



СЪЮЗ
НА ФИЗИЦИТЕ
В БЪЛГАРИЯ

3'19

СВЕТЪТ
СВЕТЪТ
СВЕТЪТ
СВЕТЪТ

НА

ФИЗИКАТА

С В Е Т Ъ Т Н А Ф И З И К А Т А

ТОМ XLII, кн. 3, 2019 г.

Издание на Съюза на физиците в България

<http://phys.uni-sofia.bg/upb/>

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

ГЛАВЕН РЕДАКТОР

Сашка Александрова

ЗАМЕСТНИК-ГЛАВЕН РЕДАКТОР

Ана Георгиева, Мариана Кънева

ОТГОВОРЕН СЕКРЕТАР

Пенка Лазарова

ЧЛЕНОВЕ

Иван Лалов, Евгени Попов,
Радостина Камбурова, Борислав
Павлов, Светлен Тончев, Желязка
Райкова, Игорь Масляницын,
Лилия Атанасова

РЕДАКЦИОНЕН СЪВЕТ

Александър Г. Петров, Николай В.
Витанов, Чавдар Стоянов,
Николай К. Витанов, Лъчезар
Аврамов, Хассан Шамати,
Евгения Вълчева

ВОДЕЩ БРОЯ: Сашка Александрова

EDITORIAL STAFF

EDITOR-IN-CHIEF

Sashka Alexandrova

VICE EDITOR-IN-CHIEF

Ana Georgieva, Mariana Kuneva

EXECUTIVE SECRETARY

Penka Lazarova

MEMBERS

Ivan Lalov, Evgeni Popov,
Radostina Kamburova, Borislav
Pavlov, Svetlen Tonchev,
Zhelyazka Raykova, Igor
Maslyanitsyn, Liliya Atanasova

EDITORIAL COUNCIL

Alexander G. Petrov, Nikolay V.
Vitanov, Chavdar Stoyanov,
Nikolay K. Vitanov, Lachezar
Avramov, Hassan Chamati,
Evgenia Valcheva

VOLUME EDITOR: Sashka Alexandrova

АДРЕС НА РЕДАКЦИЯТА:

Бул. „Джеймс Баучер“ №5,
1164 София

EDITORIAL OFFICE ADDRESS:

5, James Bouchier Blvd,
1164 Sofia

☎ 02 862 76 60

E-mail: worldofphysics@abv.bg

Предпечатна подготовка: Л. Атанасова

ISSN: 0861-4210

РЕДАКЦИОННО

Защо изучаваме физика? Писали сме и друг път. Защо я учат ученици, студенти – бъдещи инженери, лекари, биолози? Защо химия? Ами математика? Кога ще им потрябва законът на Кулон, принципът на Паули или аксиомите на Нютон? Само за да е трудно ли? Защо по света се говори и пише за *STEM* образование, т.е. *Science, Technology, Engineering and Mathematics* – наука, технология, инженерство, математика? Защото тези науки стоят на пътя към прогреса и няма как да ги заобиколим. Заради старата изтъркана истина. Да я напомним пак. Погледнете мобилния си телефон, компютъра пред вас, прелитащия самолет, чуите прогнозата за времето. Цялата тази техника, която е вече неотделима част от нашето ежедневие, някога е била сума от идеи, възникнали в нечии умове, такива, които са искали да знаят какво се случва в света, как е устроена природата. В настоящия брой ще прочетете, че микроелектрониката е на 60 години. Много ли е това или малко? В историята на цивилизацията това е много кратък период, а промените в живота ни са огромни. За нашите млади читатели електронните „джаджи“ са ежедневие, но невинаги е било така. Зад развитието на техниката и технологиите се крие трудът на хиляди, които са знаели физика, прилагали са физичните закони. За тях формулите и уравненията не са били просто знаци на черната дъска, а портите към бъдещето. Тези хора са тук и сега. Те ни движат напред. Не им пречете с неразбиране и присмех. Ако бяхме останали в средата на миналия век, щяхме да гледаме телевизия на кинескопите и да чакаме в къщи телефонно обаждане на стационарния телефон. Хубаво е, че един от младите ни автори разбира, както той казва, „ценността на знанието“. Пък и както казва Ричард Файнман, *„Науката е най-голямото приключение на нашето време“*. А че днес да си неграмотен е смъртно опасно, Тео вече го каза.

Менделеев е открил Периодичния закон преди 150 години. Подредил химичните елементи в Периодичната таблица, както бихме казали на модерен език, на основата на богата база данни, събирани от учените в продължение на години. Съжалявал, че не могъл да разбере на какво се дължи периодичното изменение на химичните свойства на елементите. Отговорът идва с развитието на физиката през XX век. Както ще прочетете в настоящия брой, най-старото учебно копие на таблицата на руския учен е публикувана от немско издателство и по нея са учили английските студенти още през XIX век. Науката не познава граници.

Преди да стигнем до съвременното развитие на електронните технологии, първите си познания за света човек е изразил чрез рисунките, които е оставил по скали и стени в пещерите. Цялата история на човечеството е свързана с този начин на изучаване на света. Не са малко учените, които са

съвместявали и съвместяват двата подхода на изучаване на света – научния и художествения. Развитието на съвременната физична експериментална техника позволява да надникнем по един друг начин към изящното изкуство. Това, че знаем повече за устройството и приложенията на техническите ни придобивки или за боите, с които през вековете са си служили великите художници, не ни пречи да се възхищаваме на произведенията на човешкия гений и труд. А дали един програмист може да накара компютъра да композира музика? Науката се оказва вплетена в изкуството. Може би ще бъдем по-успешни учени, ако се опитаме да излезем от строгите рамки на науката и оценим един друг начин на мислене, взет от изкуствата, както предлага един професор по астрофизика.

И изкуството, и науката носят красота. Може би знанието в изкуството и красотата в науката не се виждат веднага, а остават скрити на пръв поглед. Нека да се опитаме да ги търсим и откриваме.

Сашка Александрова

главен редактор на „Светът на физиката“

ПРЕДВАРИТЕЛНО СЪОБЩЕНИЕ

**48-МА НАЦИОНАЛНА КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ВЪПРОСИТЕ
НА ОБУЧЕНИЕТО ПО ФИЗИКА**

на тема: „Ядрената физика и енергетика в образованието
по физика“

11 – 14 април 2020 г., София

Младежка научна сесия за ученици и студенти на тема:
„Физиката в живота и в света около нас“

Национален конкурс за есета за ученици и студенти на тема:
„Учени физици от България“

НОБЕЛОВАТА НАГРАДА ПО ФИЗИКА ЗА 2019 г.

Кралската шведска академия на науките реши да присъди Нобеловата награда по физика за 2019 г.

„За принос към нашето разбиране за еволюцията на Вселената и мястото на Земята в Космоса“,

като $\frac{1}{2}$ получава **Джеймс Пийбъл** от Принстънския университет, САЩ,

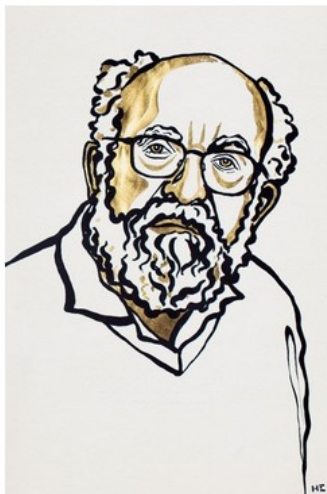
„За теоретични открития във физическата космология“,

а другата половина се дава съвместно на **Мишел Майор** от Университета в Женева, Швейцария, и **Дидие Кело** от Университета в Женева, Швейцария и Университета в Кембридж, Великобритания

„За откриването на екзопланета, обикаляща около звезда от слънчев тип“.



Джеймс Пийбълс
James Peebles



Мишел Майор
Michel Mayor



Дидие Кело
Didier Queloz

Джеймс Пийбълс е астрофизик, астроном и теоретичен космолог. Роден е в Уинипег (*Winnipeg*), Канада, през 1935 г. Докторска степен получава от Принстънския университет, САЩ, през 1962 г. В момента е почетен професор в същия университет.

Мишел Майор е астрофизик. Роден е през 1942 г. в Лозана, Швейцария. Докторска степен получава през 1971 г. в Женевския университет. Той е по-

четен професор в същия университет. Остава активен изследовател в Обсерваторията в Женева и след като официално се пенсионира през 2007 г.

Дидие Кело е астроном. Роден е през 1966 г. През 1995 г. защитава докторат в Женевския университет. Понастоящем е професор в същия университет и в Тринити Колидж на Кеймбриджския университет.

Нобеловата награда за физика за 2019 г. е признание за постигане на ново разбиране за структурата и историята на Вселената и първото откритие на планета извън нашата Слънчева система, която обикаля около звезда, подобна на Слънцето. Тазгодишните лауреати дават принос към отговори на основни въпроси за нашето съществуване. Какво се е случило в ранната детска възраст на Вселената и какво се е случило след това? Възможно ли е да има други планети извън нашата Слънчева система, обикалящи около други слънца?

Джеймс Пийбълс отправя поглед към Космоса с неговите милиарди галактики и галактически купове. Неговите теоретични работи, разработвани в продължение на две десетилетия от средата на 60-те години на миналия век, са в основата на съвременното разбиране за историята на Вселената от Големия взрив до наши дни. Откритията на Пийбълс доведоха до представа за нашата космическа среда, в която известната ни материя представлява само 5 процента от цялата материя и енергия, съдържащи се във Вселената. Останалите 95 процента остават скрити за нас. Това е мистерия и предизвикателство за съвременната физика.



Мишел Майор и Дидие Кело са изследвали нашата родна галактика – Млечния път – търсейки непознати светове. През 1995 г. те откриват за пръв път планета извън нашата Слънчева система, екзопланета, обикаляща около звезда от слънчев тип. По това време Майор е професор в Женевския университет, а Кело е негов докторант. Оттогава в нашата галактика са открити над 4000 екзопланети. Откритието им поставя под съмнение представите ни за тези странни светове и води до революция в астрономията. Екзопланетите изненадват с богатството си от форми, тъй като повечето от тези планетни системи съвсем не изглеждат като нашата със Слънцето и неговите планети. В резултат на тези открития изследователите разработиха нови теории за физическите процеси, отговорни за раждането на планетите. Според Майор хо-

рата никога няма да се преселят на планета извън Слънчевата система. Следващите поколения ще трябва да отговорят на въпроса дали има живот на други планети.

В интервю за *Nature* дали все още се вълнува от откриването на нови планети, след като е участвал в откриването на стотици от тях, Дидие Кело отговаря:

„Моето очарование остава непокътнато. То не се е променило и в съзнанието ми, и в сърцето си все още се чувствам като студент, и продължавам да уча всеки ден. Продължавам да се изненадвам и изумявам от това, което научавам и мисля, че това със сигурност се споделя от всички мои колеги. Мисля, че работим в невероятна област с огромен потенциал за открития. Има толкова много студенти и млади хора, които се интересуват от тази тема, защото те осъзнават, че има толкова много за откриване. Аз винаги им казвам едно и също: „Добре дошли – имаме нужда от вас!“



ДА СЕ НАУЧИМ ДА СЕ УДИВЛЯВАМЕ

В статия, публикувана в списанието *Physics World* в броя от май тази година, авторът Линкълн Кар (*Lincoln Carr*) разказва как помага на студентите по природни науки да възприемат и прилагат амбивалентността на хуманитарните науки, за да станат по-добри изследователи.

Линкълн Кар е професор в Училището по минно дело в Колорадо (*Colorado School of Mines*). Както сам пише: „Имам широк кръг от теоретични интереси, обхващащи много дисциплини, с използване на баланс от аналитични и числени методи и често работя в тясно сътрудничество с експерименталните физици“.

Ето някои фрагменти от статията на проф. Лилкълн Кар.

Обикновено сме свикнали да мислим за природните и за хуманитарните науки като за отделни области. Природните науки ни представят ясно дефинирани истини, докато хуманитарните са отворени за тълкуване, позволяват многозначност. Но дали наистина е така? Линкълн Кар стига до идеята за необходимостта студентите по природните науки да се научат да използват **амбивалентността**, характерна за хуманитарните науки, за да станат добри изследователи.

Как можем да научим студентите да мислят извън строгите научни рамки? Как студентите от групата науки, известни като *STEM* (*Science, Technology, Engineering and Mathematics* – наука, технология, инженерство и математика), могат да се учат от хуманитарните науки за по-доброто решаване на трудни нерешени проблеми, като например разработване на по-стабилна и справедлива политическа и икономическа система, осъществяване на широк достъп до енергия от възобновяеми източници или до изобилно количество чиста вода?

Как започна всичко, как стигнах до тези идеи? Когато аз бях студент, имах проблеми с моята приятелка. Мислех си, че само като ѝ посоча „фактите“ за нашите отношения, със сигурност всичко ще се оправи. Обаче не стана така.

Или може би започна с политиката. Дълго време се притеснявах, че независимо от това колко данни са събрали учените за изменението на климата, човечеството не спира изгарянето на изкопаеми горива. Трябва ли учените просто да се откажат и да се потопят в разочарование? Или може да има друг подход?

Мисля, че истинският импулс дойде от моя академичен ръководител. Аз отчаяно исках той да повярва в мен. Прекарах три години като докторант в опит да го убедя, че моите изследвания за солитони и вихри в Бозе-Айнщайн кондензатите не са просто красива математика. Аз пишех красиви матема-

тични изводи, но той само клатеше глава и казваше: „Къде е физиката, Линкълн? Какво ми говори всичко това?“

Но какво е „физиката“? Данните ли? Или описанието? Или ставаше въпрос за доверието на моя ръководител в мен? В края на краищата, аз бях представил доказателството пред него, нали? Защо моята истина не беше достатъчна?

Фактите, както се оказва, не говорят сами по себе си. Науката е много по-неопределена, отколкото някога наивно си представях. Когато бях студент, в курсовете ме учеха главно да намирам решения на добре поставени проблеми с известни отговори. Но как да стигнем от строгите учебни програми и задачите в учебниците към научните изследвания и неизвестното? Физиката не е математика – доказателствата са малко и не винаги идват. Изследванията изискват приемане на амбивалентността. Един от начините да направите това е да изучавате хуманитарните науки и изкуствата, колкото и изненадващо или контраинтуитивно да изглежда.

Хуманитарните науки ни учат на амбивалентност, но преди всичко ни учат как да бъдем хора. Мери Оливър, която обожавам, поет, носителка на наградата „Пулицър“, постоянно ме насочва към природата, към нейната мощ, красота и умиротворение. А какво е физиката, ако не е гръцката дума *physike*, което означава природа? В стихотворението си „Понякога“ тя пише:

„Упътване как да живееш живота си:
Обърни внимание.
Бъди изненадан.
Разкажи за това“.

Нима може да има по-кратко, перфектно описание на живота и задълженията на учения? Така че поетите и учените вършат своята работа по сходен начин. Имаме много общи неща.

.....

В моя собствен живот преподаването на хуманитарни науки ме направи по-добър изследовател. Наскоро открих, заедно с трима много талантиливи студенти, че квантовите състояния удивително приличат на състояния на мозъка. В действителност измервания, използвани при свалянето на електроенцефалограма и функционалната магнитно-резонансна образна техника, използващи сложни мрежови връзки, могат да бъдат приложени към квантовите състояния за количествено определяне на квантовата сложност. Открихме, че околността около квантовите критични точки е максимално сложна в този смисъл.

През 21-ви век ние сме изправени пред изумителни научни, технологични, инженерни и математични проблеми. Как да осигурим достатъчно чиста вода за цялото население? Какъв вид възобновяеми енергийни източници можем да изобретим, за да противостоим на глобалните климатични промени?

Какво е социалното и практическото въздействие на предстоящото навлизане на когнитивно свързани технологии и изкуствения интелект? Има ли математично описание на човешкото поведение, което може да ни помогне да постигнем политическа стабилност? За да разрешим този вид проблеми, трябва да разполагаме с всички познавателни инструменти, измислени в продължение на хиляди години. Защо като учени и търсещи истината да не ги използваме?

