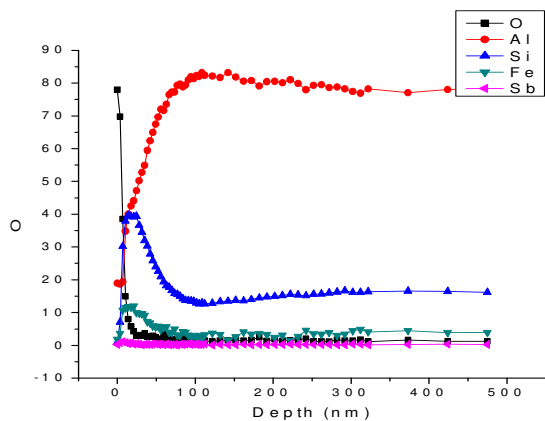
Изместеният пик на силициевото разпределение към по-голяма дълбочина ни позволява да предположим наличието на силиций в алуминиевата матрица. Преразпределението на елементите в този температурен интервал става в тесни граници около интерфейса, за сметка на предвижването на намиращи се в близост елементи, за което говори слабото обедняване на силиция и желязото в зоната след ОС (виж минимума на разпределението на дълбочина около 80-90 nm). Наблюдаваните изменения могат да се свържат с наличието на антимон в БЗ сплав, тъй като трансформации в този температурен интервал за същата сплав без добавки на антимон не са регистрирани [13,15].



Фиг. 1 Оже електронен профил в дълбочина, получен от повърхността на сурова лента.

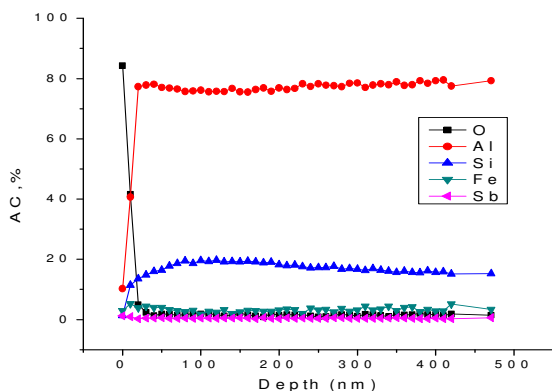


Фиг. 2 Оже електронен профил в дълбочина, получен от повърхността на лента, прогрявана до 255 °C.



Фиг. 3 Оже електронен профил в дълбочина, получен от повърхността на лента, прогрявана до 365 °C.

Термичното третиране до 365 °C (фиг. 3) внася допълнително промени, които предполагат дифузия на елементите от по-голяма дълбочина и слабо уширение на регистрираните слоеве под повърхността на лентата. Трябва да се отбележи, че тези промени не засягат съществено съотношението на елементите във формираните оксид и ОС. Вероятно настъпва слабо увеличение на концентрацията на легиращите елементи в близост до интерфейса за сметка на освобождаването и дифузията им от алуминиевата матрица в посока към повърхността на лентата.



Фиг. 4 Оже електронен профил в дълбочина, получен от повърхността на лента, прогрявана до 400 °C.

Отгряването на образците от суровата лента до 400 °C (фиг. 4) предизвиква съществени промени в изследвания повърхностен слой. Оксидът остава с непроменена дебелина както при лентите, нагрявани до 255 и 365 °C. Силициевата концентрация под оксида намалява съществено, след което постепенно се увеличава слабо в дълбочина. Съдържанието на желязо също намалява в ОС, а навътре в дълбочина интензивността на желязния пик пада до границите на детекция на Оже електронната спектроскопия. Отбелязва се стръмно увеличение на интензитета на алуминия на границата оксид/обем, което показва, че се е оформила рязка, ясно изразена, освободена от неравности

гладка граница между тях. Тези експериментални резултати предполагат настъпването на структурни промени в последния температурен интервал и нарастване на силициевите отделения (последното води до значително намаление на силициевата фракция в плоскостта, в която се извършва Оже-електронното измерване). Синхронните изменения на разпределенията на алуминия и желязото и отбелязаните по-горе промени в морфологията на границата оксид/обем, както и свеждането на желязното съдържание до минимум на по-голяма дълбочина показват, че в този температурен интервал кристализира желязо-съдържаща фаза. Наблюдаваното увеличение на концентрацията на силиция на по-големи дълбочини, свидетелства за разделяне на Fe-съдържащата и силициевата фази. Проследявайки разпределението на желязото, може да определим дебелината на желязосъдържащата фаза до 10-20 nm.

4. Заключение

Експерименталните резултати от проведеното изследване на разпределението и преразпределението на елементите в повърхностния слой на Al-12%Si-2%Fe БЗ микрокристална сплав, модифицирана с 0,17% Sb показват, че развитието на структурата при термообработка на материала е свързано по-скоро с промени в състава на интерфейса оксид/обем, отколкото с трансформации в първоначално формираната алуминиева матрица.

За суровата лента е характерно образуването на сравнително дебел оксиден слой с участие на антимон в него. Под оксида се регистрира обогатен с легиращите елементи силиций и желязо слой. Границата между оксида и обогатения слой е неравна, те проникват един в друг.

При прогряване до температури от 255 °C наличието на антимон в сплавта оказва силно въздействие на развитието както на оксида, така и на обогатения с легиращи елементи интерфейс на слой оксид/обемна сплав. Модифициращото влияние на антимона се изразява в значително намаление дебелината (повече от 2 пъти) на тези слоеве и увеличение на съдържанието на основните изграждащи ги елементи, а именно – кислорода в оксида и силиция в ОС. Предполага се начало на процес на разслояване на Fe-съдържащите и силициеви комплекси.

Нагряването до 365 °C води до дифузия на легиращите елементи от алуминиевата матрица в посока към интерфейса и повърхността на лентата. Вероятно процесът при тези температури е свързан с освобождаване на алуминиевата матрица от останалите в нея легиращи елементи вследствие процеса на БЗ.

Между 365 и 400 °C дебелина на оксидния слой не се променя, но настъпват значителни промени в разпределението на ОС, което предполага съществена промяна в структурата на интерфейса. Експерименталните данни дават основание да се направи заключение, че в този температурен интервал кристализира желязо-съдържащата фаза, образуваща тънкия интерфейс на слой

оксид/обем. От тази гранична повърхност към алуминиевата матрица нарастват силициевите отделения.

Работата е спонсорирана от фонд „Научни изследвания” чрез договор ДО 02-93/2009 (Проект САБ01/0106).

Литература

- [1] G. P. Jones, J. Pearson, Metall. Transactions B, **7B**, 223 (1976)
- [2] P. S. Mohanty, J. E. Grusleski, Acta metal. Mater., **43** (5), 1991 (2001)
- [3] K. G. Basavacumar, P. G. Mukunda, M. Chakraborti, Bull Mater Sci, Vol.**30**, No5, pp. 427-437 (2007)
- [4] K. G. Basavacumar, et all, Materials characterization, **59**, No3, 283-289 (2008)
- [5] G. Basavacumar, et al, Mat Sci Eng A, **465**, No1-2, 85-94 (2007)
- [6] S. Nafisi, R. Chomashchi, Materials Characterization, **57**, 371-385 (2006)
- [7] K. H. Lo, C. H. Shek, J. K. L. Lai, Mater. Sci. and Eng.R, **65**, 39-104 (2009)
- [8] H. Jones, Rapid Solidif. of Metals and Alloys, Inst. of Metallurgists, London (1982)
- [9] E. Lavernia, J. Ayers, T. S. Srivatsan, Int. Materials Revs, **37**, pp.1-44 (1992)
- [10] J. L. Estrada, J. Duszczek, J. Mat. Sci., **25**, pp.886-904, (1990)
- [11] A. Glezer, Nanostr. Materials. G. M. Show eds. 1998, Kluwer Acad. Publ., pp. 163-182.
- [12] V. Gaidarova, S. Yaneva, Nanoscience and Nanotechnology, eds. E. Balabanova, I. Dragieva, (Heron Press, Sofia), 2002, pp. 88-90.
- [13] V. Gaidarova, S. Yaneva, S. Kassabov, Nanoscience and Nanotechnology eds. E. Balabanova, I. Dragieva, (Heron Press, Sofia), 2003, issue 3, pp.199-202.
- [14] V. Gaidarova, S. Yaneva, E. Bendereva, S. Kassabov, Nanosci.& Nanotech. eds. E. Balabanova, I. Dragieva, (Heron Press Sci. Ser., Sofia), 2004, pp.235-237.
- [15] V. Gaidarova, S. Yaneva, S. Kassabov, S. Petrov, Proc. International Conference Mechanical Engineering Technologies MT'04, Bulgaria, pp. 85-88 (2004)
- [16] V. Gaidarova, Vacuum, **81**, pp.1082-1087 (2007)
- [17] С. Янева, И. Пейчев, Н. Стойчев, Д. Зидаров, Г. Златева, Н. Дюлгерев, Научна конференция АМТЕСН,93, сб. доклади, **3**, Термообработка и покрития, стр.209-215 (1993)
- [18] Г. Стефанов, С. Янева, частно съобщение.

PROBABLE PHYSICAL DETERMINATION OF THE MASS, SIZE, GENERATION TIME AND RATE OF GROWTH IN MOST SIMPLE LIVING CELLS (PROKARYOTES)

Atanas Todorov Atanasov

Department of Physics and Biophysics, Medical Faculty, Trakia University-Stara Zagora, 11 Armeiska str., e-mail: atanastod@abv.bg

Abstract. Prokaryotes represent the minimal 'quanta' of matter that can be considered 'alive'. Integrated physical characteristics in Prokaryotes most are tested – cell mass M_{cell} , linear size L_{cell} , generation time T_{gt} and linear speed of growth v_{cell} . In this work we have received three relationships with dimension of mass $M_{cell} (kg) = (h \cdot v_{cell} / G)^{1/2}$, linear size $L_{cell} (m) = (h \cdot G / v_{cell}^3)^{1/2}$ and time $T_{cell} (s) = (h \cdot G / v_{cell}^5)$ after combination of speed of growth of Prokaryotes in the range of $v_{cell} = 3.0 \times 10^{-11} - 1.4 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ with gravitational constant $G = 6.673 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$ and Planck constant $h = 6.6262 \times 10^{-34} \text{ J}$. From these relations we can calculate the minimum mass (M_{cell}), length (L_{cell}) and generation time (T_{cell}) of Prokaryotes.

Key words: prokaryotes, gravitational constant, Planck constant, rate of growth

1. Увод

Огромните разлики в масите, размерите и времето на живот на живите организми поставя въпроса - съществуват ли минимални и максимални характеристики на живите организми и от какво зависят тези характеристики? Прокариотите са най-просто устроените безядрени клетки, възникнали преди 3 милиарда години в процеса на биологичната еволюция [1]. Към тях се отнасят около 3000 бактерии – fig. 1. Бактериите имат минимални клетъчни маси, клетъчни размери и и генерационно време време за удвояване на клетката чрез делене. Микоплазмата е най-малката бактерия способна да живее и самостоятелно да се размножава в естествена и изкуствена хранителна среда.

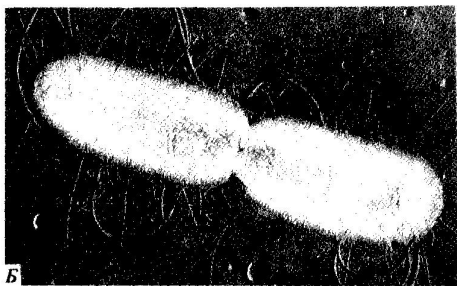


Fig. 1 Scheme of doubling bacteria.

Микоплазмата има клетъчна маса около $1 \times 10^{-17} \text{ kg}$ и среден размер на клетката около $1 \times 10^{-7} \text{ m}$. При неутрално рН клетъчното съдържание на микоплазмата би имало не повече от 2 водородни йона [2]. В толкова малък

обем клетката трябва да съдържа минимален набор от белтъци, ензими и генетична информация /ДНК/ способни да обезпечат нейният растеж и размножаване. Тъй като макромолекулите носещи метаболитните и генетични функции са крайно важни, техните характеристики не могат да станат по-малки от определени гранични стойности. Това позволява минималният размер на една жива клетка да се изчисли теоретично от генетична и биохимична гледна точка, а именно:

Първо-по минималното количество генетичен материал /ДНК/ необходим за кодирането на всички макромолекули в клетката. По данни на Maniloff [3] и Miya и съавтори [4] това количество е около 250 гена или 600-800 kb.