Не е необходимо специално обучение, за да придобием тези умения. Можем да ги научим, като се отворим изцяло към света извън лабораториите: в музеи, литературни и поетични четения, като обръщаме внимание на мечтите си и отваряме сетивата си, както Лайтман¹ (*Lightman*) и Дилард² (*Dillard*) ни показват. Преди всичко, **подобно на Гилгамеш**, можем да се сприятеляваме и да прекарваме време с **Енкиду** на света – художници, писатели и други творчески мислители, които прегръщат многозначността, наслаждават се на липсата на причинност и ни учат да сме по-пълноценни човешки същества. Задълбочаването в хуманитарните науки не само ни прави по-емоционално интелигентни, емпатични, по-завършени личности – това ни прави подобри изследователи. И кой знае, някои от нас биха могли накрая да напишат великолепна поезия.

Литература

<https://physicsworld.com/a/learning-to-be-astonished/>

<https://physics.mines.edu/project/carr-lincoln/>

Подбор и превод **Сашка Александрова**

¹Алън Лайтман е американски физик и писател. Бил е преподавател в Харвард (*Harvard*) и в Масачузетския технологичен институт (*MIT*). В момента е професор по практиката на хуманитарните науки в *MIT*. Лайтман публикува есета за науката и човешката ѝ страна. Автор е на световния бестселър „Сънищата на Айнщайн“ (*Einstein's Dreams*).

²Ани Дилард е американска писателка, носител на наградата „Пулицър“ за 1975 г. за романа си „Поклонник в Тинкър Крийк“ (*Pilgrim at Tinker Creek*). В продължение на повече от 20 години преподава творческо писане в Уеслиански университет в Мидълтаун, Кънектикът САЩ (*Wesleyan University, Middletown, Connecticut, USA*). Публикува както художествена проза, така и реалистична литература. Творбите ѝ изразяват възхищение от красотата и величието, мъдростта и силата на природата и от способността ни да я възприемаме.

LEARNING TO BE ASTONISHED

Brief review of the paper authored by Lincoln Carr, an american professor of physics at Colorado School of Mines concerned to educational problems, such as how can we teach students to think outside the box, how can STEM students learn from the humanities to better solve outstanding hard problems. Lincoln Carr explains how he's helping science students use the ambiguity essential to the humanities to become better researchers.

Selection and translation **Sashka Alexandrova**

АБОНАМЕНТ И РАЗПРОСТРАНЕНИЕ

Абонамент за 1 година (4 книжки) – 20 лв., за членове на СФБ – 16 лв, за ученици, студенти и пенсионери – 10 лв.

Ако желаете да се абонирате – пишете на worldofphysics@abv.bg

Банкова сметка: Първа Инвестиционна Банка

IBAN: BG91FINV91501215737609; BIC: FINVBGSF

Броеве от списанието можете да намерите на следните места:

- Книжарницата на Математическия факултет на СУ „Св. Климент Охридски“, София 1164, бул. „Джеймс Баучър“ 5
- Книжарница Технически университет – София, блок 10
- Съюз на физиците в България, Физически факултет, СУ „Св. Климент Охридски“, София 1164, бул. „Джеймс Баучър“ 5, тел. +359 2 62 76 60, e-mail: upb@phys.uni-sofia.bg
- по време на лекторията „Светът на физиката на живо“

СКРИТАТА МОЩ НА МИКРОЕЛЕКТРОНИКАТА

Поглед към бъдещето

Микроелектрониката е навсякъде около нас, оказва влияние върху всеки момент и аспект от нашето ежедневие. С възникването си тя промени коренно цялата индустрия, науката, изкуствата, превърна днешното информационно и комуникационно общество в реалност, но остава скрита и невидима за нас. В повечето случаи остават невидими и усилията на физиците и инженерите, които работят в тази област. Ако говорим конкретно за науката, микроелектронните прибори доведоха до невероятния напредък в откриването на нови физични явления и установяването на нови факти. Така нашите познания за света се разшириха неимоверно много.

Да вземем постиженията, за които в последните години беше присъдена Нобеловата награда по физика. Детектирането на гравитационните вълни, откриването на Хигс-бозона в ЦЕРН и фантастичните лазерни приложения биха били невъзможни без сложната детектираща система, компютърните обработки на данните и представянето им. Всички тези средства са базирани на сложни микроелектронни устройства, функционирането на които се осъществява на основата на определени физични принципи и явления.

Романтично погледнато, развитието на микроелектрониката е едно приключение, което започва едва преди около 60 години с разработката на транзисторите и първите интегрални схеми от Дж. Килби (*J. Kilby*) и Р. Нойс (*R. Noyce*), интервал от време твърде кратък в историята на цивилизацията.

В началото се употребява терминът твърдотелна електроника, тъй като става дума за електронни елементи, които се базират на твърди вещества, за разлика от предшествениците – вакуумните радиолампи. В ерата на микроелектрониката терминът отпада, тъй като всички електронни елементи са базирани на кристални и аморфни полупроводникови, диелектрични и метални тънки слоеве. Развитието следва бърз процес на миниатюризация на електронните устройства. В рамките на 50 години размерите на активните елементи намаляват десет милиарда пъти – от няколко сантиметра в радиолампите до няколко нанометра в транзисторите, интегрирани в полупроводников чип. Огромното разпространение на транзисторите при малките им размери и високата енергийна ефективност ги превърна в ДНК на микроелектрониката. Производството на интегрални схеми се базира на така наречената планарна технология, като производственият процес се извършва при специални технологични условия с висока степен на чистота, на което тук няма да се спираме. Само ще отбележим, че тази технология позволи серийно производство на интегралните схеми и това доведе до безпрецедентно намаление на

цените, като направи приборите достъпни масово и за широкия потребител, и за авангардни изследователски цели и приложения.

В наши дни основните насоки в развитието на електрониката са нарастването на степента на интеграция на компонентите (така наречения „Закон на Мур“, по името на Гордън Мур, (*Gordon Moore*), бизнесмен и инженер, съосновател на *Intel Corporation*, съгласно който броят транзистори на чип се удвоява на всеки 24 месеца, което на свой ред е свързано с намаляването на размерите на отделните елементи).

Все по-нататъшно намаляване на размерите на елементите (мащабирането, на английски *scaling*) дълги години беше основната цел, т.е. следваше се идеята, която може да се опише чрез игра на думи като „**More Moore**“. Тази уникална тенденция продължи 50 години и позволи на инженерите да правят схемите все по-сложни, работещи с по-ниска мощност и по-евтини за производство.

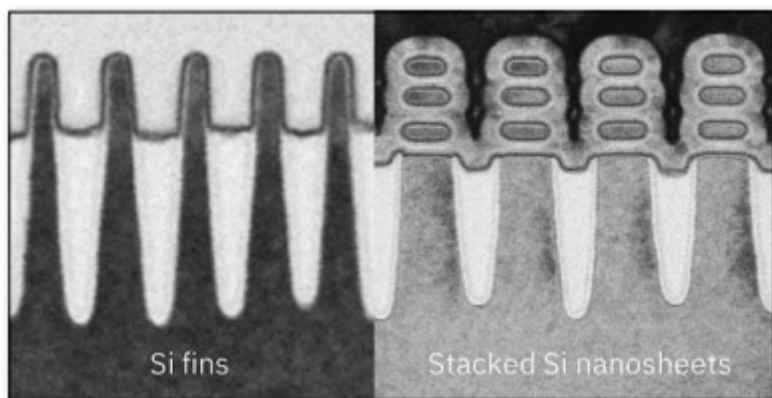
Понастоящем само по себе си това геометрично мащабиране не може да посрещне нарастващите нужди от мобилна и силова електроника за различни приложения в автомобилостроенето и здравеопазването и др. Като пример, мобилната електроника отлично илюстрира огромните предизвикателства за висока енергийна ефективност, за по-добра мобилност, интегриране на функции за подобряване на мобилния капацитет и когнитивни технологии за интелигентни приложения. За поддържане на това развитие полупроводниковата индустрия се нуждае от принципно нови концепции в широка област от иновативни материали до устройства и системи. Това налага интензивно изследване на физичните явления на молекулно или електронно ниво (нанотехнологиите), както и търсене на възможности за намаляване на консумацията на електроенергия от електронните устройства [1].

При бързия преход на микроелектрониката към наноерата законът на Мур не е достатъчен. Това, което ще е необходимо, е „**More than Moore**“, т.е. излизане от класическите рамки на *CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor)* технологията под формата на мултифункционалност, постижима чрез хетерогенни технологии, които не следват просто мащабиране в съответствие със закона на Мур. Важно предизвикателство е, че те не могат да бъдат интегрирани лесно в стандартната линия на *CMOS* процесите, използвани за съвременната цифрова логика и памет.

Трънливият път напред за ефективни логични схеми

След четири десетилетия на просто геометрично мащабиране на *Si CMOS* технологията, в началото на 21 век полупроводниковата индустрия навлезе в нова фаза на мащабиране, насочена към разработване и приложения на нови материали, главно полупроводникови, диелектрични и метални слоеве. Бяха използвани напрегнати *Si* и *SiGe* за увеличение на подвижността на носителите на заряд, бяха въведени диелектрици с висока диелектрич-

на константа k и метални гейтове, както и диелектрици с ниска диелектрична константа k в крайния етап на производството на интегрални схеми (*BEOL* (*back end of line*))). Предложен беше преход от планарна към 3-мерна структура. Разработени бяха непланарни канали, изискващи контрол на материалите в наноразмерната област – полевите транзистори *FinFET*¹. Те представляват дълбоки (≈ 50 nm) и тънки (≈ 7 nm) Si канали с гейт, който ги обгръща (Фигура 1). Така се осигурява отличен електростатичен контрол върху канала и се постига по-голяма плътност на елементите в сравнение с планарния транзистор. Освен *FinFET*, иновациите в материалите ще продължат да бъдат ключови фактори за по-нататъшно подобряване на съотношението мощност/производителност в сравнение с плътността при *CMOS* технологията.



Фигура 1. Напречно сечение, получено чрез трансмисионна електронна микроскопия, по протежение на гейта (перпендикулярно на посоката на движение на носителите) на *FinFETs* (отляво) и нанослойни *FETs*. *Fin*-каналите са с ширина приблизително 7 nm, докато 3-слойните нанослойове в стека са с дебелина приблизително 5 nm

В краткосрочен план *fin*-каналите ще се развият като стекове (нанослойни подредени един над друг канали) [2] (Фигура 1, дясно): полупроводникови слоеве с дебелина няколко nm и широки няколко десетки nm, подредени един върху друг. Тези нанослойове се получават чрез епитаксия върху кристални свръхрешетки като например Si/SiGe, които са структурирани така, че да формират ширината на слоевете. Една от двете компоненти се отстранява селективно (напр. SiGe), за да останат висящи нанослойове от Si в стековете. Възможността да се контролира технологично оформянето на такива структури е от съществено значение, така че чрез новите материали и иновативните процеси да се гарантира, че тази нова технология ще може да се реализира. По-нататъшните иновации ще следват две основни паралелни направ-

¹*FinFET* са 3D транзистори с вертикален канал. Структурата напомня гръбна перка на акула – *fin*, откъдето идва названието им.

ления, съществено свързани с характеристиките на транзистора и енергийната ефективност при дадена площ: **големината на тока**, който може да се реализира, и **съотношението на токовете във включено/изключено състояние** при определено захранващо напрежение.

Първото направление е свързано с използването на **иновативни материали** при съществуващите концепции на дизайн на схемите. Увеличаването на тока предполага подобряване на транспортните свойства на материала на канала, например чрез заместване на силициевия канал с канал от друг материал с по-добри свойства, като германий или III-V полупроводникови съединения. Тези материали имат по-високи подвижности на носителите и позволяват носителите на заряд да се движат по-бързо, но за целта се изискват изцяло иновативни технологични решения за интегриране върху Si подложка, като осъществяване на епитаксия на съответните материали върху Si, формиране на висококачествени надеждни гейтови диелектрици, осъществяване на контакти със свръхниско съпротивление и намаляване на утечките в изключено състояние, поради по-малката забранена зона на тези полупроводникови материали в сравнение с тази на Si. Огромният напредък през последните десет години доведе до няколко разработки на CMOS схеми върху Si с канали от индиев галиев арсенид (InGaAs)Si-Ge за n- и p-транзистори [3].

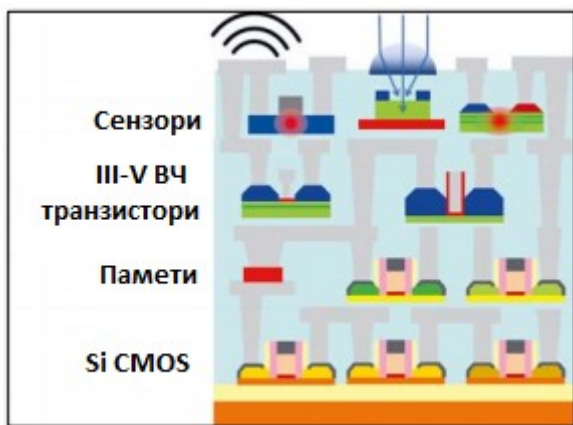
Второто направление предполага **нови концепции** за прибори, използващи иновативни материали за увеличаване на стръмността на прехода между включено и изключено състояние в даден диапазон на гейтовото напрежение в логичните схеми. Използвани са **хетероструктури на базата на III-V съединения** за направа на транзистори на тунелен ток за постигане на 10-кратно увеличение на тока при минимално увеличение на напрежението на гейта само от 48 mV, което е много под границата от 60 mV, определено съгласно статистиката на Болцман в стандартните транзистори [4]. Алтернативен подход може да бъде използването на ново семейство материали, които се характеризират с **фазов преход**, съпроводен с рязка промяна на проводимостта (напр. материали с фазов преход метал-изолатор като VO_2) или поляризация (напр. с фероелектрични материали като $\text{Hf}(\text{Zr})\text{O}_2$). Такива фазови преходи могат да бъдат използвани в нови концепции на приборите с цел да се увеличи драстично стръмността на превключването, като се използват такива материали като част от гейтовия диелектрик или сорс/дрейн контактите.

Обединяване на функционалностите чрез тримерен дизайн

Бъдещото ефективно мащабиране на хардуера ще изисква не само иновации на ниво прибор, но и иновации на системно ниво, отнасящи се до организацията на транзистори или блокове транзистори върху полупроводниковата подложка. В ерата на хипермащабирането през 2021 г. и по-нататък се очаква подобренията на системно ниво да бъдат един от основните двигатели на развитието на технологиите [5]. Подобни подобрения могат да позво-

лят не само мащабиране по плътност, но и нови функционалности, т.нар. подходи „повече от Мур“ („*More than Moore*“), както беше казано по-горе. В тази епоха се предполагат две взаимосвързани технологии на системно ниво: **последователна 3D интеграция** и **хетерогенна интеграция**.

При последователна 3D интеграция се формират няколко слоя транзистори, произведени *in situ*² един върху друг (Фигура 2). Това е различно от технологиите със стекове с 3D подреждане по това, че се предлага разполагане на транзисторите на различни нива, което води до два или три порядъка по-висока плътност, осигурявайки по-къси съединителни проводници, по-ниска консумация на енергия и по-късо време на задръжка. Последователната 3D интеграция ще позволи не само последователно подреждане на Si CMOS слоеве, но и слоеве от различни технологии – наречено хетерогенна интеграция – като III-V HEMTs (*High Electron Mobility Transistor*), полупроводници с голяма ширина на забранената зона и такива, получени с фотонни технологии, за постигане на висока плътност на схемите.



Фигура 2. Схематична фигура, показваща как последователната 3D хетерогенна интеграция може да обедини различни функционалности на един и същ чип. Отдолу нагоре: Si CMOS, нови памети, III-V ВЧ транзистори и фотоактивни материали, свързани с електрически пътеки или преходи (сив цвят)

Един от ключовите проблеми пред тези схеми на интеграция е съчетаването на традиционните процеси на производство на Si CMOS с допълнителните изисквания към температурите при отлагане на следващите слоеве. Поради чувствителността на интерфейса гейтов оксид/канал в повечето MOSFET (MOS полеви транзистор) технологии, температурата при произ-

²*in situ* от латински, като означава на място. Тук означава запазване на последователността на технологичния процес без прекъсване за прилагане на допълнителни операции при различни условия, за разлика от *ex situ*, когато се налага такова прекъсване.