Второ-по минималното количество /брой/ ензими, необходими за осъществяването на метаболитните /катаболитни и анаболитни/ процеси в клетката [5].

В настоящата работа е показано, че определянето на минималните размери на една жива клетка може да стане на базата на физичен подход, базиращ се на връзката между масата, размерите, генерационно време, скоростта на нарастване на клетките и фундаменталните физични константи-гравитационната константа /G/ и Планкова константа /h/ [6].

2. Микробиологични и биофизични данни за прокариотите

Прокариотите се размножават чрез клетъчен растеж при който чрез синтез се удвояват всички макромолекули, ензими и ДНК. Това води до удвояване на цялата клетъчната маса и размери на клетката, след което мембраната разделя на две равни части клетъчното съдържание. Получените 2 нови клетка започват следващият нов цикъл на растеж и клетъчно делене. При този процес всяка клетка нараства в пространството с определена скорост V_{cell} , която може да се изчисли по промяната на средните линейни размери на клетката L_{cell} и времето за нейното удвояване /генерационно време/ T_{gt} i.e. $V_{cell} = L_{cell} / T_{gt}$ (m/s) - fig. 2.

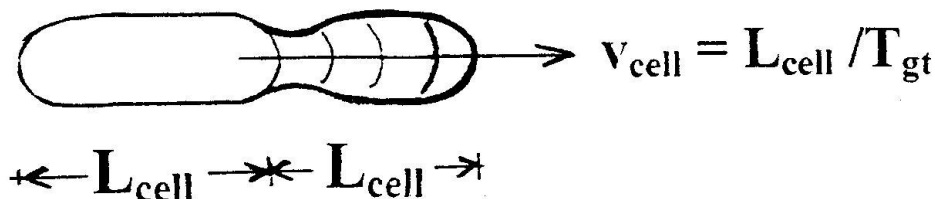


Fig. 2 Scheme of doubling bacteria with linear speed $V_{cell} = L_{cell} / T_{gt}$.

Скоростта, с която клетките нарастват в пространството е от порядъка на $V_{cell} = 1 \times 10^{-10} - 1 \times 10^{-11}$ m/s. При бактерии с произволна геометрична форма (сфера, цилиндър, сфероцилиндър, спираловидна, S-образна) скоростта на растежа може да се определи като отношение между „характерната дължина”

на клетката $R_{ch} = \text{Volume/Surface}$ (равна на отношението между обема и повърхността на клетката) и генерационното време T_{gt} на клетката i.e. $V_{cell} = R_{ch}/T_{gt}$ (m/s). Например при промяна на формата на клетката от сферична до пръчковидна /дълъг цилиндър/ с радиуси r отношението на обема към повърхността се мени от $V/S = r/3$ при сферата до $V/S = r/2$ при дългия цилиндър. При $r \approx 1 \times 10^{-7}$ m и $T_{gt} \approx 20 \text{ min} - 2.5 \text{ h}$ скоростта на линеен растеж е в диапазона $V_{cell} = R_{ch}/T_{gt} \approx 1 \times 10^{-10} - 1 \times 10^{-11}$ m.

Някои литературни данни за масата, размерите, времето за удвояване и линейната скорост на растеж на Прокариотите са дадени в Таблица 1.

Table 1. Data for cell mass, cell size, generation time and speed of Linear growth of Prokaryotes [1, 7, 8, 9].

PROKARYOTES	Body mass M(kg)	Linear size L (μm)	Generation time, T_{gt}	Speed of growth $v_{cell} = L/T_{gt}$, (m/s)
MYCOPLASMATALES	$2 \times 10^{-17} - 2.0 \times 10^{-16}$	0.1 - 0.6	20mi-2.5h	$1.1 \times 10^{-11} - 5 \times 10^{-10}$
1. <i>Mycoplasma arthritidis</i>	$4 \times 10^{-17} - 2.0 \times 10^{-16}$	0.2- 0.5	20min-2.5h	$2.2 \times 10^{-11} - 4.1 \times 10^{-10}$
2. <i>Mycoplasma mycoides</i>	$5 \times 10^{-17} - 2.0 \times 10^{-16}$	0.25-0.33	20min-2.5h	$2.8 \times 10^{-11} - 2.75 \times 10^{-10}$
3. <i>Mycoplasma pneumoniae</i>	$2 \times 10^{-17} - 2.0 \times 10^{-16}$	0.1-0.33	20min-2.5h	$1.1 \times 10^{-11} - 2.75 \times 10^{-10}$
RICKETTSIALES AND CHLAMYDIAE	$2 \times 10^{-17} - 1.0 \times 10^{-15}$	0.1-2.0	20min-2.5h	$1.1 \times 10^{-11} - 2.75 \times 10^{-10}$
4. <i>Rickettsii</i> (Brucella, Bartonella,Rickettsia)	$(0.2-1.0) \times 10^{-16}$	0.1-0.4	20min-1.0h	$2.8 \times 10^{-11} - 3.3 \times 10^{-10}$
5. Small <i>Chlamydii</i>	3.0×10^{-17}	0.2-0.5	20min-2.0h	$2.6 \times 10^{-11} - 4.1 \times 10^{-10}$
6. <i>Haemobatonella muris</i> , <i>Bartonella bacilliformis</i> and <i>Ehrlichia canis</i>	$(0.2-2) \times 10^{-16}$	$0.1 \times 0.3-0.7$	20min-5.0h	$3.3 \times 10^{-11} - 5.8 \times 10^{-10}$
7. <i>Bdellovibrio bacteriovorus</i>	$(0.5-5) \times 10^{-16}$	0.3×1.0	20min- 10h	$3.3 \times 10^{-11} - 8.3 \times 10^{-10}$
8. <i>Wolbachia melophagi</i>	$(0.6-1.0) \times 10^{-16}$	0.3×0.6	30min-2.5h	$3.3 \times 10^{-11} - 3.3 \times 10^{-10}$

*Luria and Darnell Jr., 1968; Lindner, 1978; Hausman, 1985; Balows et al., 1992.

От таблицата се вижда, че клетъчната маса на най-малките Прокариоти-микоплазми, риксетсии и хламидии попада в диапазона 2×10^{-16} - 2×10^{-17} kg. Линейните им размери са в диапазона 1×10^{-7} - 6×10^{-7} m.

Времето за удвояване на клетките попада в диапазона от 20 min до 2.5 h, а скоростта на линеен растеж на клетките е в диапазона от 1×10^{-10} m/s до 5×10^{-11} m/s.

3. Физичен подход използван за изчисляване на минималните размери на живата клетка

Известно е, че Планковата константа h се свързва с „квантоването” на енергията и материята, а гравитационната константа G с гравитационните взаимодействия. Ако прокариотите са най-малки „градивни частици” на живите организми може да се направи определена аналогия между тях и физичните кванти за маса, размер и време получени от релациите на Макс Планк [10]. Известно е, че Планк комбинира трите фундаментални физични константи-гравитационната константа $G = 6.673 \times 10^{-11}$ (N.m²/kg²), Планковата константа $h = 6.6262 \times 10^{-34}$ (J.s) и скоростта на светлината $c = 1 \times 10^8$ (m/s) и получава 3 съотношения с размерност на :

$$\text{- Маса} \quad M = (h \cdot c / G)^{1/2} \quad (\text{kg}) \quad (1)$$

$$\text{- Дължина} \quad L = (h \cdot G / c^3)^{1/2} \quad (\text{m}) \quad (2)$$

$$\text{- Време} \quad T = (h \cdot G / c^5)^{1/2} \quad (\text{s}) \quad (3)$$

От тези съотношения се изчисляват основните „физични кванти” за маса /енергия/, дължина и време, наречени „Планкови”. От трите фундаментални физични константи единствено скоростта на светлината ‘с’ има „реален физичен смисъл” на скорост на движение в пространството. Известно е, че скоростта на светлината е дефинирана като фундаментална физична константа едва от Алберт Айнщайн в неговата „Специална теория на относителността” [11]. Във формулите (1, 2, 3) на Планк скоростта на светлината отчита релативистичните явления.

Релациите на Мах Планк за маса, дължина и време изразени като функция от скоростта v (m/s) разглеждана като променлив параметър добиват вида:

$$\text{- за маса} \quad M = (h \cdot v / G)^{1/2} \quad (\text{kg}) \quad (4)$$

$$\text{- за дължина} \quad L = (h \cdot G / v^3)^{1/2} \quad (\text{m}) \quad (5)$$

$$\text{- за време} \quad T = (h \cdot G / v^5)^{1/2} \quad (\text{s}) \quad (6)$$

В тези формули скоростта v отчита скоростта на движение в пространството, включително и скоростта на нарастване на клетките.

4. Резултати и обсъждане

Графичният вид на зависимостите (4), (5) и (6) в диапазона от минималната скорост $v = 1 \times 10^{-14}$ m/s до максималната скорост равна на скоростта на светлината $v = 1 \times 10^8$ m/s са представени върху fig. 3, fig. 4 and fig. 5.

Върху ординатите са маркирани стойностите на масите, дължините и времената, характерни за Прокариотите.

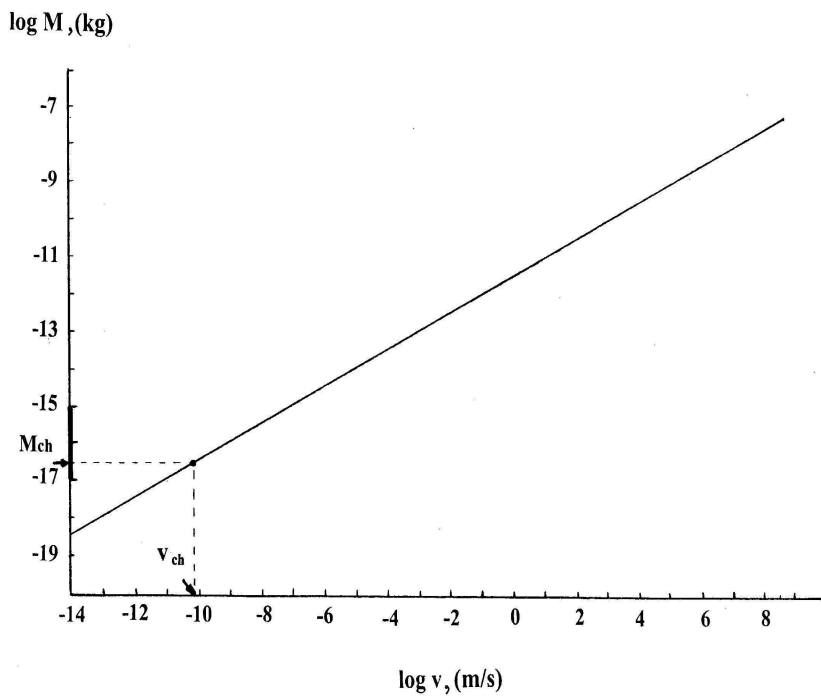


Fig. 3 The relationship between mass and speed from $v = 1 \times 10^{-14}$ to 1×10^8 m/s.

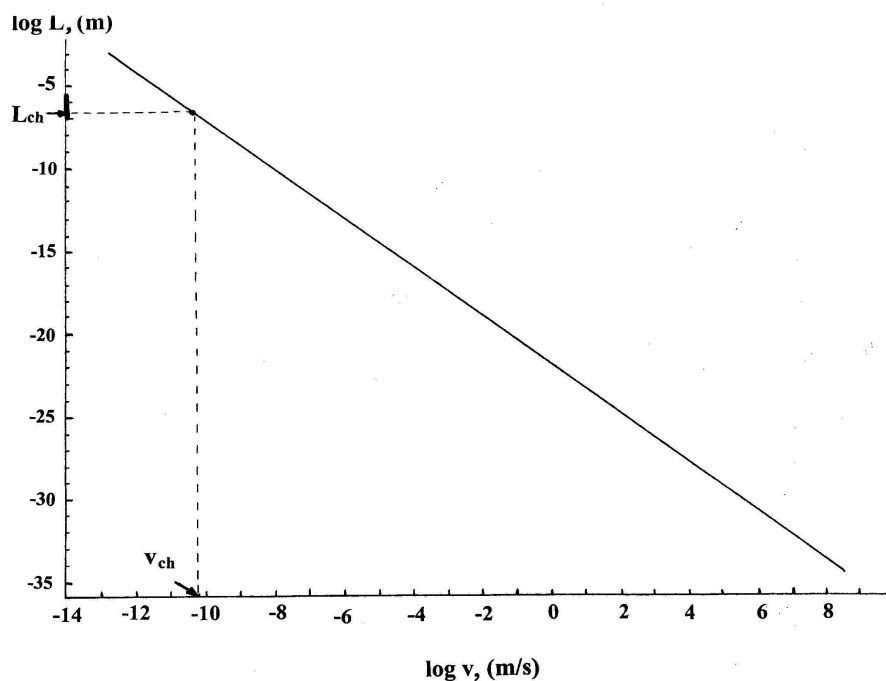


Fig. 4 The relationship between length and speed from $v = 1 \times 10^{-14}$ to 1×10^8 m/s.

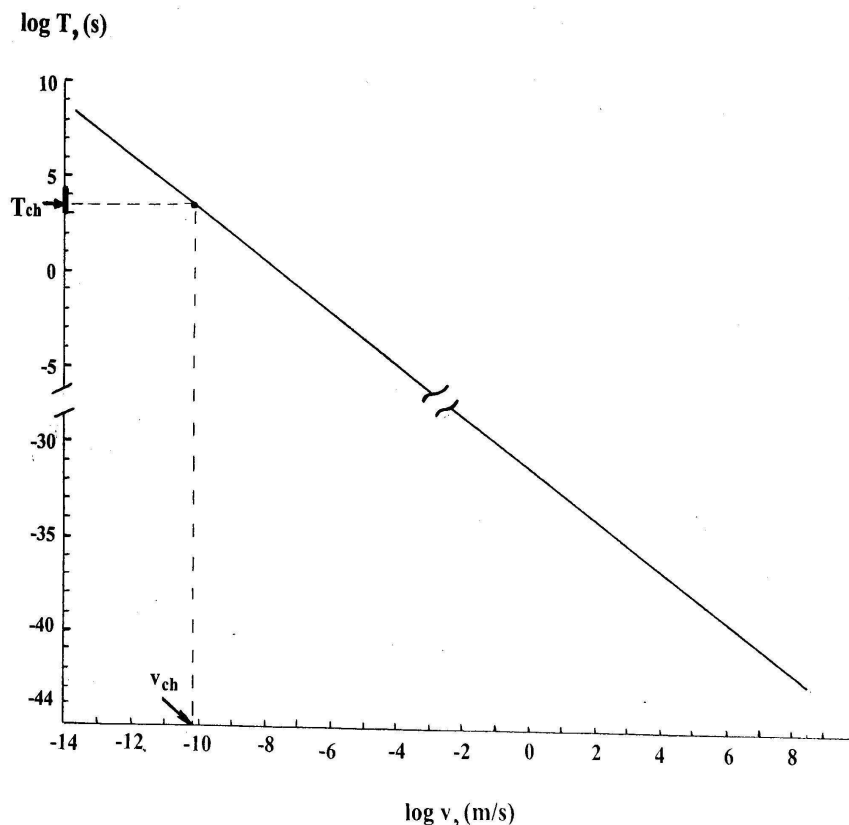


Fig. 5 The relationship between time and speed from $v = 1 \times 10^{-14}$ to 1×10^8 m/s

От графичните зависимости (4), (5) and (6) се вижда, че скорости в диапазона 3×10^{-11} - 1.4×10^{-10} m/s съответстват на маси в диапазона 1×10^{-15} - 1×10^{-17} kg, дължини в диапазона 1×10^{-6} - 1×10^{-7} m и времена в диапазона 1×10^3 - 1×10^4 s. Скоростите в диапазона 3×10^{-11} - 1.4×10^{-10} m/s са типични скорости с които нарастват Прокариотните клетки по време на техният растеж и делене. Диапазонът от маси 1×10^{-15} - 1×10^{-17} kg е типичен за клетъчните маси на Прокариотите, дължините 1×10^{-6} - 1×10^{-7} m са типични линейни дължини на Прокариотите, а времената 1×10^3 - 1×10^4 s са характерни за времето на удвояване на Прокариотите.

5. Изводи и заключение

Интегралните физични характеристики на най-просто устроените живи клетки (Prokaryotes) – клетъчна маса M_{cell} , линейен размер L_{cell} , време на удвояване T_{gt} могат да се получат от релациите с размерност на:

$$\text{- маса } M_{\text{cell}} (\text{kg}) = (h \cdot v_{\text{cell}} / G)^{1/2} \quad (7)$$

$$\text{- дължина } L_{\text{cell}} (\text{m}) = (h \cdot G / v_{\text{cell}}^3)^{1/2} \quad (8)$$

$$\text{- време } T_{\text{cell}} (\text{s}) = (h \cdot G / v_{\text{cell}}^5)^{1/2} \quad (9)$$

при стойности на параметъра v_{cell} равни на скоростта на растежа на Прокариотите в диапазона 3×10^{-11} - 1.4×10^{-10} m/s.

Например при $v_{\text{cell}} = 7.45 \times 10^{-11}$ m/s за масата, размера и времето за удвояване на прокариотите се получават следните стойности:

$$M_{\text{cell}} = 2.7 \times 10^{-17} \text{ kg}$$

$$L_{\text{cell}} = 3.27 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$T_{\text{cell}} = 71 \text{ min}$$

Трябва да се отбележи фактът, че:

1/ от графичните зависимости на fig.1, fig.2 и fig.3 при скоростта на светлината ($v = 3 \times 10^8$ m/s) се получават характеристиките на фундаменталните кванти на Макс Планк: за маса ($M_{\text{Pl}} = 2.7 \times 10^{-8}$ kg), за дължина ($L_{\text{Pl}} = 3 \times 10^{-35}$ m) и за време ($T_{\text{Pl}} = 3 \times 10^{-44}$ s). При скорост равна на средната линейна скорост на растеж на бактериите се получават масата, дължината и времето за удвояване на клетъчната маса на Прокариотите.

2/ докато Прокариотите са реални физични обекти, то физичните кванти на Макс Планк изразяват хипотетичните стойности на масата/енергията/, дължините и времената, при които 4-те фундаментални сили в природата- гравитационното, електромагнитното, ядреното и слабото взаимодействие се сливат в едно универсално взаимодействие [12]. Връзката между минималната маса, размери, генерационно време и скорост на растеж на най-просто устроените клетки с фундаменталните физични константи- гравитационната G и Планкова константа h дава основание да се предполага, че минималните размери на живите клетки са детерминирани на физично ниво. Това може да обясни факта, че въпреки генетичните мутации благодарение на което прокариотите са оцелели 3 милиарда години те не са променили стойността на своята клетъчна маса, клетъчен размер и генерационно време. Интегралните физичните параметри на Прокариотите вероятно са останали постоянни, благодарение на тяхната физична детерминираност и зависимост от фундаменталните физични константи.

Литература

- [1] A. Balows, H. G. Truper, M. Dworkin, W. Harder, and K. - H. Schleifer, (eds.), *The Prokaryotes* (1992), 2nd ed. Springer-Verlag, New York.
- [2] H. J. Morowitz, The minimum size of cells., in *Principles of Biomolecular Organization* (G.E.W. Wolstenholme, M. O'Connor, eds.) pp. 446-459 (1966), London, J. and A. Churchill.
- [3] J. Maniloff, The minimal cell genome: "On being the right size", *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, vol. **93**, pp. 10004-10006 (1996)
- [4] A. Mira, H. Ochman, N. A. Moran, Deletional bias and the evolution of bacterial genomes, *TRENDS in Genetics*, vol. **17**, pp. 589-596 (2001)
- [5] K. Schmidt-Nielsen 1984. *Scaling, Why is Animal Size so Important?* Cambridge University Press, Cambridge /London/New York/

- [6] A. T. Atanasov, The allometric relationships between gravitational constant, Max Planck constant and body mass, size, generation time, density and speed of growth in Prokaryotes, *trakia Journal of Sciences*, vol. **5** (2), pp. 19-29 (2007)
- [7] K. Hausman, 1985, *Protozoologie*, Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- [8] K. E. Lindner, 1978, *Milliarden Mikroben*, Urania-Verlag ed., /Leipzig/Jena/Berlin.
- [9] S. E. Luria, J.E. Darnell Jr., 1968, *General Virology*, Second ed., John Wiley & Sons, inc. New York/ London/ Sidney.
- [10] M. Planck, 1925, *A Survey of Physical Theory*, transl. By Jones and D.H. Williams, Methuen & Co., Ltd., London (Dover editions 1960 and 1993) including the Nobel lecture.
- [11] A. S. Eddington, 1948, *Fundamental Theory*, London, Cambridge Univ. Press., London.
- [12] R. Feynman, 1988, *QED: The Strange Theory of Light and Matter*, Princeton: Princeton University Press.

ВЪРХУ ИЗЧИСЛЯВАНЕТО НА РАДИАЦИОННАТА ДОЗА

Р. Кобиларов

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

Резюме. В тази работа предлагам алгоритъм, с помощта на който всеки гражданин на България може да изчисли годишната ефективна доза, която получава в ежедневието си живот.

Ключови думи: йонизираща радиация, източници на радиация, ефективна доза.

1. Увод

От раждането си човекът живее в среда, в която е непрекъснато облъчван от йонизираща радиация от естествени и от изкуствени (създадени от човека) източници. С термина *йонизираща радиация* се означават електромагнитни вълни или частици, притежаващи енергия, достатъчна да йонизира атом или молекула от средата, в която се разпространяват. Основен източник на радиация са ядрата на нестабилните атоми (наричани също *радионуклиди* или *радиоизотопи*).

Радиационното облъчване може да увреди клетките на живите организми, в частност на човека, умъртвявайки някои от тях и модифицирайки други. Оценката на облъчването на населението, дължащо се на различните източници на радиация, е важна задача, за целите на която са били провеждани и продължават да се правят измервания на радиоактивността на различните източници. Тези измервания се обобщават от научния комитет за изследване на ефектите от атомната радиация (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR). Комитетът използва и препоръчва система от радиационни величини и единици, приети през 1980 г. от международната комисия за радиационни единици и измервания (International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU) [1] и ревизирана през 1990 г. от международната комисия за радиологична защита (International Commission on Radiological Protection, ICRP) [2]. Основна радиационна (дозиметрична) величина, която се използва за оценка на риска от радиационното облъчване на населението е погълнатата доза (количеството енергия на лъчението, погълната от единица маса на средата). Погълнатата доза, обаче, не може да даде адекватна оценка за вредата от радиационното облъчване върху организма на човека, защото погълнатата доза, получена от различните органи на човека има различно биологично въздействие върху тях. Например, погълната доза 1 Gy от източник на алфа частици може да причини

20 пъти по-големи поражения върху организма от погълната доза 1 Gy от източник на електрони [3]. За пряка оценка за риска от радиационното облъчване върху живите организми се въвежда величината ефективна доза, която позволява рисковете от облъчването с различни видове радиация да се сумират, като се приема, че те са независими един от друг [3], [4].

2. Алгоритъм за изчисляване на годишната ефективна доза за отделен човек в България

Съгласно UNSCEAR Report (2000) [4] радиационното облъчване от различните източници има следното процентно отношение:

1. Радон (Rn) – 55% .
2. Естествени източници – 26% (без Rn).
3. Медицински изследвания с рентгенова апаратура – 11% .
4. Медицински изследвания с ядрена апаратура – 4% .
5. От продукти на потребление – 3% .
6. Други – < 1% .

Средната световна годишна ефективна доза от естествени (природни) източници, съгласно UNSCEAR Report (2000) [4] е представена в Таблица 1.

Таблица 1.

Източник	Средна годишна ефективна доза [mSv]	Типичен интервал [mSv]
Външно облъчване		
Космически лъчи	0,4	0,3 – 1,0 ^а
Гама лъчи от източници, съдържащи се в земната кора	0,5	0,3 – 0,6 ^б
Вътрешно облъчване		
При вдишване (от въздуха)	1,2	0,2 – 10 ^в
При хранене	0,3	0,2 – 0,8 ^г
Общо	2,4	1 – 10

^а - в зависимост от височината над морското ниво

^б - в зависимост от радионуклидния състав на почвите и строителните материали

^в - в зависимост от акумулирането на радон в помещенията

^г - в зависимост от радионуклидния състав на храните и питейната вода.