водството на слоеве след първия обикновено не трябва да превишава 450°C , което значително ограничава избора измежду наличните възможни технологични процеси. Освен това при комбиниране на технологията на Si CMOS с тази за нестандартни материали, като напр. III-V съединения или фотоактивни материали като BaTiO_3 , възникват проблеми поради несъвместимостта на технологичните процеси и материалите.

Независимо от това, през последните години беше постигнат значителен напредък в интеграцията на системно ниво, като подходите следваха две основни направления. В първото направление допълнителните активни слоеве се отлагат *ex situ* и се интегрират в 3D стек чрез директно свързване, като методът предполага поставяне във физически контакт на две окислени повърхности, които се прилепват адхезионно при термична обработка.

Силната страна на този подход е гъвкавостта при избора на материал поради нарастването на слоя *ex situ*, няма проблем на несъответствие на кристалната решетка между подредените в стека слоеве. Появиха се множество експериментални постижения – от GaN мощни превключватели до III-V високочестотни транзистори и оптични BaTiO_3 модулатори, като всички те са интегрирани върху силициеви подложки [6, 7].

При второто направление допълнителните активни слоеве се отлагат *in situ* с помощта на епитаксия на различни технологични етапи, съгласно дизайн на схемите. Това означава използване на фотолитографска техника, както и метод за поддържане на ниска плътност на кристалните дефекти чрез субмикронни уловки на дислокациите или ограничаване на епитаксиалния растеж в определени области. Този подход обещава намалени производствени разходи в сравнение с директното свързване (бондинг), тъй като се намалява до минимум количеството на израснатия материал и отпада необходимостта от скъпоструващи подложки за растеж, различни от Si. Подходът беше реализиран с използване на вертикални наножици или израстване на темплейти в кухни, и в двата случая с цел интегриране на III-V слоеве върху силиций [8, 9].

Използването и на двата подхода е свързано със сериозни физични изследвания на разработваните технологии. Често това изисква дългогодишни усилия, докато се стигне до възможност за приложение. Така например епитаксиалният страничен растеж е предложен през 1998 г., но до реални приложения се стига едва през 2008 г.

Невроморфни ядра за управляема чрез бази данни икономика

Иновациите по отношение на приборите и на системно ниво ще продължат да оптимизират изчислителните системи, следвайки фундаментално архитектурата на фон Нойман, където процесорът, контролерът и външната памет са три отделни единици. Въпреки че архитектурата на фон Нойман позволява решаване на огромно количество изчислителни проблеми, тя има ог-

раничения при натоварванията, свързани с обработката на големи масиви данни и за обучение и работа на невронните мрежи.

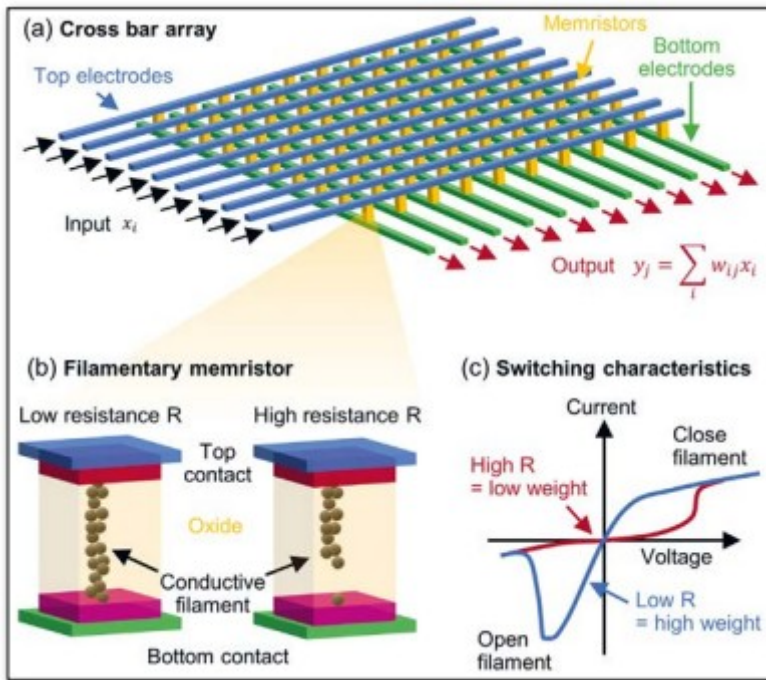
За алгоритми като дълбоко обучение връзката памет/процесор силно ограничава изчислителната задача, тъй като системата е заета да обменя данни между паметта и процесора по време на две отделни фази. Първо, фазата на обучение на мрежата използва голям набор от примери за итеративна настройка на мрежата. Второ, предварително обучените мрежи се използват във фазата на извода за анализ на нови неизвестни входни данни.

По тази причина обект на интензивни изследвания са нови типове изчислителни архитектури, различни от фон Нойман, с цел нови микропроцесори, работещи в цифров или в аналогов режим. Паметта и процесорите са разположени близко или един до друг, подобно на синаптичните и невронните връзки в мозъка. Те често се наричат „мозъчни“ или „невроморфни“ изчисления.

Специализираните цифрови невроморфни чипове, като *TrueNorth* (IBM) и *Loihi* (Intel Corp.), са базирани на стандартни CMOS процеси и прибори. В *TrueNorth* пакетите се прехвърлят цифрово между един милион неврони, които са малки, програмируеми логически единици [10]. Синаптичните тегла се съхраняват в *SRAM* (*static random access memory* – статична памет с произволен достъп), разпределени в чипа. Това съвместно разположение на паметта и процесорите позволява решаване на задачи при ниско енергопотребление, напр. класификация на изображения. За осъществяване на обучението в такива разпределени мрежи се използват други подходи (напр. *SpiNNaker*), при които се свързват много процесори в големи клъстери и се прилагат локални, вдъхновени от мозъка правила за обучение.

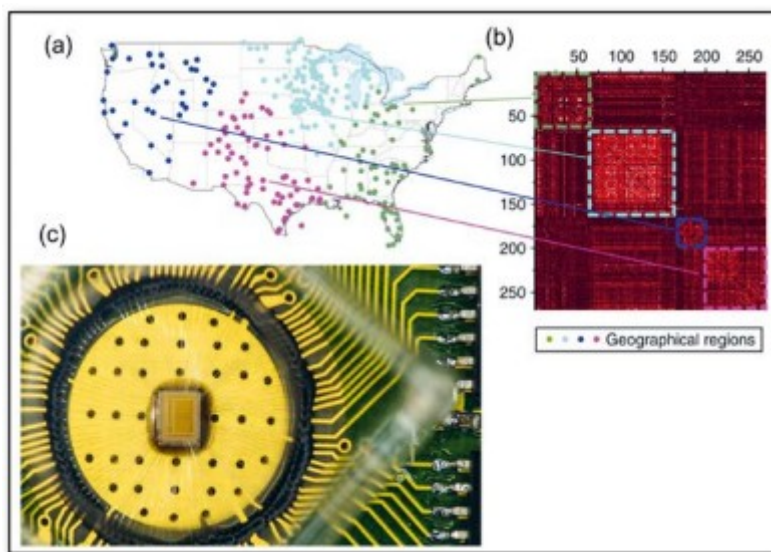
Предлагат се също аналогов или смесен аналогов подход към невроморфните микропроцесори. Биовдъхновените процесори имитират биологичните функции на невронните мрежи, като синапси и неврони, с аналогови електрически вериги, разработени чрез CMOS технологията [11]. Докато шиповите неврони представляват аналогови вериги, то комуникацията чрез синапси и вътрешно- и междучиповата комуникация обикновено се извършва цифрово. В тази област Европа е на предния фронт на научните изследвания (www.neuram3.eu).

Втори тип аналогови невроморфни схеми се базират на мемристивни материали за аналогова локална памет, използващи увеличаването на локалната плътност на синаптичните тегла. Използване само на законите на Ом и Кирхоф позволява да се умножават и натрупват стойности в аналоговата електрична област. Конструирани като кръстосани решетки (Фигура 3а), мемристорните мрежи могат да бъдат приложени за силно ускоряване както на фазата на извеждане, така и на обучителната фаза на невронните мрежи на порядъци в сравнение с хардуер, базиран на фон Нойман [12, 13]. Осигуряването



Фигура 3. (а) Илюстрация на матрица от мемристори, които могат да бъдат използвани за извършване на енергоефективно аналогово векторно матрично умножение на основата на законите на Ом и Кирхоф; (б) Илюстрация на нишковиден мемристор. Кислородни ваканции образуват проводящ път, който може частично да се превключва; (с) Схеми на I-V характеристиките на мемристор с две различни съпротивления

на такива аналогови ускорители зависи от откриването на нови материали със специализирани енергонезависими резистивни превключващи свойства, като нисък дрейф, голям брой аналогови състояния и работа с ниска мощност и напрежение. Постигнат е значителен напредък с използване на различни механизми като фазов преход в GeSbTe, проводимост в диелектрици чрез образуване на проводящи нишки (Фигура 3b) като HfO₂ и превключване на домейни в магниторезистивна памет с произволен достъп *STT-MRAM* (*Spin-transfer torque magnetoresistive random-access memory*) или фероелектрици. Все още обаче не е намерено удовлетворително решение. Може би трябва да бъдат разработени нови нестандартни концепции, за да се компенсира несъвършенството на такива аналогови устройства [14]. Въпреки всичко, от първото им описание в края на 80-те години, невроморфните изчисления постигнаха голям напредък през последните няколко години. Един пример за потенциалното му използване е откриването на корелации в данните за прогнозата за времето, както е показано на Фигури 4 а и б.



Фигура 4. (a) Данни за валежи от различни метеорологични станции в САЩ; (b) Ковариационна матрица, картографирана като масив от клетки на РСМ-па-мет (phase change memory – фазова памет), използвани за откриване на корелации в данните за времето; (c) Снимка на невроморфен РСМ чип за когнитивен анализ на данни [15]

Заклучение

На базата на тези избрани примери показахме, че краят на геометрично-то мащабиране не означава, че микроелектронните технологии остават неизменни и могат да бъдат оптимизирани само постепенно. Потенциалът за иновации е забележителен, било то да подобри енергийната ефективност на цифровите устройства, да интегрира функционалности в сложни, но компактни системи или за намирането на възможности за нов тип изчислителни задачи. В основата на тези иновации ключовите елементи ще бъдат нови материали, устройства и концепции за интеграция, които ще доведат до пробиви в развитието. Това ще изисква нови умения от учените и инженерите. Преди всичко ще е необходимо разширяване на техническия хоризонт, за да се търсят възможни решения, които да включват нови необичайни материали и революционни прибори. Освен това непременно ще е необходим цялостен поглед върху технологиите, водещ до съвместно разработване на материали, устройства и системи за специализирани чипове.

Литература

- [1] Cezar B. Zota, Lukas Czornomaz, Jean Fompeyrine and Stefan Abel, Europhysics News **49**, Number **5-6**, 22 (2018).
<https://doi.org/10.1051/epn/2018504>.

- [2] N. Loubet et al., Symp. on VLSI Technology, Digest of Technical Papers, Kyoto, Japan, June 2017, p. T17-5.
- [3] L. Czornomaz, et al., Symp. on VLSI Technology, Digest of Technical Papers, Honolulu, Hawaii, USA, June 2016.
- [4] C. Convertino, et al., J. Phys.: Condens. Matter **30**, 264005 (2018).
- [5] S. Salahuddin, K. Ni and S. Datta, Nat. Electron. **1**, 442 (2018).
- [6] C. Zota, et al., Symp. on VLSI Technology, Digest of Technical Papers, Honolulu, Hawaii, USA, June 2018, p. T15-5.
- [7] F. Eltes, et al., Proc. of IEEE Int. Electron Device Meeting (IEDM), San Francisco, California, December 2017, p. 24.5.1.
- [8] O.-P. Kilpi, et al., Nano Lett. **17**, 6006 (2017).
- [9] L. Czornomaz, et al., Symp. on VLSI Technology, Digest of Technical Papers, Kyoto, Japan, June 2015, p. T172.
- [10] P. Merolla et al., Science **345**, 668 (2014).
- [11] G. Indiveri et al., Front. Neurosci. **5**, 1 (2011).
- [12] T. Gokmen and Y. Vlasov, Front. Neurosci. **10**, 333 (2016).
- [13] S. Ambrogio et al., Nature **558**, 60 (2018).
- [14] M. Le Gallo et al., Nat. Electron. **1**, 246 (2018).
- [15] A. Sebastian et al., Nat. Commun. 1706.00511, 1115 (2017)

Подбор и превод: Сашка Александрова

THE HIDDEN POWER OF MICROELECTRONICS

Looking to the future

Microelectronics is impacting every moment and aspect of our daily lives and has radically transformed all industries in the last 50 years, but remains invisible for most people. Scaling transistors has been the ultimate goal for many years, and allowed engineers to make circuits more complex, working at lower power, and cheaper to produce. Today, scaling alone cannot respond to the growing needs for mobile and power electronics applications. The burning challenges ahead of us: power efficiency for better mobility, integration of functions to improve the mobile capacities and enabling cognitive technology for smart services. To support this evolution, the semiconductor industry needs disruptive concepts, from innovative materials to devices and systems. Higher physics education provides frontier knowledge about the latest research and applications in the field.

Selection and translation Sashka Alexandrova

ЛАЗЕРНИ МЕТОДИ ПРИ РЕСТАВРАЦИЯ И КОНСЕРВАЦИЯ НА КАВАЛЕТНА ЖИВОПИС

(част I)

Мариана Кънева

*Облъчването с лазер на безценна картина
от 14. век може да изглежда проблематично.
Но, при прецизна настройка, лазерната система
може да се окаже единственият щадящ метод да
разберем замисъла на отдавна напуснали ни художници.
(Ашли Ийгър, научен журналист)*

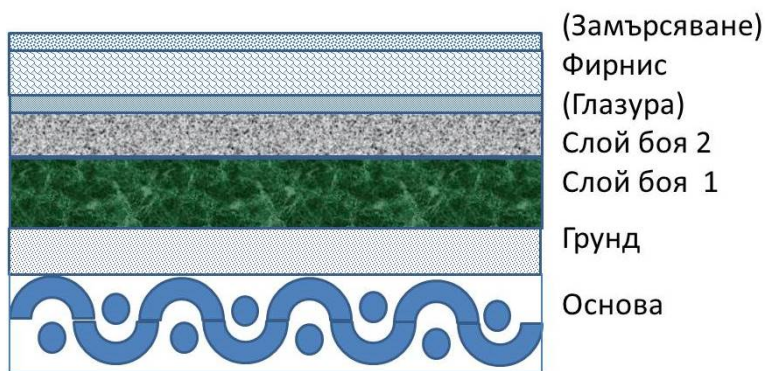
Дейността по опазването и съхраняването на шедьоврите на изкуството (и на кавалетното изкуство¹ в частност) е важен момент в културното развитие на всяка нация. Различни научни методи се използват в областта на изящните изкуства за определяне на възрастта на творбата, за идентификация на използваните материали и откриване на фалшификати. Най-различни съвременни аналитични методи се използват успешно за анализ на произведения на изкуството, разкривайки информация за тяхната историческа и художествена значимост. Днес нито един реставратор не започва лечението на картината преди да бъде поставена точна диагноза с помощта на подходящи методи. Пълното охарактеризиране на физичната структура и химичния състав на художествените материали е от огромно значение и за избор на подходящи начини и методи за консервация и реставрация. Според въздействието им върху обекта на реставрация, методите се делят на две големи групи – деструктивни и недеструктивни. При деструктивните методи за анализ много малко количество от маслената боя се изстъргва от картината и се изследва с различни аналитични методи, но, разбира се, за предпочитане са неразрушаващите методи, които са щадящи за произведенията на изкуството. Онези аналитични методи, които са недеструктивни, а също така приложими *in situ*, т.е. непосредствено върху обекта, са най-предпочитани за неинвазивно изследване на художествените произведения.