С помощта на предложения алгоритъм, всеки гражданин на България може да изчисли радиационната доза, която получава в ежедневието си живот. В Таблица 2 са представени годишните ефективни дози, дължащи се на различните източници на радиация (естествени и в резултат на дейността на човека). Общата годишна ефективна доза, измерена в mSv, се получава чрез

сумиране на индивидуалните дози, които се определят по таблицата за всеки конкретен случай.

Таблица 2.

Източник	Средна годишна доза [mSv]
<i>Космическа радиация на морското равнище</i>	0,28
Височина на Вашия град над морското равнище [km]	
0,3 – 0,6	0,05
0,6 – 0,9	0,09
0,9 – 1,2	0,15
1,2 – 1,5	0,21
1,5 – 1,8	0,29
1,8 – 2,1	0,40
2,1 – 2,4	0,53
над 2,4	0,70
<i>Радиация от източници, съдържащи се в земната кора</i>	
Ако Вашият град се намира в Северна България (над Стара планина)	0,12
Ако Вашият град се намира в Югоизточна България	0,12
Ако Вашият град се намира в Югозападна България	0,18
<i>Вътрешна радиация (във вашето тяло)</i>	
• От храна и вода	0,40
• От въздуха (радон)	2,00
• Ако имате порцеланови зъбни коронки и пломби	0,07
• Ако имате пейсмейкър (pacemaker) с плутониев енергиен източник	1,00
<i>Източници, свързани с пътуване</i>	
• Прибавете по 0,01 mSv за всеки 2000 km, които сте пропътували с реактивен самолет	0 + ...
• Ако на Вашето летище се използват X – лъчи за проверка на багажа	2×10^{-5}

Източници от друг характер	
• Тестове на атомно оръжие	0,01
• Вид на сградата, в която живеете - ако живеете в бетонна или тухлена сграда	0,07
• Ако гледате редовно телевизия	0,01
• Ако използвате често компютърен терминал (монитор)	0,001
• Ако имате детектор за дим (пожар) в дома или в помещението, в което работите	8×10^{-5}
• Ако имате мобилен телефон или ръчен часовник с LCD екран	6×10^{-4}
• Прибавете по 0,40 mSv за всеки медицински преглед с рентген през годината	0 + ...
• Ако живеете на разстояние до 80 km от ТЕЦ	3×10^{-4}
• Ако живеете на разстояние до 80 km от АЕЦ	9×10^{-4}

Максимално допустимата годишна ефективна доза за човек е 5 mSv [4]. За България средната сумарна годишна ефективна доза от естествени (природ-ни) източници е около 2,5 mSv. За хора, чиято професия не е свързана с източници на радиация, допълнителната средна годишна ефективна доза, дължаща се на изкуствени източници е около 0,7 mSv. Следователно общата средна годишна доза е около 3,2 mSv или около 65% от максимално допустимата. Ако при изчислението на дозата някой получава стойност над 3,2 mSv, трябва да се замисли за необходимостта от допълнителните рентгенови медицински прегледи, на които се подлага.

Литература

- [1] International Commission on Radiation Units and Measurements. Quantities and units in radiation protection dosimetry. *ICRU Report 51* (1993)
- [2] International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *ICRP Publication 60*. Annals of the ICRP 21(1-3). Pergamon Press, Oxford (1991)
- [3] Р. Кобиларов, Л. Костов, Хр. Протохристов, “Някои въпроси върху методологията на определяне на дозата”, в Сборник с доклади на XXXIV Национална конференция по въпросите на обучението по физика на тема “Физиката в биологията и медицината”, стр. 228 – 230 (2006)
- [4] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), Sources and Effects of Ionizing Radiation. *Report to General Assembly*, New York, United Nations (2000)

THE SPLIT STEP FOURIER METHOD FOR NUMERICAL MODELING OF N-SOLITON BOUND STATES OF THE NONLINEAR SCHRÖDINGER EQUATION

Todor N. Arabadzhiev and Ivan M. Uzunov

Department of Applied Physics, Technical University-Sofia, blv. Kliment Ohridski, 8, Sofia, Bulgaria, e-mail: tna@abv.bg

Abstract. The aim of this paper is to compare the numerical stability and accuracy of eight different versions of the split step Fourier method employed for computation of the high order N-soliton bound states of the Nonlinear Schrödinger Equation (NSE). It is shown that for $N = 3-6$ the method of Blow and Wood has the best numerical accuracy and stability.

Keywords: Split Step Fourier Method, nonnonlinear fiber optics.

1. Introduction

By using of the Nonlinear Schrödinger Equation (NSE) we can compute and theoretically predict physical phenomena such as the modulation instability and propagation of N-soliton bound states in optical fiber. The investigating of the split step Fourier method (SSFM) applied for the high order N-soliton bound states in optical fiber is interesting because of the reason that the high degree of the nonlinear compression of the N-soliton bound states among the propagation and respectively broadening of it spectrum limits applying of the well-known spectral methods describing in [1-3] for the long distance calculations - up to 2-soliton pulse. The using of spectral filtering and spectral windows can solve the problem with the aliasing effect but we want to find the limits of the applicability of the best known versions of the SSFM without using any kind of spectral filtering. Historically, after the development of a wide variety of finite-difference methods for the NSE [1] and the development of the algorithm of the fast Fourier transformation, Hardin and Tapert for the first time investigated the NSE by using the SSFM [2]. This method was developed further in many versions [3-7], but the question for the limits of applicability of each variant for the N-soliton bound states still remains open. Our way for investigating of the stability and accuracy of the SSFM is using of the approaches used in [1, 4] but applied for high order N-soliton bound states with $N > 2$. In our research, however, we present the results by more accessible way by comparing of the numerical results with well known exact amplitude of the N-soliton bound states [8]. As it is well known, in a numerically stable algorithm, truncation error or errors in the input lessen significantly as the algorithm proceeds, having little effect on the final output [1, 4]. In ref. [7] methods were presented for selection of the propagation step size of the SSFM, which may be considered as next stage in improvement of the method.

The NSE was investigated numerically in [4] by some classical and extrapolation variants of the SSFM. Our aim in this paper is to compare all basic methods described in [4] and to find the best method for describing of the N-soliton bound states. We have found the limits for their numerical stability achieved by refining of the propagation step and increasing of the sampling rate.

2. The splitting error

Because of its quickness, the SSFM is the most applied numerical method at the moment. This property is due to using of the fast Fourier transformation (FFT). To understand the principle of this method, it is convenient to write NSE by the operators $\hat{D}$ and $\hat{N}$ for the effects of the group velocity dispersion and phase self-modulation (nonlinearity) [3]:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial z} = (\hat{D} + \hat{N})\varphi, \text{ where } \hat{D} = -\frac{j}{2}\beta_2 \frac{\partial^2}{\partial T^2} - \frac{\alpha}{2} \text{ and } \hat{N} = j\gamma|\varphi|^2 \varphi \quad (1)$$

The dispersion and nonlinearity act simultaneously along the fiber, but SSFM is based on the approach that on small propagation distances linear dispersive and nonlinear effects act independently and we can split the solution into linear and nonlinear parts. The advantage comes from the fact that the linear dispersive operator is carried out relative fast in the Fourier domain. Splitting of the solution, however, introduces error, the so-called splitting error.

- In the *Simple* variant of the SSFM, where the solution of Eq. (1) is introduces by:

$$\varphi(z + \Delta z, T) = \exp(\Delta z \hat{D}) \exp(\Delta z \hat{N}) \varphi(z, T) \quad (2)$$

The splitting error term can be estimated by using of the Baker-Campbell-Hausdorff formula, as the local splitting error (the global error is given as $n + 1$ local errors) we will give as:

$$\varepsilon_{local}(\Delta z_n) = \|\varphi - \varphi_n\| = \left\| \left(\exp(\Delta z_n (\hat{N} + \hat{D})) - \exp(\Delta z_n \hat{D}) \exp(\Delta z_n \hat{N}) \right) \varphi_n \right\| \quad (3)$$

$$\varepsilon_{local} = \frac{1}{2} \Delta z^2 [\hat{D}, \hat{N}] \varphi(z, T) + O(\Delta z^3)$$

We can see that the local splitting error results from the single commutator $[\hat{D}, \hat{N}]$.

Thus for the *Simple* SSFM the local splitting error is proportional to Δz^2 [3].

The accuracy can be improved by using of the idea of symmetry in splitting. The attempt for employing of this idea reflects in the *Full*, *Reduced* and the *Agrawal's iteration methods (AIM)* of the SSFM.

- In the *Full* variant of SSFM, Eq. (2) is replaced by:

$$\varphi(z + \Delta z, T) \cong \exp\left[\frac{\Delta z}{2} \hat{D}\right] \exp\left[\Delta z \hat{N}(\varphi(z, T))\right] \exp\left[\frac{\Delta z}{2} \hat{D}\right] \varphi(z, T) \quad (4)$$

The main difference in this symmetrized form of the solution is that the effect of nonlinearity is included in the middle of Δz rather than at the boundary.

- The *Reduced* variant of SSFM can be written by:

$$\varphi(z + \Delta z, T) \cong \exp\left[\frac{\Delta z}{2} \hat{D}\right] \exp[\Delta z \hat{N}] \exp\left[\frac{\Delta z}{2} \hat{D}\right] \varphi(z, T) \quad (5)$$

- In the *Agrawal's iteration method (AIM)* of SSFM, the accuracy can be improved further by calculation of the nonlinearity in Eq. (3) as a function of z more accurately than approximating it by $\Delta z \hat{N}$. This can be done by using of the iteration procedure for the nonlinearity [3, 4]:

$$\varphi(z + \Delta z, T) \cong \exp\left[\frac{\Delta z}{2} \hat{D}\right] \exp\left[\frac{\Delta z}{2} [\hat{N}(z) + \hat{N}(z + \Delta z)]\right] \exp\left[\frac{\Delta z}{2} \hat{D}\right] \varphi(z, T) \quad (6)$$

An interesting property of the *AIM* is the possibility for more precise computation of the nonlinearity action by using of the iterative procedure. Some results in this aspect we have presented in this paper.

The most important advantage of the symmetrized variants of the SSFM is the fact that these methods have higher accuracy than unsymmetrized variants.

$$\varepsilon_{local} = \frac{1}{24} \Delta z^3 \left([\hat{D}, [\hat{D}, \hat{N}]] + 2 [\hat{N}, [\hat{D}, \hat{N}]] \right) \varphi(z + \Delta z/2, T) + O(\Delta z^4) \quad (7)$$

Then the splitting error term is from third order in step size:

- We propose an additional method which gives much better numerical results than the *Simple*, *Full* and *Reduced* methods. This method, which we named the *Simple2*, was constructed by the analogy with the *Simple* SSFM but the propagation step was divided in accordance with the following scheme:

$$\varphi(z + h, T) = \exp\left[\frac{\Delta z}{2} \hat{N}\right] \exp\left[\frac{\Delta z}{2} \hat{D}\right] \exp\left[\frac{\Delta z}{2} \hat{N}\right] \exp\left[\frac{\Delta z}{2} \hat{D}\right] \varphi(z, T) \quad (9)$$

The main advantage of this method is that the local splitting error term is proportional per step to Δz^3 (i.e one order better than the *simple* method) and the speed is comparable or better than the speed of some of the above-mentioned methods.

An attempt for further improving of the accuracy of third order in symmetrized variants of the SSFM was the higher order extrapolation method suggested from *Blow* and *Wood* [6] by using of the following scheme:

$$\varphi(z + \Delta z, T) \cong \underbrace{\text{symmetrized_basic_method}}_{4\Delta z} \underbrace{\text{symmetrized_basic_method}}_{-2\Delta z} \underbrace{\text{symmetrized_basic_method}}_{4\Delta z} \varphi(z, T) \quad (10)$$

In this scheme the leading local error term is proportional to: $4\Delta z^3 + (-2\Delta z)^3 + 4\Delta z^3 \cong 0$, i.e., it cancels at this order, leaving the leading local term proportional per step to Δz^4 .

In order to find the optimal variant for modeling of the N-soliton bound states we have realized some different variants of the *Blow-Wood* method by using of the basic methods presented above. We have considered 3 variants of the *Blow-Wood* method.

- The variant named *Blow-Wood-Reduced (BWR)* was constructed by using of the *Reduced* method a basic method in the *Blow-Wood* scheme.

- The *Blow-Wood-Agrawal* (*BW-Agr*) method was constructed by using of the *Agrawal* method as a basic method in the Blow-Wood scheme.
- The *Blow-Wood-Simple2* (*BWSimple2*) method was constructed by using of the *Simple2* method as a basic method in the Blow-Wood scheme.