1. Картини: пигменти, бои и свързатели

На Фигура 1 е представено схематично изображение на напречно сечение на живописна структура, съставена от два слоя боя върху грундирано платно. Слойт грунд служи като основа, върху която се прави рисунката и се полагат боите. Той също действа като преграда между боята и основата (платно, картон, дърво). В кавалетната живопис грундът обикновено е слой

¹преносими произведения на изкуството

от бяла боя, гипс или смес от вар в туткал с дебелина 0,5–2 mm. Пигментите са най-съществениите съставки на кавалетните картини. От физична гледна точка пигментите са неразтворими вещества под формата на малки частици/гранули с диаметър няколко микрометра. При диспергирането им в матрица, наричана обикновено свързвател, се получава боя, във вид на вискозна паста, която се полага върху основата. Матрицата, като резултат от химични реакции (напр. крос-полимеризация на лененото масло в маслените бои или трансформация на калциевия хидроксид в калциев карбонат при стенописите), постепенно се втвърдява и фиксира частиците пигмент. Фирнисът, който се нанася след завършване на картината (на финалния етап), изпълнява функцията на прозрачен защитен слой, но също така подобрява цветовете и придава блясък на живописната творба. Фирнисите са органични смоли, естествени или синтетични, разтворени в подходящ (летлив) органичен разтворител, оставящи след изпаряването на разтворителя твърд лъскав слой върху повърхността на картината.



Фигура 1. Схематично стратиграфско изображение на картина

С изключение на ограничен брой цветни органични вещества, повечето пигменти, използвани в картините от древността до съвременността, са неорганични съединения. Основната причина за този подбор е по-високата химична стабилност и по-добрата устойчивост на светлина на неорганичните пигменти в сравнение с органичните, както и наличността на повечето неорганични пигменти в естествени минерали или получаването им в резултат на прости химични реакции. За разлика от тях, органичните пигменти, които могат да се извлекат от насекоми или растения, изискват продължителни и деликатни процедури.

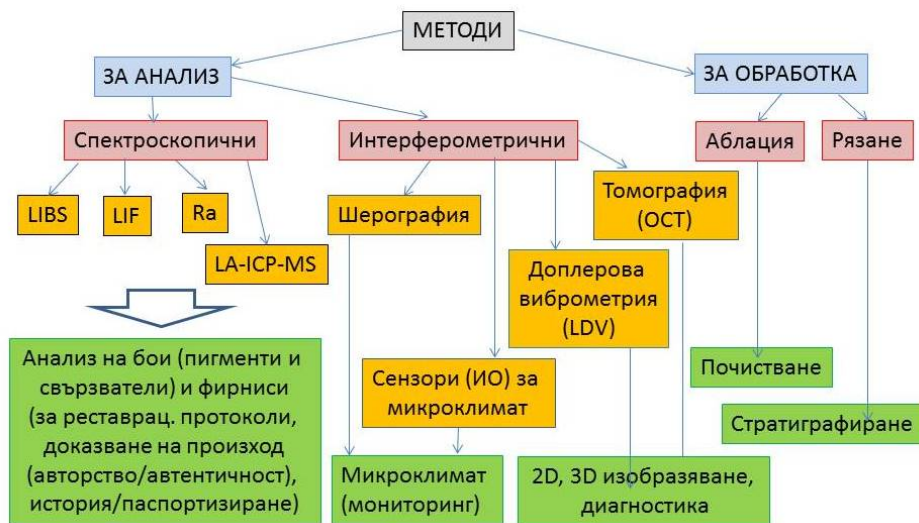
Определянето на пигментите е от голяма важност за художественото охарактеризиране и датирането на творбата и в много случаи – за целите на реставрацията. Информацията за датирането се получава при доказване на определени синтетични пигменти, чиято начална дата на производство се знае с голяма точност. Този подход очевидно поставя граница във времето по отно-

шение на създаването на творбата и може да се използва за директно датиране и разкриване на фалшификати.

Свързвателите, както естествени, така и синтетични, имат твърде различаващи се свойства, които влияят върху картината според това, как са използвани. Такива свойства са разтворимост, прозрачност и дълбочина на цвета, получен при използване на даден пигмент, и свойствата на боите при работа – вискозитет, бързина на съхнене, възможности за нанасяне (покривно или пастозно) и т.н. До известна степен можем да използваме документацията за да научим какви видове бои са използвали отделни художници в различни исторически времена. Но тъй като такива източници са оскъдни, много от нашите знания идват от анализа на проби от живописни артефакти. Този анализ се извършва с помощта на съвременни методи. Както при пигментите, обикновено най-разумният подход е да се използват повече от един метод за дадена проба, когато това е възможно.

2. Аналитични методи с използване на лазери

Бурното развитие на лазерната техника даде в ръцете на реставраторите и консерваторите нови средства и възможности за решаване на редица проблеми, стоящи пред тях. Същевременно то постави и нови изисквания – съвременният реставратор трябва да бъде не само добър художник, но и висококвалифициран учен. През последните десетилетия бяха изследвани много възможни и реални приложения на лазерите за реставрационни и консервационни цели. По-важните лазерни методи, прилагани в консервацията на кавалетна живопис са представени на Фигура 2.



Фигура 2. Методи с приложение на лазери, използвани при реставрация и консервация на кавалетна живопис

Основните **възможности**, които засега предлагат лазерите в областта на консервацията и реставрацията са:

- Определяне на възрастта на картината по състава на пигментите в боите, изводи за нейната автентичност, за школата, към която принадлежи авторът ѝ, определяне на най-подходящите средства за консервация и реставрация.
- Откриване на повреди и проследяване на състоянието на картината с течение на времето.
- Контролирано почистване и отстраняване на нежелани слоеве (повредени или добавени).
- Получаване на стратиграфски и 3D изображения на живописните слоеве.
- Оптимизиране и контрол на микроклимата (температура, влажност и осветление) в хранилищата и в галериите, където се експонира кавалетна живопис.

Най-важното **предимство** на лазерните методи е недеструктивността или микродеструктивността (при аблационните техники). Лазерните измервания могат да се извършат както *in situ*, така и онлайн. Характеризират се с бързина, локалност и висока точност.

3. Спектроскопични методи

Спектроскопичните методи с използване на лазери за възбуждане на спектрите са особено популярни методи в практиката за решаване на аналитични задачи, свързани с изкуство. Основни методи, използвани за спектрален анализ в реставрационно-консервационните дейности са спектроскопия на лазерно индуцирана плазма, лазерно-възбудена флуоресценция, Раманова спектроскопия и лазерна аблация с масспектроскопия в индукционно свързана плазма.

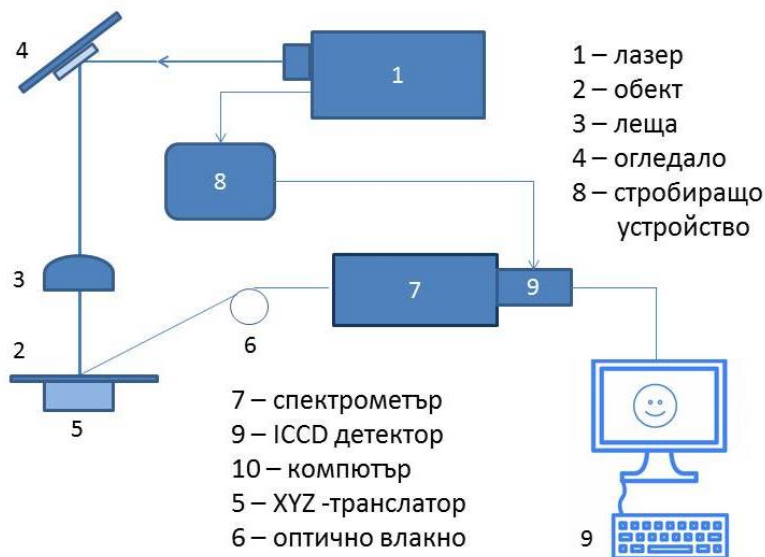
3.1 Спектроскопия на лазерно индуцирана плазма (*LIBS*)

Спектроскопията на лазерно индуцирана плазма (*Laser Induced Breakdown Spectroscopy – LIBS*) е вид атомна емисионна спектроскопия, при която за възбуждане на спектрите се използва мощен лазерен импулс. Лазерният лъч се фокусира за получаване на плазма, която атомизира и възбужда пробите.

Ранната версия на *LIBS* е лазерният микроспектрален анализ [1], който е бил използван от няколко научни колектива в миналото за анализ на пигменти (например от картини в реставрационния отдел на Националната галерия в Лондон [2]) с помощта на култовия лазерен микроспектрален анализатор, *LMA-1-Zeiss*. Лазерният микроспектрален анализ е една от най-разпространените методики за определяне на качествения и количествения състав на използваните бои чрез възбуждане на емисионните спектри на изграждащи-

те ги елементи. Той е безконтактен метод и е лишен от недостатъците на обикновения микроспектрален анализ с възбуждане в дъгов разряд. Лазерът се използва за изпаряване на определен микроучастък от картината и пигментът след това се определя чрез анализиране на спектрите на съставлящите го елементи. Кратерите, които се издълбават върху изследваните обекти почти не се забелязват при обикновено осветление, а само в поляризирана светлина.

LIBS принадлежи към методите за елементен анализ, които се използват широко при изследването на картини. *LIBS* спектрите дават важна информация, която може да доведе до разпознаване на различни материали на базата на техния различен състав. В определени случаи елементният анализ може дори да доведе до непряко определяне на молекулната структура на анализирани материали в комбинация с друга подходяща информация [3].



Фигура 3. Принципна схема на оборудване за спектроскопия на лазерно индуцирана плазма

На Фигура 3 е представена схематично установка за регистриране на *LIBS* спектри. Аналитичната информация се извлича след регистриране на излъчването на възбудените атоми и йони в краткотрайната микроплазма, която се образува в резултат от фокусирането на интензивен наносекунден лазерен импулс върху изследвания обект. Най-често се използват основната ($\lambda = 1064 \text{ nm}$) и четвъртата хармонична ($\lambda = 266 \text{ nm}$) на Nd:YAG лазер в режим на Q-модулация. Типичният лазерен импулс е с енергия между 2 до 10 mJ при диаметър на петното върху пробата приблизително 100–150 μm . За да се избегне влиянието на интензивния емисионен континуум, получен

веднага след образуването на плазмения облак и да се оптимизира разделителната способност, *LIBS* спектрите се разделят във времето с подходящо стробиране на детектора и с използване на многоканално детектиране. Едно примерно закъснение на стробиращия импулс, подаван на усилвателя, е с около 200–500 ns по отношение на лазерния импулс при продължителност на стробиращия 500–1000 ns.

Характеристичните пикове в емисионния спектър водят до определянето на елементите, които се съдържат в облака от аблиран материал, отразявайки локалния елементен състав на образца. Пиковият интензитет по принцип може да се свърже и с числената плътност на всеки емитиращ елемент в облака плазма, а оттам – и с концентрацията на отделните елементи в аблирания материал. По този начин *LIBS* дава качествена (вид на елементите) и в някои случаи количествена информация, отразяваща приблизително относителните концентрации на отделните елементи.

LIBS предлага няколко уникални предимства:

- Не изисква отстраняване на проба от обекта. Анализът може да се извърши *in situ* и изисква само оптичен контакт с обекта.
- Средностатистическото количество аблиран материал – около 20–200 ng за един кратер, дълбок 1–10 μm и широк 100 μm , е толкова малко, че всяко нараняване на повърхността на обекта остава невидимо за невъоръжено око. Затова *LIBS* може да се разглежда като почти недеструктивен метод.
- Изследването се извършва много бързо: при използване на единичен лазерен импулс измерванията приключват за по-малко от секунда.
- Пространствената разделителна способност при анализ на повърхността е почти като при микроскоп [4].
- Позволява да се извърши профилиране в дълбочина, ако се регистрират спектрите от успешните лазерни импулси, попадащи последователно в една и съща точка [3].
- Не използва йонизиращи лъчения, използваното оборудване позволява компактизиране и има възможност да се събере в мобилен блок [5].

Анализът на пигменти, използвани при икони и в кавалетните картини, позволява разграничаване между различните пигменти, базирано на регистрираните характеристични атомни емисионни пикове. Точната идентификация на определен пигмент настъпва при сравнение на спектралните данни с цвета на анализираната боя. Затова при анализа важно значение има и информация от изкуствовед или реставратор по отношение на възможните пигменти, които се очакват.

Емисионните спектри на пигментите, използвани за направа на бои, са техните „пръстови отпечатьци“ и затова една от главните задачи на *LIBS* е формирането на база данни за идентификацията им. Спектралните характеристики на голям брой неорганични пигменти са изследвани в [6]. Изготве-

ният в резултат на това изследване списък включва (в скобите са дадени идентифицираните елементи, присъстващи в химичната формула на веществото-пигмент): оловна бяла (Pb), титанова бяла (Ti), цинкова бяла (Zn), литопон (Ba, Zn, (Ca)), вар (Ca), баритна бяла (Ba), гипс (Ca), кадмиева жълта (Cd, Zn, Ba), хромова жълта (Cr, Pb, (Ca)), кобалтова жълта (Co), кралска жълта (As), неаполитанска жълта (Pb, Sb), оловно-калаена жълта (Pb, Sn), стронциева жълта (Sr, Cr), бариева жълта (Ba, Cr), жълта охра (Fe, Si, Al), кадмиева червена (Cd), цинобър (Hg), червена охра (Fe, Al), реалгар (As), марсова червена (Fe), оловна червена (Pb), ултрамарин (Al, Si, Na), египетска синя (Cu, Si, Ca) кобалтова синя (Co, Al, Na), цьолинова синя (Co, Sn), пруска синя (Fe, (Ca)), азурит (Cu, (Si)), малахит (Cu, (Si)), хромоксидна зелена огнена (Cr), веронез (Cu, As), френска зелена (Cu), слоновокоствна черна (Ca, P), манганова черна (Mn), марсова черна (Fe).

В реалността обаче пигментите често се използват от художника в смеси за постигане на желания резултат по отношение на цвят и тон. Например нерядко зелената боя е резултат от смесване на зелен пигмент с бял или на жълт пигмент със син пигмент. Ситуацията при смеси от много пигменти за получаване на сложни тонове води до по-сложни *LIBS* спектри. В такъв случай изследването с микроскоп помага много при провеждане на анализа на спектралните данни от *LIBS*, ако гранулите на пигмента могат да се различат оптично. Очевидно предварително познаване на спектралните „пръстови отпечатащи“ на чистите пигменти е важно за тяхната достоверна идентификация в реални условия.

В зависимост от присъстващите елементи *LIBS* спектрите могат да са твърде чисти с ясно разграничени емисионни линии, както в случая на реалгар (As_2S_2), кадмиева червена ($CdSe_xS_{1-x}$), литопон ($ZnS\ BaSO_4$), или неаполитанска жълта ($PbSb_2O_7$), или твърде комплексни, както в случай на марсова червена (Fe_2O_3) и титанова бяла (TiO_2), при които се наблюдават многобройни, близо разположени поредици от емисионни линии и разграничаването им изисква много висока разделителна способност при регистриране на спектрите. Също така, при смес от няколко пигмента в един живописен слой, пропорциите им оказват влияние върху общия вид на спектъра и трябва да се търси най-подходящата спектрална област, в която линиите на двата пигмента да са ясно разграничени.

Анализът на художествени обекти налага определени ограничения върху експерименталните параметри, поради ценността на обекта и възможната чупливост на неговата повърхност, особено в случаи на зле съхранявани стари картини. Специално внимание трябва да се отдели на състоянието на повърхността, която се облъчва. Нещо обикновено е старите картини да имат несъвършенства по повърхността, като например пукнатини или частично отлепване на слоя боя. Такъв случай може да доведе до проблеми при използ-

зване на *LIBS*, тъй като ударната вълна, получаваща се при аблацията, би могла да доведе до механично отстраняване на по-голяма част от материала. Ето защо е препоръчително грижливо изследване на областите, подлежащи на анализ, за да се предотвратят нежелателни странични ефекти от лазерния импулс върху повърхността на обекта.

Ясно е, че изборът на подходящи експериментални условия е критичен. Оптимизирането на начина на регистриране на сигнала, спектралната разделителна способност, закъснението и продължителността на стробиращия импулс, броя на лазерните импулси, е много важно. Много често единичен лазерен импулс е достатъчен за да осигури нужната информация. Експериментът с единичен импулс е важен за минимизиране на отнемането на материал от обекта и възможните странични ефекти от лазерното лъчение, като причинено от светлина или топлина обезцветяване. Подходящото фокусиране също допринася за по-добър сигнал, тъй като то оптимизира интензитета на лазера за дадена енергия на импулса, докато в същото време ограничава ефекта на лазерния импулс върху повърхността на обекта.