3. Numerical simulations and results

In this paragraph, we comment the numerical stability of all described above methods. However, because of the big number of considered methods we have presented graphically only results for these methods which show a good numerical stability along the full propagation distance at comparable computational speed.

To compare the methods our approach will be:

i) To check the numerical stability of each method we have investigated the classical case for propagation of N-soliton bound state in optical fiber. The form of the N-soliton bound state is given in accordance with the work of Satsuma and Yajima [8]. We have determined the numerical amplitude φ_n and corresponding exact amplitude $\tilde{\varphi}$ for computations at each propagation step. The stability condition is: $\max|\varphi_n - \tilde{\varphi}| < \varepsilon$, where ε is only a small portion from the exact soliton's amplitude $\tilde{\varphi}$. The stability condition is performed on the longest distance for the better methods. We have presented graphically in the figures only results for the best two methods.

ii) To find a way for improving of the stability and to ensure an acceptable computation time, the basic parameters which are used in this research, are: sampling rate (discretization) $k = 8192$, basic size of the propagation step $\Delta z = 0.001$, the distance is normalized in soliton periods. The full distance of propagation in all cases was 300 soliton periods. To achieve the best accuracy and stability of each method, we use optimal size of the propagation step showed by the basic size: $\Delta z/4$ mean $0.001/4$. In the case of using of the AIM, the number of iterations is chosen to be optimal to achieve the best accuracy and stability and usually increasing of this number can't lead to any improving.

In the cases: *Sech(T)* and *2Sech(T)* i.e. one-soliton solution and 2-soliton bound state, all mentioned in the previous paragraph methods were also investigated. As a result, it was obtained that in the first case all described methods are stable. In the second case the considered methods are stable too with only exception of the *Full* method. The *AIM* method shows the best accuracy (fig. 1).

For the case of 3-soliton bound state (*3Sech(T)*) the optimal methods are the *BWR* and the *AIM* with 3-iterations but as we can see in fig. 2b, the *BWR* is better at equal computation speed. At much shorter distances (< 100 soliton periods) the *Simple2* method is good too (fig 2a).

In fig.3 the cases of 4-soliton and 5-soliton bound state are presented. The most effective variants in these cases are the *BWR* and the *AIM* with 4-iterations as the *BWR* is the faster. For 4-soliton bound state the *BW-Agr* and *Simple2* methods can achieve good stability but at much lower computational speed that force us to drop

out this method from further considering. For the 5-soliton bound state we have no other alternative of the presented methods.

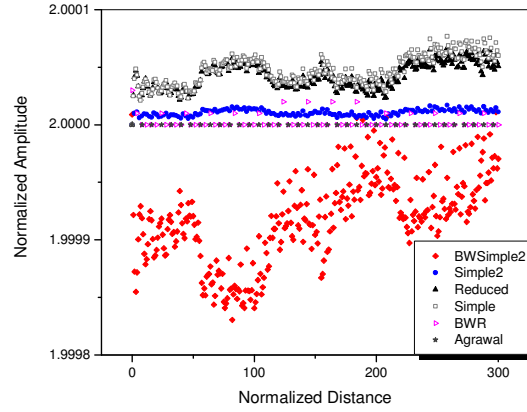


Fig. 1 N -soliton bound state with $N = 2$, sampling rate: 8192 points.

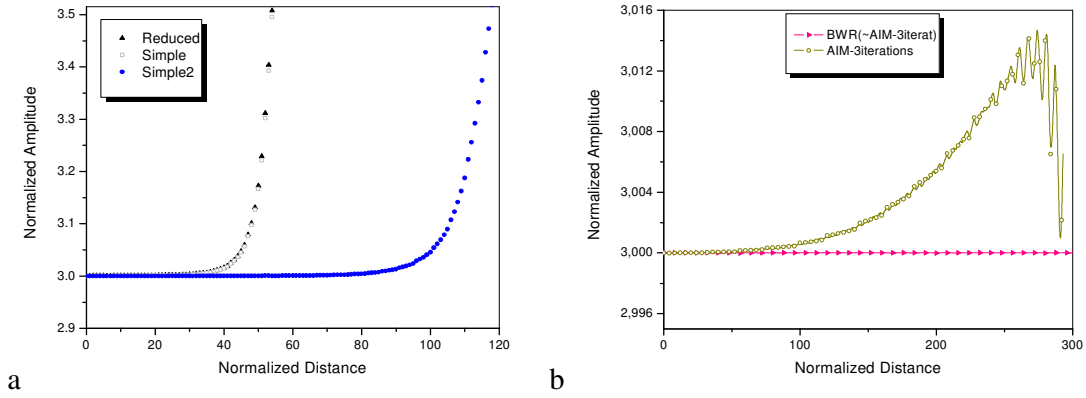


Fig. 2 N -soliton bound state with $N = 3$ modeled with: **a)** Reduced, Simple Simple2; **b)** BWR and AIM-3iteration methods.

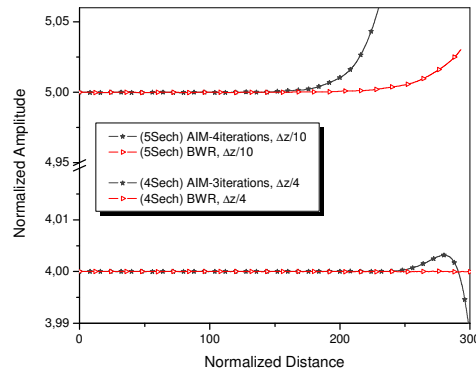


Fig. 3 N -soliton bound state with $N = 4$ modeled with BWR and AIM - 3 iteration methods with propagation step $\Delta z/4$ and $N = 5$ modeled with BWR and AIM - 4 iterations with propagation step $\Delta z/10$ and sampling rate: 8192 points.

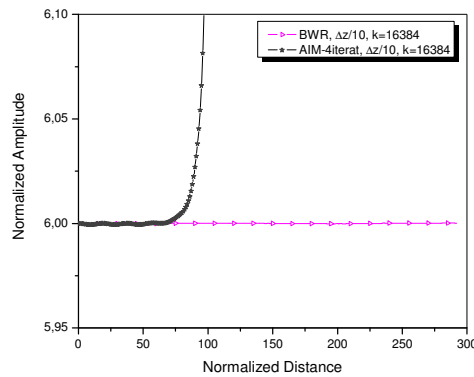


Fig. 4 *N*-soliton bound state with $N = 6$ modeled with BWR and AIM - 4 iterations methods with propagation step $\Delta z/10$ and sampling rate: 16384 points.

In the fig. 4 we can see that the BWR has not an alternative and stayed stable on the full distance of propagation.

4. Conclusions

Eight different methods of the SSFM were investigated. We ascertain the fact that the BWR is the most effective method of the SSFM methods for numerical investigation of high order N -Soliton bound states of the NSE. It demonstrates a good numerical stability, accuracy and speed that cannot be reached from other method for $N = 3-6$. This result is in agreement with theoretical analysis for the splitting error.

References

- [1]T. Taha, M. Ablowitz, "Analytical and Numerical Aspects of Certain Nonlinear Evolution Equations. II. Numerical, Nonlinear Schrodinger Equation", J. Comput. Physics **55**, 203-230 (1984)
- [2]R. Hardin, F. Tapert, "Application of the split step Fourier method to the numerical solution of nonlinear and variable coefficient wave equation.", SIAM Rev. Cronicle **15**, 423 (1973)
- [3]G. Agrawal, "Nonlinear Fiber Optics", Acad. Press (2001)
- [4]T. Hohage, F. Schmidt, "On the Numerical Solution of Nonlinear Schrodinger Type Equations in Fiber Optics", Konrad-Zuze-Zentrum fur Informationstechnik Berlin, ZIB-Report 02-04 (2002)
- [5]M. Potasek, G. Agrawal S. Pinault, "Analytic and numerical study of pulse broadening in nonlinear dispersive fibers", JOSA B, **3** (2), 205-211 (1986)
- [6]K. Blow, D. Wood, "Theoretical Description of Transient Stimulated Raman Scattering in Optical Fibers", **25** (12), 2665-2673 (1989)
- [7]O. Sinkin, R. Holzlohner, J. Zweck, C. Menyuk, "Optimization of the Split-step Fourier Method in Modeling Optical Fiber Communications Systems", J. Lightwave Technologies **21**, 61-68, (2003)
- [8]J. Satsuma, N. Yajima, "Initial value problems of one dimensional self-modulation of nonlinear waves in dispersive media", Progr. Theor. Phys. Suppl. **55**, 286-306 (1974)

ОТНОСНО ЕЛЕКТРОМАГНИТНИЯ ПРОЦЕС В ЕЛЕКТРОПРОВОДИТЕ ЗА ПОСТОЯНЕН ТОК

Доц. д-р инж. Стефан Дамянов

Технически университет – София, бул. Кл. Охридски 8, 1000 София

Резюме. Направен е акцент върху съвременното приложение и теорията на Електропроводите за Постоянен Ток, в контекста на – Електропроводите за Променлив Ток. Разгледани са някои физико-математически основания и доказателства, относно научната концепция на автора за вълновия характер на стационарния (работния) електромагнитен процес в Електропроводите за Постоянен Ток и някои произтичащи научни следствия.

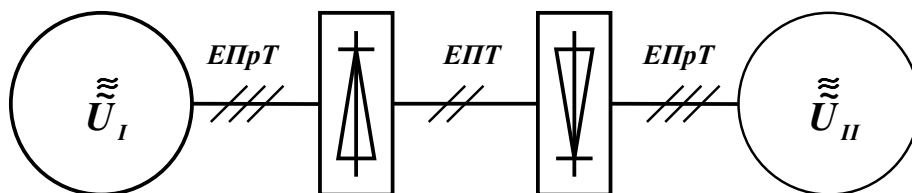
1. Приложения на ЕПТ в съвременната електроенергетика

Известно е, че електроенергетиката в световен мащаб, по принцип е изградена и функционира на базата на трифазната система за променлив ток с честота $f = 50\text{Hz}$ или $f = 60\text{Hz}$. От 1950 г. насам, в редица страни (САЩ, Канада, Русия, Китай, Япония и др.) започнаха да внедряват в своите електроенергийни системи Електропроводите за Постоянен Ток (ЕПТ), поради определени технико-икономически съображения и предимства в сравнение с Електропроводите за Променлив Ток (ЕПр.Т) [1-5]. Най-често, ЕПТ се използват за пренасянето на големи енергийни потоци с мощности от порядъка на GW, на големи разстояния (над 1200 km), със свръхвисоки напрежения, достигащи при биполярна система до $\pm 1100\text{kV}$ и постоянен ток от порядъка на kA. Например в Русия, ЕПТ „Екибастуз – Център” има мощност 10 GW, напрежение $\pm 1100\text{kV}$, и дължина 2500 km. Особено, полезни са кабелните ЕПТ, за преодоляването на големи водни дистанции. Така например, кабелен ЕПТ свързва електроенергийните системи на Франция и Англия през Ламанша (вероятно, сега в тунела). Неотдавна, бе включен в действие кабелен ЕПТ между Австралия и о-в Тасмания. Понастоящем, в Световната електроенергетика работят повече от 60 ЕПТ и техният брой непрекъснато се увеличава. Вече две десетилетия се очаква активизация по един грандиозен проект за свързването на най-мощните в Света електроенергийни системи – на САЩ и Русия с ЕПТ през Беринговия пролив с мощност 20 GW и дължина 10000 km [4]. Очевидно е, че в този проект, освен наука, техника, икономика има много политика и само бъдещето ще покаже дали ще бъде реализиран.

През месец септември (2009 г.) бе съобщено по БНТ [6], че под научното ръководство на Германския физик проф. Герхард Квес се започва работа по проекта „Дезъртек” на консорциум от 20 германски фирми, включително „Сименс” и „Дойче Банк”, на стойност 350 милиарда евро за добив на слънчева електроенергия, в пустинята „Сахара”. Значителна част от произведената

електроенергия ще бъде пренасяна чрез ЕПТ в Европа за задоволяване на 25% от електроенергийните нужди на последната.

Тук ще поясним, че ЕПТ се включват към трифазната променливо-токова система, чрез съответни токопреобразователни станции – токоиправителна и инверторна, които реверсивно могат да променят своята роля в съответствие с посоката на пренасяния електроенергиен поток (фиг.1)



Фиг. 1

От казаното до тук ясно става, че сега ЕПТ имат значително участие в Световната електроенергетика и устойчива тенденция за разширяване на приложението им в бъдеще. Следователно, теоретичните проблеми относно електромагнитния процес в ЕПТ са актуални в различни научни аспекти, включително за оптимизирането на КПД и на конструкцията на ЕПТ в напречен разрез.

2. Теоретично състояние на ЕПр.Т и ЕПТ

Според сегашната научна и учебна литература съществува фундаментално теоретично различие във физическата картина на електромагнитните процеси в двата вида електропроводи, а именно: Докато в ЕПр.Т, електромагнитния процес се разглежда като вълново-електромагнитен, то за ЕПТ се разглежда като класически токопроводимостен процес съгласно стереотипното приложение на закона на Ом. Сегашното принципно теоретично различие относно електромагнитните процеси на двата вида електропроводи, много ясно и категорично е отразено в добре известната у нас (поне в недалечното минало) руска научно-учебна литература, като например, книгата „Дальние электропередачи переменного и постоянного тока” с автори: В. А. Веников и Ю. П. Рижов [1] стр. 37 - „Энергия передаваемая по линиям электропередачи с помощью переменного тока, связана с распространяющимся электромагнитными волнами и направлена вдоль проводов”.

стр. 160 - „Процесс передачи электрической энергии постоянного тока носит принципиально иной характер по сравнению с передачей по линии переменного тока. Передача энергии в этом случае не связана с волновыми электромагнитными процессами, благодаря чему линии постоянного тока обладают качественно иными характеристиками, нежели линии переменного тока”.

В контекста на цитираната литература, тук критично ще отбележим, че в български учебник по „Теоретична електротехника” част 2, 1990 г. [9] е

изразено некоректно твърдение, а именно, че при честота $f = 50\text{Hz}$, голямата стойност на дължината на електромагнитната вълна $\lambda = 6000\text{km}$ давала основание да се пренебрегне вълновия характер при съвременните далекопроводи.

Напротив, от натрупания в световен план научно-технически опит при проектирането и експлоатацията на ЕПр.Т, ясно се откроява тенденцията за вземане под внимание на вълновия характер на електромагнитния процес. Това се потвърждава и от цитираната по-горе литература [1].

По-долу, в целесъобразно-резюмиран вид е изложен съвременният физико-математичен подход към ЕПр.Т и ЕПТ.

ЕПр.Т се разглеждат като линейни електрични вериги с разпределени параметри $L_0(\text{H}/\text{m})$; $C_0(\text{F}/\text{m})$; $R_0(\Omega/\text{m})$; и $G_0(\text{S}/\text{m})$, въз основа на системата от двете телеграфни уравнения (частни диференциални от първи ред) свързващи функционалните величини напрежението $U(t, x)$ и тока $i(t, x)$ с независимите променливи величини времето t и пространствена координата x , а именно:

$$-\frac{\partial U}{\partial x} = L_0 \frac{\partial i}{\partial t} + R_0 i; \quad (1)$$

$$-\frac{\partial i}{\partial x} = C_0 \frac{\partial U}{\partial t} + G_0 U; \quad (2)$$

и произтичащите от (1) и (2) едномерни вълнови уравнения (частни диференциални от втори ред – хиперболични), главните части на които са дадени в (3) и (4)

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = L_0 C_0 \frac{\partial^2 U}{\partial t^2}; \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 i}{\partial x^2} = L_0 C_0 \frac{\partial^2 i}{\partial t^2}; \quad (4)$$

Аналитичното решение на (3) и (4), като „Задача на Коши (Cauchy)“ води до наличието на права и обратна бягащи вълни на напрежението и тока, а именно (при хармоничен процес):

$$U(t, x) = U_{\Pi}(t, x) + U_0(t, x) = U_{\Pi} e^{-\alpha x} \cos(\omega t - \beta x) + U_0 e^{\alpha x} \cos(\omega t + \beta x); \quad (5)$$

$$i(t, x) = i_{\Pi}(t, x) + i_0(t, x) = \frac{U_{\Pi}}{Z_0} e^{-\alpha x} \cos(\omega t - \beta x) + \frac{U_0}{Z_0} e^{\alpha x} \cos(\omega t + \beta x); \quad (6)$$

При идеализираните условия (а) или (б) (по „Хевисайд“)

$$R_0 = 0; \quad G_0 = 0; \quad (a)$$

$$\frac{R_0}{L_0} = \frac{G_0}{C_0}; \quad \varepsilon = \varepsilon_0; \quad \mu = \mu_0; \quad (б)$$

вълновата (фазовата) скорост V е равна на:

$$V = \pm \frac{\omega}{\beta} = \pm \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}} = \pm c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}; \quad (7)$$

вълновото съпротивление е равно на:

$$Z_{\epsilon} = \pm \sqrt{\frac{R_0 + j\omega L_0}{G_0 + j\omega C_0}} = \pm \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}; \quad \Omega \quad (8)$$

Тук ще отбележим, че фазовата скорост V и вълновото съпротивление Z_{ϵ} са фундаментални параметри, които характеризират вълновата физическа природа на електромагнитния процес в ЕПр.Т. Към параметрите на вълновия електромагнитен процес в ЕПр.Т се отнасят още и параметрите:

$\alpha(m^{-1})$ - коефициент на затихването;

$\beta(m^{-1})$ - фазов коефициент;

$\gamma(m^{-1})$ - коефициент на разпространението;

В общия случай е в сила изрази (9)

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R_0 + j\omega L_0)(G_0 + j\omega C_0)}; \quad (9)$$

При условията (а) и (б) следва

$$\gamma = j\beta = j\omega \sqrt{L_0 C_0}; \quad (9a)$$

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{R_0 G_0} + j\omega \sqrt{L_0 C_0}; \quad (9b)$$

По-долу в доклада, критично-целесъобразно отново ще се върнем към решението на вълновото уравнение, особено в контекста на неговия каноничен вид и характеристичното му уравнение.

Тук обаче ще отбележим един сериозен научно-методологичен недостатък на сегашния физико-математически подход в теорията на ЕПр.Т, относно вълновия характер на електромагнитния процес. Това е игнорирането (неразкриването) на основната физическа причина за формирането на вълновия характер на електромагнитния процес, а именно – електромагнитните сили. Този теоретичен дефицит, особено ясно се откроява в контекста на формулата за фазовата скорост на вълновия процес при трептящата струна:

$$V = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}; \quad (10)$$

където: F_T - силата на опън на струната; μ - линейна плътност на масата на струната;

Макар, че формула (10) произтича тясно от Нютоновата механика, тя притежава голям научно-методичен заряд, относно ролята на силите (въобще) за формирането на вълновия процес. В тази връзка, формула (10) методологично „подказва”, че и фазовата скорост по формула (7), относно вълновия електромагнитен процес функционално трябва да е свързана (по някакъв начин) с електромагнитните сили. По-долу в работата ще бъде използван този научно-методологичен подход относно електромагнитния процес в ЕПТ.

Според сега утвърденото в глобален план теоретично ниво, относно ЕПТ е прието (некоректно -според автора), че постоянният ток и напрежение (наричани още прав ток и право напрежение) се характеризират с честота равна на

„константата” нула ($f = 0$; $\omega = 2\pi f = 0 = \text{const.}$). Това автоматично „де юре” води до математическото анулиране на първите членове от дясната страна на телеграфните уравнения (1) и (2), а именно:

$$f = 0; \quad \omega = 2\pi f = 0; \quad L_0 \frac{\partial i}{\partial t} = 0; \quad C_0 \frac{\partial U}{\partial t} = 0; \quad (11)$$

В резултат на тази драстична теоретична интервенция (11), телеграфните уравнения за ЕПТ се редуцират на обикновени диференциални уравнения, а именно (1') и (2')

$$\frac{dU}{dx} = R_0 I; \quad (1')$$

$$\frac{dI}{dx} = G_0 U; \quad (2')$$

в които участва само независимата пространствена координата x (отчитана в обратна посока).

Очевидно е, че въз основа на (1') и (2') е невъзможно да се достигне до вълновите уравнения (3) и (4), а и до всички останали уравнения (5) – (9б). Следователно, сегашната теория на ЕПТ фундаментално изключва съществуването на вълнов електромагнитен процес. Нещо повече, тъй като класическата теория на постоянния ток „спонтанно” продължава да е подвластна на Закона на Ом, като „единствена” научна алтернатива, то относно ЕПТ е възприето анулирането в (2') на параметъра G_0 (характеризиращ йонизационния разряд „корона”) [1], а именно:

$$G_0 = 0; \quad \rightarrow \quad \frac{dI}{dx} = G_0 U = 0; \quad (2'')$$

По този начин уравнение (2') въобще изчезва, а останалото – (1'), след интегриране води до Закона на Ом, а именно:

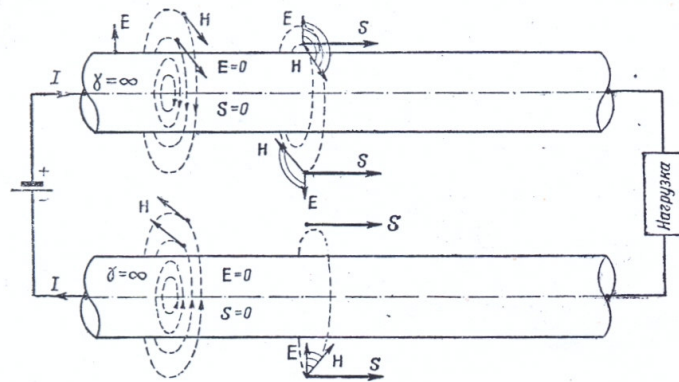
$$\int_{U_2}^{U_1} dU = \int_0^l I R_0 dx; \quad \text{или} \quad I = \frac{U_1 - U_2}{R_0 l} = \frac{U_1 - U_2}{R_l}; \quad (1'')$$

Това е основното уравнение, което характеризира токопроводимостния модел на съвременните ЕПТ, пренасящи огромни електроенергийни потоци на големи разстояния. Очевидно, въз основа на (1'') се достига до израза за пренасяната мощност [1]

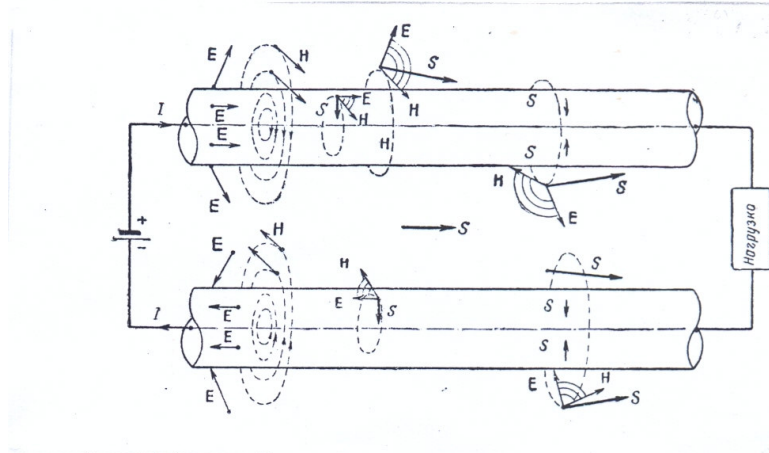
$$P = \frac{U_{\text{НОМ.}}^2}{R_l}; \quad (12)$$

Според автора, удивителната физико-математическа опростеност на токопроводимостния модел на ЕПТ и спонтанната традиционна увереност в Закона на Ом, още от школската физика са довели до прекомерна анти-научна заблуда относно истинската физическа природа на електромагнитния процес в ЕПТ с далеч отиващи последиствия.