Както беше споменато по-горе, една от уникалните възможности на *LIBS* е извършването не само на хоризонтален (повърхностен), но и на вертикален (дълбочинен) анализ. Вертикалното профилиране разкрива стратиграфията на живописната структура – откриването на последователните слоеве боя, което е твърде важно при охарактеризирането на картината по отношение на използваната от художника технология или за откриване на добавена картина или ретуширане. При конвенционалните методи стратиграфският анализ обикновено се извършва чрез изрязване на малка проба от картината, вграждането ѝ в полимеризираща смола и странично полиране за да се изяви структурата на живописния слой, след което се извършва анализ на напречното сечение с оптичен микроскоп (обикновено поляризационен – подходящ за разграничаване на пигментите). При *LIBS* всеки лазерен импулс по време на анализа аблира тънък слой от материала и като резултат следващият импулс попада върху нова повърхност. Следователно, чрез сондиране на повърхността с определен брой лазерни импулси в едно и също място, имаме възможност да проследим елементния състав на последователно положени слоеве боя. Дълбочината на аблацията зависи от няколко параметъра като плътност на енергията в импулса, дължина на вълната и вида на аблацияния материал. Измерванията показват, че средно дълбочината на аблация за импулс варира от 0,5 до 2 μm . Обаче, както отбелязахме по-горе, локалните несъвършенства в живописните слоеве често причиняват отстраняване на по-големи количества от материала като резултат от ударната вълна при аблационния процес. В такива случаи се наблюдават кратери с дълбочина от порядъка на 10 μm .

За разлика от пигментите в живописния слой, които са неорганични съединения, фирнисите са органични съединения и техният спектър би могъл да окаже влияние върху анализа на пигментите. При типичните условия на работа, няколко (не повече от 5) лазерни импулса са достатъчни за да отстранят фирниса и да се достигне боята. Предварителното отстраняване на фирнис с други средства може само да създаде риск от по-голямо повреждане на боята и затова се избягва. Спектърът, получен от слоя фирнис е със сравнително нисък интензитет и съдържа слаби молекулни емисионни ивици, дължащи се на C_2 и CN , характерни за органичните материали, и атомни пикове на Ca , Na , Mg , и Al – обикновено от замърсяване на околната среда.



Фигура 4. Палма Векио (1480 – 1528) – „Хубавицата“ (копие от края на 18 в.). Със стрелки са посочени местата, където чрез LIBS са открити следи от титанова бяла

Два хистоматийни примера [3] за използване на LIBS в практиката са стратифицирането на иконата „Св. Никола“ (византийска икона от 19 в.) и повърхностният анализ на копие от 18 в. на платното на Палма Векио „Хубавицата“ (Фигура 4). В първия случай на рисуване с яйчна темпера върху дървена основа, с помощта на дълбочинното профилиране на последователността от слоеве боя от повърхността към грунда, е открит тънък сребърен слой, намиращ се между живописните слоеве. Във втория случай са открити следи от предишна реставрация, извършена през 20 век. Доказателство за това дават LIBS спектрите, показващи присъствие на титанова бяла в места, които са били ретуширани, а титановата бяла започва да се произвежда след 1920 г.

В първия случай е получена важна информация за технологията на иконописта, а във втория – за историята на живописното платно, информация едновременно ценна както за изкуствоведите, така и за бъдещите реставратори на двете творби.

3.2. Раманова спектроскопия (*Ra*)

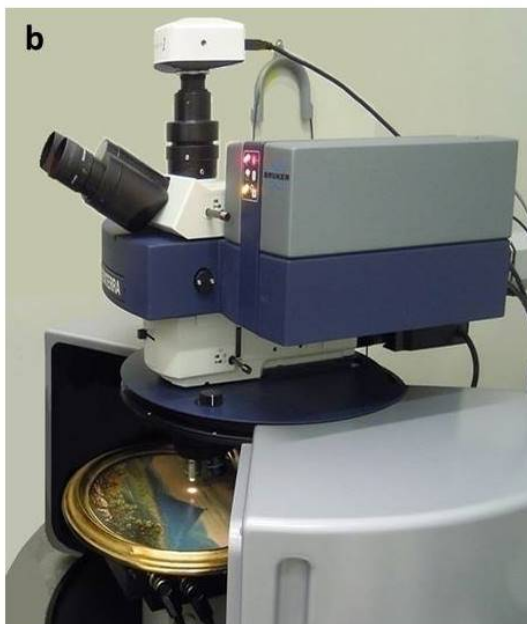
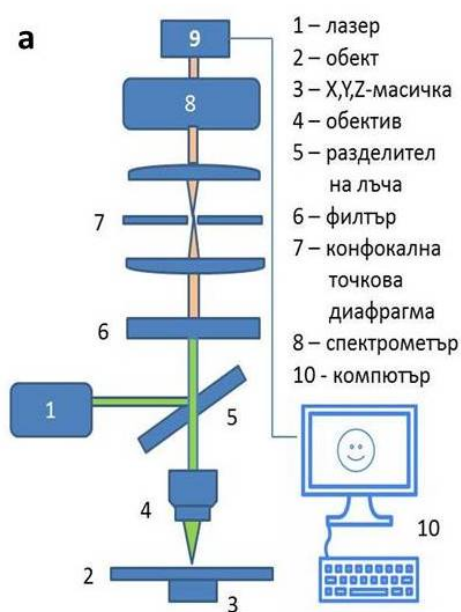
Рамановата спектроскопия е недеструктивен метод за химически анализ, който дава подробна информация за химическата структура, кристалната структура и молекулните взаимодействия. С нея могат да се изследват органични молекули, функционални групи, неорганични фази, кристални, аморфни и полиморфни фази. При Рамановата спектроскопия се регистрират честотите на молекулните вибрации чрез нееластично разсейване на лазерно лъчение. Тъй като вибрационният спектър дава пръстовите отпечатъци на химичните компоненти на материала, както и информация за неговата структура, в консервацията и реставрацията Рамановата спектроскопия се използва главно за идентификация на пигменти. С нейна помощ могат да се изследват ценни художествени обекти напълно безконтактно и недеструктивно (Фигура 5).



Фигура 5. Раманов анализатор в действие (Университет Уиндзор – Лаборатория по обработка на материали и повърхности, Канада) [7]

Реалните проби са винаги комплексни смеси от оригинални съединения и такива, получени като резултат от деградирането, което често изисква използване на различни модификации на Рамановата спектроскопия – дълбочина Раманова спектроскопия (*Spatially Offset Raman Spectroscopy – SORS*), Спектроскопия на повърхностно усиленото Раманово разсейване (*Surface-*

Enhanced Raman Scattering – SERS), използване на Раманови спектрометри с Фурие анализ и теоретична симулация на вибрационни спектри за подпомагане на изследването на Раманови сигнали от непознати съединения. *SORS* е уникален метод за висококачествен химичен анализ на обект, намиращ се под непрозрачен слой и се използва за изследване на пигменти в слоеве, намиращи се под повърхността на картината. Така *SORS* позволява на учените да анализират химичния състав в дълбочина без пряк физически контакт. *SERS* е метод за изследване на повърхности, при който Рамановото разсейване се усилва от адсорбати върху повърхността на изследвания материал чрез възбуждане на повърхнинен плазмон. Коефициентът на усилване може да достигне 10^{10} до 10^{11} , което означава, че методът може да се използва за детектиране дори на единична молекула.



Фигура 6. Принципна схема на Раманов микроскоп (a) и снимка на действащ модел (b)

На Фигура 6а е показана принципна схема на Раманов микроскоп – система от Раманов спектрометър и микроскоп, позволяваща точно позициониране на лъча върху изследваната повърхност и силно фокусиране на лъча върху пробата ($<1 \mu\text{m}$).

В днешно време Рамановият микроскоп е безусловно един от най-добрите уреди за изследване на образци, а Рамановият микроспектрален анализ – един от най-мощните аналитични методи.

Изследването на стари картини с помощта на Раманова спектроскопия е един от най-очевидните примери за взаимодействие между научния анализ и историята на изкуството, което изисква оптимално използване на събраните данни. Резултатите дават нови индикации за техниката на живописване, за характеризирането с помощта на Раманова спектроскопия на различни пигменти на основата на въглерод за да се разграничат различните видове въглеродосъдържащи материали, използвани в живописа. Анализът на използваните материали не трябва да се ограничава само до вещества, използвани целево от художниците, защото консервацията в течение на времето зависи също от околните материали, от околната среда и от причинените от човека въздействия върху повърхността. Пълната характеристика на всички присъстващи материали не може да бъде постигната само с един метод и затова обикновено се използват няколко в комбинация. Един такъв подход е например комбинирането на микро-Раманова спектроскопия и хроматографски методи за охарактеризиране на органични и неорганични пигменти, а също и на свързватели, което може да се използва и за идентифициране на художника по използваните от него бои и технологии.

Изследването на съвременните бои често е комплексно поради присъствието на голям брой Раманови ивици, характерни за използваните органични молекули. При наличието на смеси идентификацията на основните съставки е много трудно, тъй като ивиците на различните бои често се припокриват. Сега съществуват различни методики за автоматично идентифициране на компонентите на смеси от пигменти, започвайки с Раманови спектри. От много голямо значение е създаването на богата и достъпна база данни, дейност, която се поддържа от *IRUG (Infrared and Raman Users Group)* – общност за споделяне на висококачествени референтни спектри. Такива са ИЧ и Раманови спектри от и за изследване на художествени произведения, архитектура и археологични материали, както и голяма колекция от референтни спектри на синтетични органични пигменти, представена в [8]. Рецензирането на базата данни е прецизно и се поддържа от сайта на общността. Всеки може да търси и разпечатва спектри от базата данни.

Рамановата спектроскопия често се използва за определяне на следи от предишни реставрации, когато не могат да бъдат открити документи за историята на картината. Един такъв пример е реставрирането на картината „*Rebecca at the well*“ (Ребека при кладенеца) от неизвестен неаполитански художник, извършена в музея *MAON (Museo dell'Arte dell'Otto e Novecento)*, Ренде, Южна Италия. При реставрирането са установени и идентифицирани много съединения, образувани при предишни реставрации. Извършени са микро-Раманови изследвания за определяне на пигментите, използвани в картината. Историята на произведението не е известна и не са били извършвани научни изследвания до този момент. Изкуствоведите смятат, че картина-

та е нарисувана през 18 век от художник от Неаполитанската школа. Рамановите спектри, снети с микро-Раманова апаратура (*LABRAM* на *Joben Yvon* с He-Ne лазер (632,8 nm) за възбуждане на спектрите), позволяват да бъдат идентифицирани пигментите на оригинала, но освен тях са открити съвременни пигменти като хромова жълта, хромова оранжева и фталоцианид, даващи важна информация за реставрационните дейности и историята на картината [9].

Друг пример [10] е изследването на рисувани японски паравани от началото на 17 век с комбинация от Раманова спектроскопия с използването на различни дължини на вълната за възбуждане на спектрите и анализ на елементите с рентгенова флуоресценция (*XRF – X-Ray Fluorescence*), което позволява пълна характеристика на материалите от повърхността на параваните и дава информация за провежданите в Европа реставрационни процедури, за които няма исторически източници. Обширните и подробни изследвания за сравняване на портретни миниатюри от 16 и 17 век, създадени от известни миниатюристи и реставрирани в Лондонския музей „Виктория и Албърт“, позволяват чрез микро-Раманов спектрален анализ да се определи еволюцията в палитрата на художниците, както и авторството на редица миниатюри с неясен произход [11].



Фигура 7. Джото ди Бондоне: „Мадоната и Младенеца“ (1320 – 1330), дъска, темпера, 85,5 x 62 см.

Картините от IX–XX век са рисувани като към традиционните естествени пигменти са добавяни синтетични органични и неорганични материали. Досега основната част от публикуваните Раманови изследвания са посветени

на материали, използвани в античните произведения, но по-новите материали все още се нуждаят от адекватно характеризиране. В [12] с Раманова спектроскопия е изследвано семейство от синтетични пигменти на основата на кобалт; сравнението на получените спектри с тези на референтни материали позволява идентифицирането кобалтова зелена в палитрата на Джаспър Джоунс и на кобалт виолет светъл и кобалт виолет тъмен между пигментите, използвани от Пабло Пикасо. В [13] се използва набор от методи за идентификация на различни кристални фази на силно проникващия син пигмент меден фталоцианин, за да се получи средство за прецизно датироване на съвременно изкуство, като Рамановата спектроскопия представлява най-ефикасният засега метод за откриване на това багрило в боите на художниците.

Както е известно, при старите майстори собственоръчната направа на бои е била важна част от цялостния процес на създаване на живописната творба. Нещо повече – приготвянето на боите, грундовете, лаковете и всички художествени материали, е било част от замисъла на художника за картината. Определянето на състава на боите, използвани от старите майстори, дава ценен принос към технологията на изящните изкуства, към изкуствознанието и историята.

Един пример за изследване в тази насока с използването на комбинация от аналитични методи, в която влиза и микро-Раманова спектроскопия, е определянето на пигментите, използвани от Джото [14] в картината „Мадоната и Младенеца“ (Фигура 7). Общата гама на картината е студена, като зеленият нюанс на азурига (египетска синя) се подсилва от присъствието на малахит и синьо-зеления минерал миксит в боята. Въпреки че е по-вероятно микситът да е случаен примес, а не е нарочно добавен, изглежда че той присъства в достатъчно голямо количество за да окаже влияние върху цвета на използваната боя. Освен обогатяване на познанията по отношение на технологията на живописиста, резултатите от един такъв анализ допринасят и за по-доброто разбиране на ролята на цвета и нюанса в практиката на художниците. Откриването на редкия минерал миксит дава важна информация и по отношение на възможните източници на азурит, свързана с геологията и историята на минното дело в Европа.

Днес Рамановата спектроскопия е ключов метод за идентификация на пигменти в художествени произведения, главно заради високата си пространствена и спектрална разделителна способност, отлична чувствителност и точност и защото може да се прилага към обектите *in situ*. Трудности могат да възникнат в случай на определени органични пигменти, основи и свързватели, които флуоресцират, които са фоточувствителни, или които не успяват да дадат Раманов спектър поради малък размер на частиците, висока разтворимост или нискоефективно разсейване. В такива случаи използването на

други методи едновременно с Рамановата спектроскопия става наложително за да се постигне пълно охарактеризиране на пигмента.

3.3. Лазерно индуцирана флуоресценция (*LIF*)

Лазерно индуцираната флуоресценция (или лазерно стимулирана флуоресценция – *LSF*) е метод, при който атом или молекула се възбуждат до високо енергетично ниво чрез поглъщане на лазерно лъчение. Възбудените състояния релаксират след време от няколко наносекунди до микросекунди, като излъчват светлина с дължина на вълната, по-голяма от възбуждащата. *LIF* се използва за изследване на структурата на молекулите и за детектиране на различни биологични молекули. Принципната схема на оборудване за възбуждане и регистрация на спектрите е аналогична на тази за *LIBS* (Фигура 3), като разликата е главно в мощността на използваните лазерни източници.

За разлика от лазерния микроспектрален анализ, който е деструктивен метод, *LIF* не е свързана с нарушаване целостта на изследвания обект дори и в микрообласти от него. При този метод [15] анализът се основава върху спектралните ивици на съединенията вместо на елементите, което означава, че той е подходящ при пигменти, направени както от неорганични, така и от органични съединения. Пигментите се идентифицират чрез измерване на спектрите и характеристиките на затихване на флуоресценцията при възбуждане с импулсен лазер.

Маслените бои имат различни спектри и характеристики на затихване на флуоресценцията дори в едни и същи групи цветове, което ни позволява да определим използвания пигмент. Например оловна бяла се използва от доколешески времена, цинковата бяла се използва едва от средата на 19 век, а титановата бяла – от 20 век. Цинковата бяла показва интензивна флуоресценция, докато при оловната бяла не се открива флуоресценция. Цинковата бяла (ZnO) обикновено се съдържа в съвременните маслени бои за регулиране на тона, докато тя изобщо не участва в старите маслени бои, произведени преди средата на 19 век. Тъй като флуоресценцията на ZnO е интензивна, може да бъде открит 1% цинкова бяла в смесени бои. Следователно, можем да използваме флуоресценцията на цинковата бяла като индикатор за картини, рисувани (евентуално фалшифицирани) след средата на 19 век. Но какво ще покаже флуоресцентният метод, ако фалшификацията е направена от прецизен фалшификатор, който избягва да употребява цинкова бяла? Методът има и редица недостатъци, които на този етап го правят все още един спомагателен, а не основен метод, т.е. разумно е той да бъде използван в съчетание с други недеструктивни методи за откриване на фалшификати.