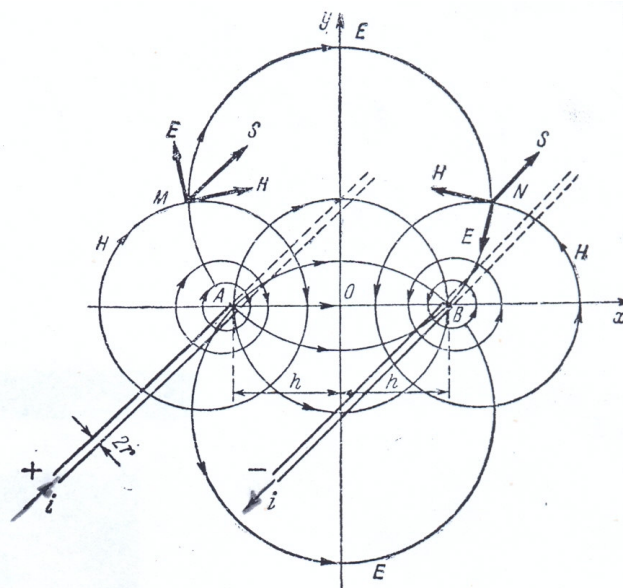
Така например, според токопроводимостния модел на ЕПТ, енергията се пренася от електронния поток вътре в полюсните проводници. Но тази „физическа” представа се намира във фундаментално противоречие с



Фиг. 2а Вектор на Пойтинг в идеален ЕПТ.



Фиг.2б Вектор на Пойтинг в реален ЕПТ.



Фиг. 2в Вектор на Пойтинг в ЕПТ (напречен разрез).

известната теорема на Пойтинг [8]: „Не зарядите в проводниците пренасят енергията, а електрическото (и магнитното – С.Д.) поле в разделяция ги диелектрик. Мощността на предаваната енергия се определя не непосредствено от тока и напрежението, а чрез свързания с тях поток на вектора на Пойтинг” (виж фиг 2а,б,в). От фиг. 2а се вижда, че при идеален (свръхпроводящ) ЕПТ, вектора на Пойтинг $\vec{S}$ е равен на нула в обема на проводниците, т.е. в тях няма енергиен поток. От фиг. 2б, при реален ЕПТ се вижда, че в обема на проводниците вектора на Пойтинг $\vec{S}$ е различен от нула, но там той характеризира единствено енергийните загуби. Следователно, само в диелектричното пространство около проводниците, вектора на Пойтинг $\vec{S}$ характеризира пренасяния енергиен поток от източника към потребителя [10].

В този контекст, ще приведем становище на известния немски физик – теоретик А. Sommerfeld [11]: „Действително, теорията на Максвел води към фундаментално различие между понятието „проводник” и „непроводник” (диелектрик). Проводниците се явяват непроводници на енергията. Само в непроводниците електромагнитната енергия може да се разпространява без загуби... Названията „проводник” и „непроводник” отразяват само поведение на телата по отношение към зарядите. Тези названия могат да въведат в заблуждение при разглеждане тяхното поведение по отношение към енергията”.

От казаното до тук се достига до извода, че сега въприетия токопроводимостен модел на ЕПТ се характеризира с фундаментална противоречивост и неяснота, относно физико-математическия механизъм на преносния електроенергиен процес и пространствената му локализация. Този теоретичен модел на ЕПТ няма нищо общо с вълновия електромагнитен модел на ЕПр.Т. Наистина, от фиг. 2в, се вижда, че в диелектричното пространство, около полюсните проводници на ЕПТ съществува, както електрическо поле $\vec{E}$, така и магнитно поле $\vec{H}$, които са взаимно ортогонални (акцентираме на тази физическа закономерност). Но, сегашната теория (на електромагнитното поле) разглежда тези физически полета, като потенциални, а именно:

$$\vec{E} = -\text{grad}V_e ; \quad \vec{H} = -\text{grad}V_m ; \quad (13)$$

Съгласно (13), некоректно е привнесена теоретична забрана за вълнов електромагнитен процес в ЕПТ.

3. Концепция за вълнов електромагнитен процес в ЕПТ.

В резултат на дълбоката научно-методологична убеденост на автора в принципното физико-математическо единство и логика на електромагнитните процеси в двата вида електропроводи (ЕПр.Т и ЕПТ), от една страна и научно-критичния поглед върху сегашната им теория, от друга страна се достига до концепцията за вълнов характер на електромагнитния процес в ЕПТ.

Според тази концепция, ЕПТ представлява класически вълновод (принципно, аналогичен на ЕПр.Т) в който ел. енергия се пренася в

диелектричното пространство около полюсните проводници, чрез вълново плоско-паралелно електромагнитно поле с определена фазова скорост, горната граница, на която е скоростта на светлината във вакуум ($c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$).

Физико-математическата аргументация, относно действието на ЕПТ като вълновод, тук ще бъде направена по два различни начини, при които се потвърждава участието на фундаменталния параметър „фазова” скорост, а именно:

1. ЕПТ се разглежда като граничен физико-математически случай на вълновода характеризиращ ЕПр.Т.

2. ЕПТ се разглежда като вълновод в контекста на теорията за силово-енергийните зависимости в електрическото и магнитното полета.

За доказателство по т. 1 е изходено от известна формула за фазовата скорост при ЕПр.Т за най-общия случай [8, формула (34.17)], а именно:

$$\frac{1}{V^2} = \frac{\beta^2}{\omega^2} = \frac{1}{2} \left(L_0 C_0 - \frac{R_0 G_0}{\omega^2} \right) + \frac{1}{2} \sqrt{\left(L_0 C_0 + \frac{R_0 G_0}{\omega^2} \right)^2 + \left(\frac{R_0 C_0}{\omega} - \frac{L_0 G_0}{\omega} \right)^2}; \quad (14)$$

След математическа обработка на (14) при $\omega \rightarrow 0$, по „Лопитал”, относно неопределена форма от вида $\frac{0}{0}$, се достига до израза за фазовата скорост на вълновия процес в ЕПТ:

$$V_{\omega \rightarrow 0} = \pm \frac{2\sqrt{R_0 G_0}}{R_0 C_0 + G_0 L_0} = \pm c \frac{2\sqrt{R_0 G_0 L_0 C_0}}{R_0 C_0 + G_0 L_0}; \quad (14')$$

При изпълнение на известното условие на Хевисайд $R_0 C_0 = G_0 L_0$; от (14') се получава израз

$$V = \frac{\omega}{\beta} = c = \pm \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}; \quad (14'')$$

Очевидно, фундаменталният израз (14'') категорично потвърждава наличието на вълнов електромагнитен процес в ЕПТ.

За доказателство по т. 2, относно ЕПТ като вълновод, ще бъде изходено (накратко) от следните известни теоретични предпоставки [12]:

стр. 41 „Система (от тела), включена към източник с постоянни потенциали винаги се стреми (под действието на възникващите сили – С.Д.) да заеме положение, съответстващо на възможната за тази система максимална енергия, т.е. максимален заряд” (и капацитет – С.Д.);

стр. 50 „Система от контури с постоянен ток, под действието на възникващите в нея сили, се стреми да заеме положение, съответстващо на възможната за тази система максимална енергия, т.е. максимално потокосцепление” (и индуктивност – С.Д.)

На горесцитираните формулировки съответстват следните формули, относно големините на обобщените сили – електрическа (Кулонова) F_e и магнитна (Амперова) F_m :

$$F_e = \left(\frac{\partial W_e}{\partial x} \right)_{U=\text{const}} = \frac{d}{dx} \left(\frac{CU^2}{2} \right)_{U=\text{const}} = \frac{U^2}{2} \frac{dC}{dx}; \quad (15)$$

$$F_m = \left(\frac{\partial W_m}{\partial x} \right)_{I=\text{const}} = \frac{d}{dx} \left(\frac{LI^2}{2} \right)_{I=\text{const}} = \frac{I^2}{2} \frac{dL}{dx}; \quad (16)$$

Според автора, ЕПТ съдържа и обединява двете горесцитирани физически системи в една – система от по-висок физически ред. В тази връзка, сходната математическа форма на (15) и (16), относно F_e и F_m методологично „подказва“, че за физическото единодействие на силите на двете полета е необходимо, обобщената координата x , която участва в двата израза, да бъде една и съща величина. В случая, тя се идентифицира на пространствената (геометричната) координата x , съвпадаща с надлъжната ос на ЕПТ. Това позволява диференциалните нараствания на капацитета dC , и на индуктивността dL да се представят с равенствата:

$$dC = C_0 dx; \quad (17)$$

$$dL = L_0 dx; \quad (18)$$

където: C_0 и L_0 са известните разпределени параметри. Тук ще отбележим, че ЕПТ разглеждан като вълновод, в теоретично отношение се приема с безкрайна дължина в съответствие с предпоставките от „Задачата на Коши“.

Въз основа на (17) и (18), изразите за F_e от (15) и F_m от (16) получават вида

$$F_e = \frac{C_0 U^2}{2}; \quad (15')$$

$$F_m = \frac{L_0 I^2}{2}; \quad (16')$$

От равенството на двете сили се достига до израза за вълновото съпротивление, а именно:

$$F_e = F_m; \quad \frac{C_0 U^2}{2} = \frac{L_0 I^2}{2}; \quad \frac{U}{I} = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} = Z_0; \quad (19)$$

При „обединеното“ действие на двете сили $\vec{F}_e$ и $\vec{F}_m$ се достига до израз, в който участва фундаменталния параметър „фазовата скорост“, и до асоциация с механиката, а именно:

$$F_w = F_e + F_m = \frac{C_0 U^2}{2} + \frac{L_0 I^2}{2} = UI \sqrt{L_0 C_0} = \frac{P_w}{V}; \quad (20)$$

където: F_w - вълнова електромагнитна сила; V - фазовата скорост

$$V = \pm \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}};$$

P_w - мощност на електромагнитната вълна;

$$P_w = UI = F_w V; \quad (21)$$

От (21) се вижда, че израза за мощността на електромагнитната вълна асоциативно води до механиката, където чрез аналогичен израз ($F.V$) се определя мощността пренасяна чрез механична система. Така в този случай,

принципално се потвърждава известната научна теза, че вълновото електромагнитно поле има материален характер – притежава маса m_{em} [13].

Въз основа на (19); (14'); (17); (18) и на други известни закономерности се получават изразите за тока и напрежението на електромагнитната вълна в ЕПТ (теоретично – безкрайно дълъг, съгласно „Задачата на Коши“, или с крайна дължина и товарно съпротивление $R = Z_e$), а именно:

$$I = UC_0 V = UC_0 \frac{dx}{dt} = U \frac{dC}{dt} = \frac{d(CU)}{dt} = \frac{dQ}{dt} = const; \quad (22)$$

$$U = IL_0 V = IL_0 \frac{dx}{dt} = I \frac{dL}{dt} = \frac{d(LI)}{dt} = \frac{d\phi}{dt} = const; \quad (23)$$

От (22) и (23) става ясно, че тока I и напрежението U имат вълнова електромагнитна природа, фундаментално различна от известната токопроводимостна природа на постоянния ток. Така например, участващата в (22) и (23) фазова скорост $V = c \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ е огромно число (над 10^{12}) пъти по-голяма от скоростта на електронния поток в проводниците ($V_e \approx 7 \cdot 10^{-5} m/s$).

Напрежението от (23) и тока от (22) разгледани като бягащи вълни (прави) имат следните изрази за идеален ЕПТ:

$$U = U_{\Pi} \cos(\alpha t - \beta x) = const; \quad (23')$$

$$I = I_{\Pi} \cos(\alpha t - \beta x) = \frac{U_{\Pi}}{Z_e} \cos(\alpha t - \beta x) = const; \quad (22')$$

Вълновият електромагнитен процес в ЕПТ при товарно съпротивление ($R \neq Z_e$), освен бягащи вълни в права посока (от източника към потребителя) съдържа и бягащи вълни в обратна посока. Този случай е разгледан в други научни работи на автора [14 - 19].

От изложеното по-горе става ясно, че вълновият електромагнитен процес в ЕПТ е спонтанен физически процес, който се формира под действие на електромагнитните сили, независимо от граничната честота ($f \rightarrow 0$).