През последните години *LIF* намира все по-широко приложение при изследване и охарактеризиране на материали. В частност тя е използвана и за оценка на повреждане, биологично замърсяване и анализ на специфични материали от повърхността на художествени обекти. Резултатите и сравнител-

ната обработка на данни дават флуоресцентни изображения и точна спектрална информация. Сравнението с данните и спектрите от изградена за целта референтна база данни позволява идентифицирането на материалите върху картините и дава информация за тяхното създаване. Само няколко статии са посветени на приложението на *LIF* за изследване на съвременни синтетични материали и пигменти и анализ на картини от съвременни художници. Един такъв пример е използването на сканиращата лазерна апаратура (*ENEA LIF scanner*) за анализирането на четири картини на Гастон Новели от Националната галерия за модерно и съвременно изкуство в Рим [16]. По време на изследването са идентифицирани различни материали за да се разграничат и картографира области с използване на различна техника и да се извърши проверка за евентуално биологично замърсяване, необходима във връзка с предстоящото реставриране на картините. Амбицията на това изследване е да се положи начало на създаване на база данни за флуоресценцията на съвременните художествени материали и за превръщане на *LIF*, в съчетание със статистически анализ, в по-самостоятелен метод за анализ на картини.

***LIBS* в комбинация с *LIF* и *Ra* като допълващи методи**

Комбинирането на повече от един метод при решаване на аналитични задачи би могло да даде по-пълна информация за изследваните обекти. Силните страни на един метод може да компенсират слабостите на друг. Два такива примера са комбинацията на *LIBS* с *LIF* и *LIBS* с *Ra* при изследване на византийски икони [17].

• *LIBS-LIF* комбинация

Комбинираното използване на *LIBS* и *LIF* за пълно охарактеризиране на бялото ретуширане на византийски икони [3] с голяма точност доказва вида на използвания пигмент. *LIBS*-спектърът показва, че цинкът е главната компонента на ретуша, а *LIF* спектърът идентифицира самото съединение ZnO (цинкова бяла), на основата на неговите характеристични фотолуминесцентни интензивни тесни ивици при 383 nm (при възбуждане с 3-та хармонична на Nd:YAG-лазер). При други експерименти са съчетани възможностите за елементен анализ и вертикално профилиране на *LIBS* и аналитичните свойства на *LIF*-спектроскопия [17] с едно и също оборудване, като на всеки етап от профилирането отначало се регистрират спектрите от флуоресценция/луминесценция на образеца. Важно е да се подчертае, че за подходящо извършване на измерването на флуоресценцията е необходима много по-ниска енергия на лазерния импулс, отколкото при аблацията. При това изследване е направен анализ на проба от слой кадмиева жълта ($\text{CdS} \cdot \text{ZnS} \cdot \text{BaSO}_4$) върху грунд от гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), съдържащ малки количества цинкова бяла (ZnO) – силно луминесциращ материал. В *LIF* спектрите се наблюдава преход от от характеристичната луминесцентна емисия на CdS при ~488 nm от

кадмиевата жълта до тази на ZnO при 383 nm. Аналогично, атомни емисионни линии, дължащи се на Cd, Zn, и Ba се наблюдават при LIBS.

- *LIBS-Ra* комбинация

При тази комбинация методи [3, 18] *LIBS* дава информация за присъстващите елементи и за стратиграфиране, а след това се използва Раманова микроскопия за идентификация на пигментите с по-голяма достоверност. Принципът е същият като този, при използването на *LIBS-LIF* комбинация. Обаче, поради технически ограничения, двата метода се прилагат поотделно и се използват две различни оборудвания. При анализа на пигментите във византийска икона на Св. Никола, с двата метода независимо е доказано присъствието на цинобър в червената боя и на гипс и калциев анхидрид в грунда.

Тези методи ще продължават да бъдат тествани за анализ в различни реални ситуации, така че техните аналитични възможности да бъдат напълно изследвани и те да станат по-широко известни на реставраторите. Не по-малко важно е да се създадат ефективни методи за комуникация между учените от различни области като аналитична химия, изкуствознание, физика, материалознание и т.н.

3.4. Лазерна аблация и масспектрометрия в индуктивно свързана плазма (*LA-ICP-MS*)

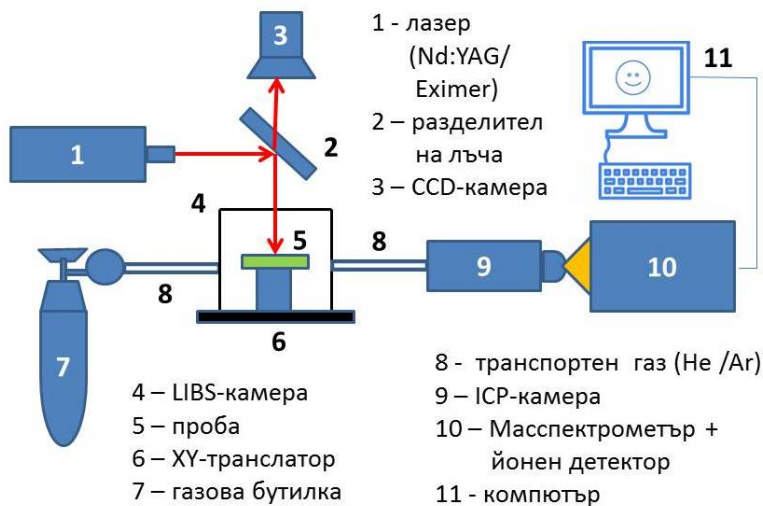
Масспектрометрията (*MS*) е един от най-широко използваните аналитични методи и намира приложение в най-различни области. В масспектрометъра йонизираният йон се разделят според масата си и това позволява тяхната бърза и точна идентификация. Източник на йони е индуктивно свързаната плазма (*ICP*), използвана за определяне на неорганични вещества – идеален за минерали, пигменти и метали. При *ICP-MS* (масспектрометрия с индуктивно свързана плазма) малки количества от изследвания материал се прекарват през плазмата – силно нагрят газ (около 9000 K), който йонизира материала на пробата. Най-голямото предимство на *ICP-MS* метода е неговата висока чувствителност и точното определяне на компонентите на пробата. Използва се главно в геологията и при елементен анализ на материали за електрониката. Методът е изключително бърз – едно измерване продължава около 30 s.

При *LA-ICP-MS* лазерната аблация (*LA*) се използва за изпаряване на проба от твърд материал, като при аблацията се отделя малко количество материал от повърхността или обема на пробата, което след това се вкарва в *ICP* камерата с помощта на инертен транспортен газ (Фигура 8).

Оптимизирането на системата е много важно и то включва най-вече контрол върху аблацията (настройка на лазерните параметри и фокусирането) и определяне на количеството аблиран материал по размера на кратера. Това става като се има предвид енергията на лазерния импулс и вида на материала за аблиране, както и броят импулси, попадащи във всяка точка за анализ.

Въпреки това, винаги е трудно да се определи точното количество от пробата, което достига ICP-камерата. По тези причини количественият анализ може да се окаже труден и да изисква калибриращи криви и вътрешни стандарти [19].

Предимствата на *LA-ICP-MS* са високата чувствителност и бързина на анализа, възможността за пряк анализ на всякакъв вид твърди проби и за едновременен анализ на много елементи, както и за точков и повърхнинен анализ. Чрез контрол на дълбочината на аблация може да се получи профилиране на живописните слоеве.



Фигура 8. Принципна схема на оборудване за *LA-ICP-MS*

При този метод границите на детектиране спрямо голям брой химични елементи са от части на милион (ppm) до части на трилион (ppt) и затова този тип аналитични системи могат да се използват за изследване на следови елементи в произведения на изкуството. Тези „пръстови отпечатьци“ могат да дадат например информация за това къде, как и кога е създадена една картина. Те могат да се използват и за групиране на артефакти по място и по време. Това е направено за произведения на аборигенско изкуство – картини върху кора [20], и е продиктувано от нарастващия интерес към туземното изкуство и необходимостта да се паспортизират обменяните между галериите по света картини, т.е. да бъдат доказани техният произход и автентичност. *LA-ICP-MS* (в комбинация с рентгенова дифракция) е използвана за изследване на австралийските охри с цел изработване на ясен научен протокол, който да съдейства за точното им определяне и доказване на произхода на картините, създадени с използването им. Картините на аборигените са върху кора от евкалиптово дърво, която, след термична обработка, се използва за основа. Боите се приготвят чрез смилане на камъни, съдържащи естествени

пигменти. През 2014 в Музея за изкуство – Харвард, е извършено паспортизиране на картини върху дървесна кора от 19 и 20 век с охри от различни области на Северна Австралия, във връзка с изработване на каталог за предстояща изложба [21]. Палитрата на аборигените се ограничава обикновено до четири цвята – червен, бял, жълт и черен, цветовете рядко се смесват, въпреки че понякога се добавя бяла или черна за изсветляване или потъмняване на тона. Естествените пигменти са добивани от различни находища и по различно време, като в зависимост от това показват слаби вариации в състава си. Червените и жълтите пигменти са охри, съдържащи железен оксид, черните са въглеродосъдържащи или са на основата на манганови оксиди, бели са на основата на каолин (алуминиев силикат), кварц (силициев диоксид), вар (калциев карбонат) и хънтит (хидромагнезит – магнезиевокалциев карбонат). Чрез вариациите в състава на охрите се установява техният произход (според геологичните източници) и се получава информация за търговията с естествени суровини между различните общности от континента (чрез анализ на малко проби боя, взети от картини). Използването на *LA-ICP-MS* създава известни проблеми като прогарянето на кратер в тези картини, които са с малка обща площ, слоевете са тънки и може да се получи замърсяване от подложката, което да затрудни интерпретацията на резултатите. Затова методът все още не може да се разглежда като самостоятелен. Засега той е по-скоро екзотика, но с потенциал за бъдещи изследвания.

Литература

- [1] L. Moenke-Blankenburg, *Prog. Analyt. Spectrosc.* **9**, 335 (1986)
- [2] A. Roy, *NationalGalleryTechnical Bull.* **3**, 43 (1979)
- [3] L. Burgio, R. J. H. Clark, T. Stratoudaki, M. Doulgeridis, and D. Anglos, *Appl. Spectrosc.* **54**, 463 (2000)
- [4] T. Kim, C. T. Lin, and Y. Yoon, *J. Phys. Chem.* **B 102**, 4284 (1998)
- [5] K. Y. Yamamoto, D. A. Cremers, M. J. Ferris, and L. E. Foster, *Appl. Spectrosc.* **50**, 222 (1996)
- [6] D. Anglos, *Appl. Spectrosc.* **55**, 186A (2001)
- [7] R. Gr. Maev, D. Gavrilov, A. Maeva, I. Vodyanov, Proc. 9th International Conference on NDT of Art, Jerosalem, Israel, 25-30 May 2008, pp.1-13
- [8] W. Fremout, S. Saverwyns, *J. Raman Spectrosc.* 2012, **43**, 1536 (2012)
- [9] E. Cazzanelli, E. Platania, G. De Santo, A. Fasanella, and M. Castriota, *J. Raman Spectrosc.*, **43**, 1694 (2012)
- [10] L. Carvalho, S. Pessanha, A. Le Ggac, T. Madeira, and J.-L. Bruneel, *J. Raman Spectrosc.*, **43**, 2012, 1699 (2012)
- [11] L. Burgio, A. Cesaratto, and A. Derbyshire, *J. Raman Spectrosc.*, **43**, 1713 (2012)
- [12] F. Casadio, A. Bezúr, I. Fiedler, K. Muir, T. Trad, and S. Maccagnola, *J. Raman Spectrosc.*, **43**, 1761 (2012)

- [13] C. Defeyt, P. Vandenabeele, R. Gloors, and D. Strivay, *J. Raman Spectrosc.*, **43**, 1772 (2012)
- [14] B. H. Berriel, M. Leona, and R. McLaughlin, *Herit. Sci.*, **4**, 1 (2016)
- [15] T. Miyoshi, M. Ikeya, S. Kinoshita and T. Kushida, *Jap. J. Appl. Phys.*, **21**, 1032 (1982)
- [16] V. Spizzichino, F. Angelini, L. Caneve, F. Colao, R. Corrias, and L. Ruggier, *Studies in Conservation*, **60**, S178 (2015)
- [17] D. Anglos, *Focal Point*, **55**, 186A (2001)
- [18] M. Castillejo, M. Martin, D. Silva, T. Stratoudaki, D. Anglos, L. Burgio, and R. J. H. Clark, *J. Molec. Structure*, **550-551**, 191 (2000)
- [19] M. Caycedo, „Minimally-invasive analytical techniques for art and archaeological research“, Thesis, University of Amsterdam, January 2013
- [20] R. L. Green and R. J. Watling, *J. Forensic Sci.*, **52**, (2007)
- [21] G. Rayner, N. Khandekar, K. Eremin, R. Giannini, and A. Shortland, *ANAG-PIC*, 1(2014)

LASER METHODS IN RESTORATION AND CONSERVATION OF EASEL PAINTING

(Part I)

M. Kuneva

Application of laser technology for studying painting materials – media, pigments, varnish – has been widely researched in the last few decades due to its certain advantage of offering well-controlled working tools for fast, non-destructive *in situ* analysis with high accuracy. The present overview emphasizes on the main spectroscopic methods with laser-adopting equipment. The capabilities of complete characterization of the physical and chemical structure of paintings are illustrated with some impressive cases of practically solved problems.



СПИСАНИЕ „СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА“ СЪЮЗ НА ФИЗИЦИТЕ В БЪЛГАРИЯ

Списанието „Светът на физиката“

е издание на Съюза на физиците в България, което публикува оригинални и обзорни статии във всички области от физиката.

ПОСЕТЕТЕ НАШИЯ САЙТ

wop.phys.uni-sofia.bg

АБОНИРАЙТЕ СЕ

Абонамент за 1 година (4 броя) – 20 лв. За членове на СФБ – 16 лв.

За ученици, студенти и пенсионери – 10 лв.

Ако желаете да се абонирате, пишете на worldofphysics@abv.bg

Цена за 1 книжка – 5 лв.

СТАНЕТЕ НАШИ АВТОРИ

Може да изпращате статии за публикуване в списанието като прикачени файлове на същия адрес.

Броевете на списанието можете да намерите на сайта ни

wop.phys.uni-sofia.bg

и на адрес:

Съюз на физиците в България, Физически факултет

СУ „Св. Климент Охридски“

бул. „Джеймс Баучер“ 5, София 1164

Тел. + 359 2 62 76 60, e-mail: upb@phys.uni-sofia.bg,

както и по време на ежемесечната ни лектория

„Светът на физиката на живо“

в Софийска градска библиотека

УЧЕН СЛУЧАЙНО НАМЕРИ НАЙ-СТАРАТА ВЕРСИЯ НА ПЕРИОДИЧНАТА ТАБЛИЦА НА МЕНДЕЛЕЕВ

2019 година е знаменателна за Периодичната система на Менделеев, тъй като светът отбелязва 150-ата годишнина от създаването ѝ от Дмитрий Менделеев. Сега можем да видим и впечатляваща реликва от нейната история. Университетът Сейнт Андрюс (*St. Andrews*) в Шотландия обяви, че е открита и реставрирана най-старата в света Периодична таблица.

Понякога може да се намерят наистина удивителни и невероятно ценни неща при генерално почистване на помещение, каквото никога не е правено преди това. Не вярвате ли? Попитайте химика Алън Айткен (*Alan Aitken*) от Университета Сейнт Андрюс в Шотландия, който още през 2014 г. загубил цял месец от живота си, за да въведе ред в едно складово помещение в Химическия факултет, което не било правено от 1968 г. Сред целия безпорядък Айткен намерил купчина сгънати учебни таблици. Какво е било неговото учудване, когато сред целия този боклук той видял уникална реликва на историята на науката.

Reihen	Gruppe I R ² O	Gruppe II RO	Gruppe III R ² O ³	Gruppe IV RH ⁴ R ² O ²	Gruppe V RH ⁵ R ² O ⁵	Gruppe VI RH ⁶ RO ³	Gruppe VII RH R ² O ⁷	Gruppe VIII RO ⁴
1	H-1							
2	Li-7	Be-9	B-11	C-12	N-14	O-16	F-19	
3	Na-23	Mg-24	Al-27,3	Si-28	P-31	S-32	Cl-35,5	
4	K-39	Ca-40	Sc-44	Ti-48	V-51	Cr-52	Mn-55	Fe-56, Co-59, Ni-59, Cu-63
5	(Cu-63)	Zn-65	Ga-68	-72	As-75	Se-79	Br-80	
6	Rb-85	Sr-87	Yt-88	Zr-90	Nb-94	Mo-96	-100	Ru-104, Rh-104, Pd-106, Ag-108
7	(Ag-108)	Cd-112	In-113	Sn-118	Sb-122	Te-125	J-127	
8	Cs-133	Ba-137	Ce-137	La-139		Di-145?		
9	(-)							
10	- 165 -	- 169 -	Er-170	- 173 -	Ta-182	W-184		Pt-194, Os-195, Ir-193, Au-196
11	(Au-196)	Hg-200	Tl-204	Pb-206	Bi-210			
12				Th-231		U-240		

Най-старата известна учебна таблица на Периодичната система на Менделеев от 1885 г.

Когато д-р Айткен разгънал една от таблиците, той видял пред себе си една от най-ранните версии на Периодичната система на химичните елементи. В горната част на таблицата имало надпис на немски: „*Periodische Gesetzmässigkeit der Elemente nach Mendeleieff*“. Тъй като била пролежала много години в този килер, тя била много ронлива. Когато Айткен я е разгърнал за пръв път, от нея се откъснали няколко парченца, но основният текст не бил засегнат. Лошото състояние на хартията подсказало на учения, че пред него се намира истински артефакт.

Детайлният анализ на таблицата и нейната история потвърдили догадката. Да, таблицата се оказала много стара. Според данни на университета, тя е била направена в 1885 г. По-нататъшни изследвания показали, че тя може да бъде смятана за най-старата известна учебна таблица на Периодичната система.

Руският учен Дмитрий Менделеев е публикувал своята първа схема на Периодичната таблица през 1869 г. в статията „Съотношение между свойствата и атомното тегло на елементите“ (в списанието на Руското химическо дружество). В 1871 г. таблицата е била допълнена. Намерената в Шотландския университет версия много прилича на допълнената версия, но с някои важни различия.

Намереният в университета Сейнт Андрюс вариант е ранен образец. Таблицата има анотации на немски, а в долния ляв ъгъл е поставен надпис „Verlag v. Lenoir & Forster, Wien“ на работилата в периода 1875 – 1888 г. във Виена печатница. Друг надпис – „Lith. von Ant. Hartinger & Sohn, Wien“ – ни насочва към литографа, който, както става ясно, е починал през 1890 г. В хода на работата по изясняване на произхода на таблицата университетът се е обърнал за помощ и консултация към много международни експерти. Направеното изследване показва, че по-ранна редакция на тази таблица, както изглежда, не съществува. Професор Ерик Шери, експерт в областта на историята на Периодичната таблица на елементите от Калифорнийския университет в Лос Анжелис, смята, че този вариант е бил съставен между 1875 и 1885 година. Към такъв извод навеждат самите елементи, намерили място в нея. Например галий и скандий са там, а германият, който е открит чак в 1889 г. отсъства – се казва в прессъобщението на университета Сейнт Андрюс.

Последващият анализ на стари финансови отчети на Университета показва, че Томас Пурди – професор по химия, работил в Университета от 1884 до 1909 г., е закупил таблицата чрез немски научен каталог през октомври 1888 г. Намерена е и сметката за закупуване на Таблицата за 3 златни марки (днес £17,30). Самата таблица е била изработена във Виена през 1885 г.

След установяването на датата на изготвяне и мястото на отпечатване на таблицата ръководството на Университета Сейнт Андрюс е взело решение за съхраняване за потомците на тази реликва на научната история. Затова университетът се обърнал към своя екип от реставратори. Необходи-



Сметката за закупуване на Таблицата от каталога на С. Герхард

мото финансиране е било осигурено от Шотландския национален фонд за съхраняване на ръкописи.

С максимално внимание, за да не повредят още повече хартията, екипът реставратори са почистили с четчици натрупаната с годините мръсотия и прах. Хартията, на която е отпечатана таблицата, е била отделена от тежката ленена подложка. В работата е била използвана дейонизирана вода, с чиято помощ учените са възстановили цвета на текста. А с помощта на японската хартия *kozo* и пшеничено нишесте, специалистите успели да възстановят разкъсванията на хартията.

След приключване на реставрацията сътрудници на Университета са направили реплика в пълен размер, която сега е изложена на показ. Оригиналът на таблицата се съхранява в помещение с контролирана температура и влажност. Надяваме се, че таблицата няма да бъде забравена за още един век.

<https://www.cnet.com/news/periodic-table-at-150-comes-alive-with-haiku-and-pretty-pictures/>.

Превод: Бойко Георгиев

SCIENTIST ACCIDENTALLY FINDS THE OLDEST VERSION OF MENDELEEV'S PERIODIC TABLE

A classroom chart bearing an early version of the periodic table of elements has been discovered in a storage room of University of St. Andrews chemistry department. Dating back to the 1880s, the chart is thought to be the world's oldest. Hopefully it won't be forgotten for another century.

Translation: Boyko Georgiev

Харесайте страницата на списанието във facebook

<https://www.facebook.com/world.of.physics.bg/>

ЗА 150-ГОДИШНАТА НАУЧНА ПРОНИЦАТЕЛНОСТ НА ДМИТРИЙ ИВАНОВИЧ МЕНДЕЛЕЕВ И ПЕРИОДИЧНАТА ТАБЛИЦА НА ХИМИЧНИТЕ ЕЛЕМЕНТИ

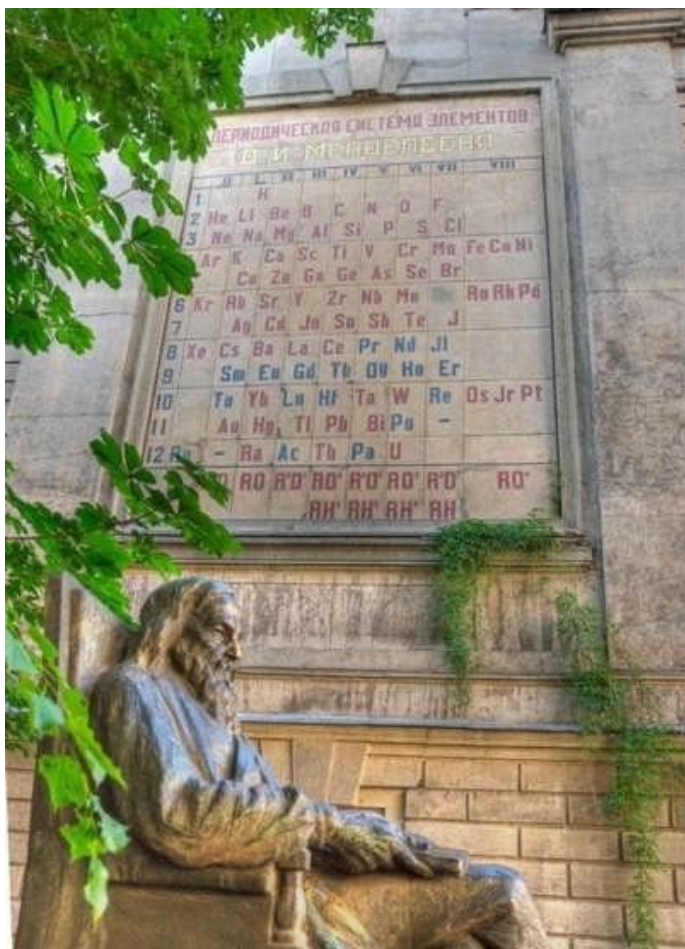
Василка Пенчева

Генералната асамблея на ООН обяви 2019 за Международна година на Периодичната таблица на химичните елементи в знак на признателност и висока оценка към градивния многогодишен труд на огромната международна научна колегия от много области на науката, сред които с най-голям и всепризнат принос се отличава руският учен Дмитрий Иванович Менделеев. Сбъднаха се пророческите му думи, записани в неговия дневник на 10 юли 1905 г.: *„Очевидно бъдещето не заплашва Периодичния закон с унищожение, а само обещава надстройки и развитие ...“* [1].

В наши дни са изминали 150 години от създаването на първия вариант за подреждане в система на химичните елементи от Менделеев, озаглавил тази своя работа: *„Опит за система на химичните елементи, на основата на тяхното атомно тегло и химически сходства“*. На 1 март 1869 г. той разпраща тази своя работа, отпечатана във вид на таблица, на редица руски и световни учени. Тази първа таблица – по-точно, „опит за таблица“, както самият Менделеев я определя, с „първите мисли за периодичността“, е още доста несъвършена, твърде далече от познатия ни съвременен вид на системата на химичните елементи. Трябва да се отбележи, че в нея са оставени и отбелязани с въпросителна, празни места за нови химични елементи. Удивителна е увереността на учения, че на всяко място в таблицата съответства определен химичен елемент, който задължително съществува, при това могат да се очакват предполагаемите му свойства.

С изучаването и натрупването на знания за свойствата на веществата, химичите забелязват, че между някои химични елементи има сродство, което ги довежда до мисълта за тяхното систематизиране. В края на 18 в. за първи път опит за систематизация прави френският учен Лавоазие, като съставя таблица на „простите тела“ в зависимост от техните свойства. През следващите години са направени редица предложения от много учени за подобни систематизации, като: групиране на химичните елементи по тройки, наричани триади; съставяне на четири групи от неметали с подобни химични свойства; система от химични елементи във вид на спирална линия по повърхността на цилиндър, като всяка спирална навивка съдържа по 16 химични елемента и сходните попадат един под друг; предлага се закон на октавите, който предполага разполагане на химичните елементи по нарастване на

тяхното атомно тегло, като свойствата им трябва да се повтарят през всеки седем елемента. Този закон на октавите се оказва неуспешен, защото при това подреждане някои разнородни елементи попадат един под друг. Химичните елементи се подреждат според тяхната валентност, като се образуват шест групи, но така не се постига пълната периодична връзка между всички химични елементи.



Фигура 1. Истинската таблица, съставена от Менделеев, иззидана върху стената на дома му в Санкт Петербург през 1932 г.

От представените многобройни опити за подредба на химичните елементи, известни и изследвани до и около „опита за таблица“ на Менделеев, нито един не притежава основните предимства на системата, съставена от Менделеев – простота, научна естественост, удобство, нагледност. Таблицата, предложена от Менделеев, е първата графична илюстрация на откритата от него закономерност: *„Елементите, разположени според големината на атомното им тегло, определено проявяват изявена периодичност в свойствата*

си“, както той е написал в статията си *„Съотношение на свойствата с атомното тегло на елементите“*. В нея отсъства пряка употреба на термина „периодичен закон“, напълно в духа на тогавашната научна атмосфера и отговорност на самия Менделеев, защото да наречеш откритата закономерност фундаментален природен закон, е необходимо да получиш признаването на този закон от учените, работещи над проблема по света. Несъмнено Менделеев е знаел, че е необходимо време, и че все още предстои много работа над този труд.

В протокола на Руското химическо дружество от заседанието на 6 март 1869 г. [2] делово, сухо, научно, без емоции, е отбелязано, че химикът Н. Меншуткин, от името на Д. И. Менделеев, е представил доклад на тема: *„Опит за система на химичните елементи, въз основа на тяхното атомно тегло и химически прилики“*. Дори не е имало обсъждане поради отсъствието на автора на доклада, а то е отложено за следващото заседание. Този делови исторически документ, придобил изключителна важност за световната наука, е свидетелство за първото представяне на един от основните закони на природата пред научното общество, което тогава едва ли е осъзнавало значението му напред във времето. През 1871 г., в списанието на Руското химическо дружество е публикувана обширна статия на Менделеев, озаглавена: *„Естествена система на елементите и прилагането ѝ за определяне на свойствата на неоткрити елементи“*. Едва ли в световната научна литература някога е публикувана подобна статия. Авторът е описал в нея три химически елемента, наречени от него „екасилиций“, „екаалуминий“ и „екабор“, напълно неизвестни на науката, като при това е описал подробно свойствата, които трябва да притежават и съединенията им.

„Реших се да направя това, че когато след време, бъде открито едно от тези предсказани от мен вещества, да има възможност окончателно да убедя както себе си, така и другите химици в правилността на тези предположения, които лежат в основата на предполагаемата от мен система“ – пише в тази статия Менделеев [1].

След откриването на „екаалуминия“ – елемента галий (Ga), през 1875 г., на „екабора“ – елемента скандий (Sc), през 1879 г. и на „екасилиция“ – елемента германий (Ge), през 1886 г., подробното определяне на техните свойства и сравняването им с предсказанията от Менделеев, се установява поразително точно съвпадение. Той продължава систематично да работи над неточностите и празните места на химическите елементи, присъстващи в първите варианти на системите, до написването на горната статия. Успява да измени неправилно определените атомни тегла на индия, церия, итрия, тория и урана, което довежда и до промени в разположението на тези елементи в системата. В този вариант на подреждане на елементите, като най-тежък по отношение на атомното си тегло, уранът се оказва последен елемент в естестве-

ния ред. Резултатите от многогодишните си изследвания, допълнени с новите постижения от неговите съвременници, Менделеев обобщава в основна публикация през 1871 г. на тема: „*Периодична закономерност на химическите елементи*“. В тази статия създадената от него система е наречена „*периодична*“, поради това, че е следствие на периодичния закон на химичните елементи, формулиран за първи път като: „*Свойствата на елементите, а оттам и свойствата на образуванияте от тях прости и сложни вещества, се намират в периодична зависимост от тяхното атомно тегло*“.

Съдбата на великите научни открития най-често е съпроводена от големи трудности, докато бъдат разсеяни всички съмнения в значимостта и достоверността им. Такава сложна съдба и дълъг път на утвърждаване има и Периодичният закон на химическите елементи.

В самия край на 19 в. са открити инертните или благородните газове, които за учените изглеждат странни и неразбираеми, тъй като не встъпват в химични реакции, откъдето идва названието им „*ленивци*“ – от гръцката дума „*аргонавти*“, и откриването на първия от тях, *аргона*, в земната атмосфера. С откриването им се засилват съмненията в устойчивостта на Периодичната система на химическите елементи, защото учените не виждат място в нея за новооткритите благородни газове. Това препятствие добавя още едно предимство на системата, предложена от Менделеев – гъвкавост. През февруари 1900 г. в Берлин се срещат Менделеев и шотландецът Уилям Рамзи (с голям принос в изследване на инертните газове – аргон, неон, криптон, ксенон), двама учени, които повече от всички останали, са заинтересовани да намерят място на инертните газове в Периодичната система. И те го правят. Поставят инертните газове в самостоятелна, нулева група (Фигура 2), което надгражда и придава още по-завършен, по-подреден вид на системата. В съвременните таблици, в светлината на новото разбиране за строежа на атома, тази нулева група елементи е представена като втора осма група (8a) и все още държи отворени много въпроси.

В тази таблица преди елемента водород (H) авторът е поставил в нулевата група два несъществуващи в съвременните варианти на Периодичната таблица елемента – „*Нютоний*“ (ефир или етер) и „*Короний*“. Но през XIX в. световната общност на учените е под огромното влияние на концепцията за етера като всепроникваща веществена среда с напречна еластичност, в която се разпространяват всички трептения с немислима скорост. Д. И. Менделеев също е изкушен от новото научно търсене на етера. Той прави редица опити, разреждайки обеми въздух, с цел да достигне до нов вид газ с много малко тегло и да избегне проблемите с припокриването на свойствата на известните обикновени вещества със свойствата на етера. В своите търсения ученият предполага, че етерът е химичен елемент с безкрайно малко тегло, както е писал в труда си „*Опит за химическо разбиране на световния етер*“

[3]: „Реалното разбиране на етера не би могло да се постигне, чрез игнориране на неговия химизъм и ако не се счита за елементарно вещество“.