По-долу са дадени още някои характерни физико-математически закономерности на ЕПТ като вълновод, а именно:

$$T = \frac{1}{f} \rightarrow \infty; \quad \lambda = c.T \rightarrow \infty; \quad \omega = \frac{2\pi}{T} \rightarrow 0; \quad \beta = \frac{2\pi}{\lambda} \rightarrow 0; \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \gamma &= \alpha + j\beta = \lim_{\omega \rightarrow 0} \sqrt{(R_0 + j\omega L_0)(G_0 + j\omega C_0)} = \\ &= \sqrt{R_0 G_0} + j\omega \frac{(R_0 C_0 + G_0 L_0)}{2\sqrt{R_0 G_0}}; \end{aligned} \quad \text{при } (R_0 C_0 \neq G_0 L_0); \quad (25)$$

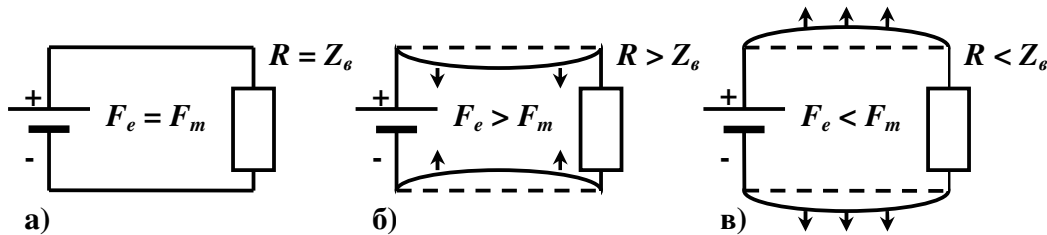
$$\gamma = \sqrt{R_0 G_0} + j\omega \sqrt{L_0 C_0}; \quad \text{при } (R_0 C_0 = G_0 L_0); \quad (25')$$

$$Z_e = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} \cdot \sqrt{k}; \quad \text{при } (R_0 C_0 \neq G_0 L_0); \quad k = \frac{R_0 C_0}{G_0 L_0} \neq 1; \quad (26)$$

$$Z_e = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}; \quad \text{при } (R_0 C_0 = G_0 L_0); \quad k = 1; \quad (26')$$

Въз основа на общата формула за фазовата скорост $V = \omega/\beta$; може да се потвърдят конкретните изрази (14') и (14'') за фазовата скорост при ЕПТ, като се използват изразите за β от (25) и (25').

За определяне посоката на електромагнитните сили F_e и F_m , с които си взаимодействат полюсните проводници на ЕПТ в перпендикулярно направление, тук е приложена същата физико-математическа логика, както при формули (15) и (16), а именно: Електрическата сила F_e се стреми да „намали” разстоянието между полюсните проводници, за да се „увеличи” капацитета и заряда. Магнитната сила F_m се стреми да „увеличи” разстоянието между полюсните проводници за да се „увеличи” индуктивността и потокосцеплението. Установената противопосочност на силите F_e и F_m в случая не е изненада, а очакван научен резултат. По-интересното тук научно следствие се заключава в това, че са възможни три различни случая произтичащи от резултантното действие на F_e и F_m , в зависимост от големината на товарното съпротивление R на ЕПТ, по отношение на неговото вълново съпротивление Z_e (фиг. 3а, б, в).



Фиг. 3

Тук без да навлизаме в по-големи подробности, ще отбележим, че установеното научно следствие фундаментално произтича от вълновия характер на електромагнитния процес в ЕПТ. Това физическо следствие представлява сериозно научно предизвикателство, относно коректността на сегашното определение (дефиниция) на основната единица „Ампер” в SI. В други работи на автора е установено, че при товарно съпротивление ($R = Z_e$) ЕПТ работи при максимален КПД [19].

4. Акцент за теоретична принадлежност на постоянния ток и напрежение към вълновото уравнение

Сегашното теоретично изключване на постоянния ток и напрежение от пълните телеграфни уравнения (1) и (2) и от вълновите уравнения (3) и (4) е фундаментално некоректно, поради следните аргументи:

1. Допускането, че постоянния ток и напрежение се характеризират с константна нулева честота $f = 0$, е некоректно от математическа гледна точка,

тъй като формулата $T = 1/f$, разгледана като функция $T(f)$, не е дефинирана за $f = 0$ (не се дели на нула). Правилният математически подход е $f \rightarrow 0$;

2. Допускането при изходните телеграфни уравнения (1) и (2), че величините x и t са напълно независими една от друга е некоректно. Те са независими една от друга, само като начално математическо статукво. В последствие „статуквото“ е нарушено, а именно:

Вълновото уравнение (3)

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = L_0 C_0 \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = \frac{1}{V^2} \frac{\partial^2 U}{\partial t^2}; \quad (3)$$

чрез своето характеристично уравнение:

$$\left(\frac{\partial Z}{\partial x}\right)^2 - \frac{1}{V^2} \left(\frac{\partial Z}{\partial t}\right)^2 = 0; \quad (28)$$

и чрез своя каноничен вид:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial \mu \partial \eta} = 0; \quad \text{или} \quad \frac{\partial}{\partial \mu} \left(\frac{\partial U}{\partial \eta} \right) = 0; \quad (3')$$

при субституциите:

$$\mu = x - Vt = \text{const}; \quad \text{и} \quad \eta = x + Vt = \text{const}; \quad (29)$$

довежда до фундаменталната зависимост между величините x и t , а именно:

$$\partial x = dx; \quad \partial t = dt; \quad dx = \pm V dt; \quad x = \pm Vt; \quad (30)$$

$$U_{II}(\mu) = \text{const}; \quad U_0(\eta) = \text{const}; \quad (31)$$

Ако зависимостите от (30) се заместят в телеграфните уравнения (1) и (2) се получават изразите:

$$-\frac{dU}{V dt} = L_0 \frac{di}{dt} + Ri; \quad (32)$$

$$-\frac{di}{V dt} = C_0 \frac{dU}{dt} + G_0 U; \quad (33)$$

От (32) и (33) следва, че при $V = \text{const}$, всички диференциални членове са от еднакъв математически порядък при гранична честота $f \rightarrow 0$.

Изводи:

1. ЕПТ имат значително приложение в Световната електроенергетика и устойчива тенденция за развитие в бъдеще.

2. В сегашното теоретично състояние съществува принципно различие между ЕПр.Т и ЕПТ. Докато за ЕПр.Т, електромагнитният процес се разглежда като вълнов то за ЕПТ – се разглежда като токопроводимостен процес по Закона на Ом.

3. В съответствие с концепцията на автора, ЕПТ е разгледан като класически вълновод, чрез което е постигнато физико-математическо единство в теорията на ЕПТ и ЕПр.Т.

Литература

- [1] В. А. Веников, Ю. П. Рижов, Дальние электропередачи переменного и постоянного тока. Энергоатомиздат. М. (1985)
- [2] Передача энергии постоянным током, под редакцией И. М. Бортника, А. В. Поссе, Энергоатомиздат. М. (1985)
- [3] Н. Н. Тиходеев, Передача электрической энергии. Энергоатомиздат. Ленинград (1984)
- [4] В. В. Ершевич, В. Д. Шлимович, Об использовании линии электропередачи постоянного тока в электроэнергетических системах. „Электричество”, №9, с.10 (1987); №4, с.1 (1988)
- [5] T. E. Calverley, „Transport a courant continu a courant alternatif”. Un Symposium GIGRE, Boston, 28-30 Sept (1987). Electra №112;
- [6] Научно съобщение по БНТ/11.09.2009, относно Международен енергиен проект в “Сахара”
- [7] Л. Р. Нейман, К. С. Демирчан, Теоретические основы электротехники, том 2. Энергоиздат. Ленинград (1981)
- [8] К. Шимони, Теоретическая электротехника. Издат. „Мир”, Москва (1964)
- [9] С. Л. Фархи, С. П. Папазов, Теоретична електротехника, част 2. Д.И.”Техника”, София (1990)
- [10] В. А. Говорков, Электрические и магнитные поля, „Энергия”, Москва (1968)
- [11] А. Зомерфельд, Электродинамика. Перевод с немецкого. Москва (1958)
- [12] А. Е. Каплянский, А. П. Лисенко, Л. С. Полотовский, Теоретические основы электротехники. Москва (1972)
- [13] Хр. Христов, Электродинамика. Д.И. София (1955)
- [14] С. М. Дамянов, Представление стационарного режима длинной линии постоянного тока сумой бегущих волн. Электричество. А.Н. СССР, №12, с.51-53 (1988)
- [15] С. М. Дамянов, О вълновом сопротивлении длинных линий постоянного тока. Электричество, А.Н. СССР, №3, с.67-69 (1987)
- [16] St. Damyanov, Wave Approach to the Theory of the Steady-State Regime of the HVDC Transmission Lines, 40 Internationales W.K./18-21.09.1995, TU-Ilmenau, Band 2, с.324-329
- [17] S. Damyanov, Wave Electrodynamics of the Stationary Field of the DC Transmission Lines. IEEE CEFC' 96, Okayama, Japan, Advance Program, с.1, 31
- [18] С. М. Дамянов, Въздушен електропровод за постоянен ток. Патент за изобретение BG №60189/06.05.91
- [19] С. М. Дамянов, Натурален режим на ЕПТ; Оптимизиране КПД на ЕПТ. Сб. доклади – научна сесия ВВВУ „Г. Бенковски” (1990)

Авторски указател

Сашка Александрова, *доцент, ДПФ, Технически Университет – София*
Тодор Арабаджиев, *гл. асистент, ДПФ, Технически Университет – София*
Атанас Атанасов, *ДФБ, Тракийски Университет – Стара Загора*
Тодор Велчев, *гл. асистент, Физически факултет, СУ “Св. Кл. Охридски”*
Валентина Гайдарова, *доцент, Институт по металознание – БАН, София*
Стефан Дамянов, *доцент, Технически Университет – София*
Димитър Димитров, *студент, Технически Университет – София*
Сава Донков, *ст. асистент, ДПФ, Технически Университет – София*
Илиян Иванов, *студент, Технически Университет – София*
Йордан Йорданов, *ст. асистент, ДПФ, Технически Университет – София*
Румен Кобиларов, *гл. асистент, ДПФ, Технически Университет – София*
Невена Кожухарова, *ст. асистент, ДПФ, Технически Университет – София*
Емил Маринчев, *гл. асистент, ДПФ, Технически Университет – София*
Калина Пушкарлова, *студент, Технически Университет – София*
Валентина Танева-Тончева, *гл. асистент, ДПФ, Технически Университет – София*
Иван Узунов, *професор, ДПФ, Технически Университет – София*
Елена Халова, *гл. асистент, ДПФ, Технически Университет – София*
Ивайло Христов, *студент, Технически Университет – София*
Магдалена Христова, *гл. асистент, ДПФ, Технически Университет – София*

ПРОГРАМА ЗА ДНИТЕ НА ФИЗИКАТА 2010 г.**14.04. сряда**

Доклад	Автор(-и)	Час
Откриване	проф. дфн И. Узунов	17,30
Бележити жени във физиката	доц. д-р С. Александрова гл. ас. д-р М. Христова	17,40
За етера, вакуума и теория на струните	гл. ас. В. Танева	18,10
Тайните на водата	Д. Димитров	18,30
Видове цветни монитори	И. Христов, И. Иванов	18,45
Парникови газове, инвентаризация и законодателство в България	ст. ас. Н. Кожухарова	19,00

15.04. четвъртък

Големия адронен колайдер-очаквания и реалности	доц. д-р Л. Литов	17,30
Младите учени и великите открития	гл. ас. д-р Е. Халова	18,00
Корпускулярно-вълнов дуализъм	К. Пушкарлова	18,15
Северното сияние и поляризация на светлината	гл. ас. д-р М. Христова	18,30
Никола Тесла – борец срещу всички	Г. Георгиев	18,45

16.04. петък

Относно електромагнитния процес в електропроводите за постоянен ток	доц. д-р С. Дамянов	14,00
Относно универсалността на физичните закони	гл. ас. Е. Маринчев	14,15
Модел на уред - стоящи вълни	А. Илиев, В. Конакчийски	14,30
Физически демонстрации с въпроси, отговори и награди	ас. инж. Л. Георгиев	15,00

17.04. събота – научна сесия

Съотношение “маса-плътност” на съгъстяване в молекулярни облаци, породени от свръхзвукова турбулентност	гл. ас. д-р Т. Велчев ст. ас. С. Донков	10,00
Влияние на Sb върху формирането и развитието на повърхността в бързозатвърдяла AlSiFeSb микрорекристална сплав	ст. н. с. В. Гайдарова ст. ас. Й. Йорданов	10,15
Вероятна физична детерминираност на масата, размерите, генерационното време и скоростта на растеж на най-просто устроените живи клетки/прокариоти	гл. ас. д-р А. Атанасов	10,30
Връзка между характеристикните честоти на трептене на сферично-симетрична черна дупка и параметрите на гравитационна леща	гл. ас. д-р Иван Стефанов	10,45
Върху изчисляване на радиационната доза	гл. ас. Р. Кобиларов	11,00
Метод на разделяне по физически фактори за числено изследване на многосвързани солитонни състояния във влакнесто-оптични линии	гл. ас. д-р Т. Арабаджиев проф. дфн И. Узунов	11,15