	Подлинная, нефальсифицированная Таблица Д.И. Менделеева «Периодическая система элементов по группам и рядам» (Д. И. Менделеев. Основы химии. VIII издание, СПб., 1906 г.)									
	Группы элементов									
	Ряды	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
0	Ньютоний									
1	Короний	Водород H 1,008	—	—	—	—	—	—	—	
2	Гелий He 4,0	Литий Li 7,03	Бериллий Be 9,1	Бор B 11,0	Углерод C 12,0	Азот N 14,01	Кислород O 16,00	Фтор F 19,0		
3	Неон Ne 19,9	Натрий Na 23,05	Магний Mg 24,36	Алюминий Al 27,1	Кремний Si 28,2	Фосфор P 31,0	Сера S 32,06	Хлор Cl 35,45		
4	Аргон Ar 38	Калий K 39,15	Кальций Ca 40,1	Скандий Sc 44,1	Титан Ti 48,1	Ванадий V 51,2	Хром Cr 52,1	Марганец Mn 55,1	Железо Fe 55,9	Никель Ni 59
5		Медь Cu 63,6	Цинк Zn 65,4	Галлий Ga 70,0	Германий Ge 72,5	Мышьяк As 75	Селен Se 79,2	Бром Br 79,95		
6	Криптон Kr 81,8	Рубидий Rb 85,5	Стронций Sr 87,6	Иттрий Y 89,0	Цирконий Zr 90,6	Ниобий Nb 94,0	Молибден Mo 96,0	—	Рутений Ru 101,7	Родий Rh 103,0
7		Серебро Ag 107,93	Кадмий Cd 112,4	Индий In 115,0	Олово Sn 119,0	Сурьма Sb 120,2	Теллур Te 127	Иод I 127		
8	Ксенон Xe 128	Цезий Cs 132,9	Барий Ba 137,4	Лантан La 138,9	Церий Ce 140,2	—	—	—	—	—
9		—	—	—	—	—	—	—		
10	—	—	—	Иттербий Yb 173	—	Тантал Ta 183	Вольфрам W 184	—	Осий Os 191	Иридий Ir 193
11										Платина Pt 194,8
12	—	—	Радий Ra 225	—	Торий Th 232,5	—	Уран U 238,5			

Фигура 2. Периодична система на елементите по групи и редове – Д. Менделеев, 1869 – 1905 [1]

В наши дни концепцията за етера е отречена, а след представянето на Специалната теория на относителността от А. Айнщайн е изместена като напълно ненужна от квантовата теория за природата на електромагнитното поле. Въпреки това и днес не липсват опити, макар и не особено успешни засе-

га, да се съживи концепцията за етера на друго ниво, с нови средства и под друга форма, чрез свързване с физическия вакуум или със семейството на елементарните частици.

В наши дни, задълбоченото научно разбиране за материята в светлината на нови открития, както е представено в [4], ретроспективно насочва вниманието ни към търсенията на Менделеев и неговите съвременници, свързани с „митичния етер“. Връзката е разбирането за масата на телата, определяна като мярка за количеството вещество или като мярка за инертността на телата, т.е. за способността им да се съпротивляват при опита да се измени тяхното състояние. Тази представа за масата на телата напълно удовлетворява физиките през периода след Исак Нютон, почти до 20 в., когато все по-настойчиво се задава въпросът не за това „Какво представлява масата?“, а „Защо изобщо телата имат маса?“, както е отбелязано в [4]. Отговорите на тези въпроси са свързани с усилията на много съвременни учени, търсещи и получили доказателства за съществуването на бозона на Хигс през 2012 г. [5]. Той, от своя страна, е доказателство за съществуването на особено едноименно поле, което пронизва цялата Вселена, и при взаимодействието с всяка частица ѝ предава съответната маса (**сравнете тази съвременна представа за полето на Хигс с представата за етера на Менделеев и неговите съвременници**). Въпреки отдалечеността на времето на Менделеев от съвременното ниво на научното познание за природата на материята, прозренията му се докосват до въпросите, които вълнуват и съвременната физика, като „Откъде получават своята маса фундаменталните частици?“, който сега търси отговора си във взаимодействието им с полето на Хигс.

Грешната представа за „митичния етер“ довежда Менделеев, благодарение на търсенията му, до много важен резултат във физиката – извежда уравнението за идеален газ, определящо зависимостта между състоянието на газа и температурата, известното уравнение на Менделеев-Клапейрон.

В края на богатия си творчески живот Д. И. Менделеев с огорчение отбелязва, че причината за периодичността в свойствата на химичните елементи все още не се знае. За съжаление, той не доживява времето (умира през януари 1907 г.), когато тази научна тайна е разгадана.

Тайната на периодичността в системата на химичните елементи се превръща в основа на всеобщия природен закон, открит от Менделеев, едва когато научното познание достига до разбирането за сложната структура на атома, строежа на външните електронни слоеве, законите за движението им около противоположно заредените ядра, в които е съсредоточена почти цялата маса на атомите. Изяснява се причината, поради която химичните и физичните свойства на веществата се определят от строежа на атомите им. Доказва се, че поредният номер на всеки елемент в Периодичната система е числено равен на заряда на ядрото на атома му, което обяснява най-общо физическата

същност на Периодичния закон. Предположенията на Менделеев от 1905 г., че Периодичният закон го очакват не само нови приложения, но и усъвършенствания, подробна разработка и свежи допълнения, подчертават, че законът има *качествен характер* (в неговата обобщаваща схема влизат обективни форми на материята), но той няма *количествен характер*. В този смисъл законът не е съвършен, защото не съществува общ математически израз, въз основа на който може да бъдат изчислени химичните и физичните свойства на елементите. Тези качествени очаквания на Менделеев се оправдаха неоспоримо, а поставените от него научни основи не само надградиха знанията за материята от началото на 20 в., но и до днес стимулират прогреса в тази област на познанието.

След налагането на Периодичния закон в науката, възникват въпроси и спорове относно приоритета в откриването на закона. Оформя се остра, гореща дискусия в научния печат между някои предшественици на Менделеев и самия Менделеев. Благодарение на обективното отношение, оценката и подкрепата на редица изтъкнати учени за онова време – Браунер, Винклер, Рамзи и други, които считат дейността на Менделеев за много по-прогресивна, с много голяма научна обоснованост, активност и творческа плодовитост през този период в научните изследвания, в сравнение с тази на учените, работили в областта, следва да се признае руският учен Д. И. Менделеев за откривател на Периодичния закон и Периодичната система на химичните елементи.

Периодичният закон и законът за строежа на атома

Известно е колко дълъг и изпълнен с изключителни научни открития е пътят на опознаване на строежа на атома. В началото въображението на учените е завладяно от планетарния модел на атома, предложен от английския учен Ръдърфорд. Точна представа за частиците, съставлящи ядрото на атома, количеството и разположението на електроните в орбити около ядрото все още липсва. Активното изучаване на атомните спектри изяснява различната природа на електроните, разположени по групи в електронните обвивки на атомите, което е нова стъпка в обясняването на устройството на Периодичната система на елементите. За изясняването на връзката между структурата на атома и структурата на Периодичната система на елементите науката е задължена на датския физик Нилс Бор. Той пръв обяснява причината за периодичното изменение на свойствата на химичните елементи и защо друго разпределение на елементите по периоди не може да има. Бор прави жизнеспособен атомния модел на Ръдърфорд, преодолявайки ограниченията на класическите закони на физиката, демонстрира симбиоза на научните знания в няколко научни области, създава квантовия модел на атома (да не се бърка с квантово-механичния модел). Нилс Бор високо оценява значението на постиженията на Менделеев, направени без да познава вътрешното устройство на

атома. По думите на Бор Периодичният закон и системата на химическите елементи са послужили за „пътеводна звезда“ на изследователите в химията, физиката, минералогията и техниката.

Поставянето на началото на радиохимията през 1896 г. от френския учен Бекерел, 27 години след публикуване на „Опита за система на елементите“, представена от Менделеев, превръщат Периодичния закон и радиоактивността в двете забележителни открития, белязали научния характер на 19 в. Те се развиват паралелно, обогатяват се и се надграждат взаимно, оказвайки огромно влияние върху познанието за структурата и свойствата на материята.

Не малко проблеми възникват около загадката с редкоземните елементи, под което име фигурират елементът лантан – La и 14-те лантаноиди, довела до един от най-сложните и заплетени периоди от утвърждаването на Периодичния закон. Освен за самия Менделеев, така и за много други учени, разполагането им според правилото: елемент – място заплашва да разруши структурата на Периодичната система. Всички опити да се намери разумно решение на проблема с редкоземните елементи, остават безуспешни до детайлното изучаване на спектралните характеристики на тези своеобразни елементи-близнаци и намесата на квантовата теория за строежа на атома на Бор. Тя решава тази топологична загадка и намира мястото на редкоземните елементи в Периодичната таблица, доказва съществуването в природата на 15 елемента-близнаци, включително – лантана. Периодичният закон на Менделеев е всеобщ закон на природата, поради което в естествената система на елементите всеки елемент заема своето място. Универсалността на табличното представяне на Периодичния закон позволява да се знае, че клетката между бария и хафния условно заменя 15 клетки с елементи-близнаци, или да се изнесе извън основната структура този дълъг период отделно за удобство.

Проникването в тайните на строежа на атома се превръща в най-благодатното научно поле в началото на 20 в. Над тематиката се трудят учени, чиито имена са емблематични и до днес. Постиженията им не само не разрушават основната архитектура на Периодичната таблица, но се превръщат в доказателства към очакванията на Менделеев и откриват усъвършенствани възможности за надграждането ѝ (Фигура 3).

Изяществото и стройността на атомната теория на Бор впечатляват и дълго владеят умовете на учените, но едновременно с достоинства ѝ те виждат и съществените неточности в нея.

Нов научен проблясък в средата на 20-те години на 20 в. довежда до създаването на революционната теория за дуализма вълна-частица на французина Луи де Бройл, според която всяка материална частица притежава едновременно не само материални, но и вълнови свойства. Падат много от ограниче-

Periodic Table																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H Hydrogen 1.008																	2 He Helium 4.002602
3 Li Lithium 6.940	4 Be Beryllium 9.01218											5 B Boron 10.810	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.007	8 O Oxygen 15.999	9 F Fluorine 18.9984	10 Ne Neon 20.1797
11 Na Sodium 22.98977	12 Mg Magnesium 24.305											13 Al Aluminum 26.98154	14 Si Silicon 28.085	15 P Phosphorus 30.97376	16 S Sulfur 32.06	17 Cl Chlorine 35.45	18 Ar Argon 39.948
19 K Potassium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.95591	22 Ti Titanium 47.887	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chromium 51.9961	25 Mn Manganese 54.93804	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.93319	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.38	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.630	33 As Arsenic 74.92159	34 Se Selenium 78.971	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.798
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.90584	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.90637	42 Mo Molybdenum 95.95	43 Tc Technetium [97.90721]	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.90550	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.8682	48 Cd Cadmium 112.414	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.60	53 I Iodine 126.90447	54 Xe Xenon 131.293
55 Cs Cesium 132.90545	56 Ba Barium 137.327	71 Lu Lutetium 174.9668	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.94788	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.217	78 Pt Platinum 195.084	79 Au Gold 196.96657	80 Hg Mercury 200.592	81 Tl Thallium 204.380	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98040	84 Po Polonium [209]	85 At Astatine [210]	86 Rn Radon [222]
87 Fr Francium [223]	88 Ra Radium [226]	103 La Lanthanum [262]	104 Rf Rutherfordium [267]	105 Db Dubnium [268]	106 Sg Seaborgium [271]	107 Bh Bohrium [274]	108 Hs Hassium [289]	109 Mt Meitnerium [276]	110 Ds Darmstadtium [281]	111 Rg Roentgenium [281]	112 Cn Copernicium [285]	113 Nh Nihonium [286]	114 Fl Flerovium [289]	115 Mc Moscovium [293]	116 Lv Livermorium [293]	117 Ts Tennessine [294]	118 Og Oganesson [294]
57 La Lanthanum 138.90547	58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.90766	60 Nd Neodymium 144.242	61 Pm Promethium [144.91276]	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92535	66 Dy Dysprosium 162.500	67 Ho Holmium 164.93033	68 Er Erbium 167.259	69 Tm Thulium 168.93422	70 Yb Ytterbium 173.04				
89 Ac Actinium [227]	90 Th Thorium 232.0377	91 Pa Protactinium 231.03688	92 U Uranium 238.02891	93 Np Neptunium [237]	94 Pu Plutonium [244]	95 Am Americium [243]	96 Cm Curium [247]	97 Bk Berkelium [247]	98 Cf Californium [251]	99 Es Einsteinium [252]	100 Fm Fermium [257]	101 Md Mendelevium [288]	102 No Nobelium [259]				

Фигура 3. Съвременна таблица на химичните елементи

Стъпката, насочена към търсенето на природен елемент, по-тежък от урана, струва огромни научни усилия. В началото резултатът е отрицателен, защото елементи с места в Периодичната таблица след урана (елемент №92) в природата на планетата ни практически няма. Едва след първите изкуствени опити да се въздейства на ядрата на урана с поток от неутрони, се синтезират по-тежки елементи, заемащи места от №93 и нагоре. Процесът е съпроводен с вълнуващи обрати и съмнения, които довеждат до следващото голямо откритие в историята на физиката и човешкото познание – деленето на ядрата на урана и получаването на изотопи на радиоактивните елементи. Първият създаден от човека елемент, заемащ място „извън естествената система на елементите“ е наречен нептуний, елемент №93 – Np, с което се отстранява границата на елементите, поставена от самата природа на Земята.

Изкуственият синтез на химични елементи достига 100-ния елемент в Периодичната таблица и, преодолявайки нов предел на изобретателна сложност, постига синтеза на 101-ия елемент, след достоен за уважение труд на учените. Този елемент, първи от втората стотица елементи, получава името на откривателя на Периодичния закон на химическите елементи, руският учен – Дмитрий Иванович Менделеев. Елементът №101 – Md, Менделеевий, синтезиран в средата на 50-те години на 20 в., е поставен в системата на твореца си. Този достоен жест на научната общност отдава е на признателност към приноса Менделеев за световната наука и поставя ясен белег по невероятния път на неговото научно откритие.

Творческият живот на Менделеев, един от последните световни ученици-енциклопедисти, е ярка защита на усилията за честно прилагане на научния подход, който налага всеобхватно разглеждане на изследваните проблеми, отърсване от грешките и откриване на нови възможности пред истинската наука. В научните среди сравняват труда на Менделеев с научен подвиг, притежаващ огромна значимост. Периодичният закон е един от най-важните за цялото естествознание, дава възможност химичните елементи да се класифицират и утвърждава химията като точна наука.

Литература

- [1] И. В. Петросян, Д. Н. Трифонов, *Великий закон*, Москва, „Педагогика“, 1976, стр. 130.
- [2] Д. Н. Трифонов, *Несостоявшееся выступление Менделеева (6(18) марта) 1869*, „Химия“, № 04 (699), 16-28.02.2006.
- [3] Д. И. Менделеев, *Попытка химического понимания мирового эфира*, 1905, стр. 27.
- [4] В. Лилков, *Ядрена физика*, 2010, ISBN: 978-954-116-5, стр. 280, Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“.
- [5] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0370269312008581>

ON THE 150-YEAR SCIENTIFIC INSIGHT OF DMITRI IVANOVICH MENDELEEV AND THE PERIODIC TABLE OF CHEMICAL ELEMENTS

Vasilka Pencheva

A century and a half ago, Dmitri Mendeleev took a crucial step in the search for order among the chemical elements, by publishing the first draft of his Periodic table. In 2019 the world-wide scientific community is celebrating this anniversary. The table reflects regularities in nature which were due to causes that remained mysterious when it was originally constructed. Mendeleev could not have foreseen that atomic number rather than atomic weight would later become the table's ordering principle. But he enhanced the coherence of his table by revising the positions of some known elements, and by leaving gaps for as-yet undiscovered elements to complete the pattern he envisaged. Besides predicting their chemical character, he also assigned them notional values for physical properties.

The element 101, synthesized in the mid-1950s, was named „mendelevium“ in praise of Mendeleev's achievement and is placed in the Periodic table of its creator. With this dignified gesture, the scientific community expresses its appreciation for Mendeleev's contribution to world science and sets a clear mark on the incredible path of his scientific discovery.

ПОСЕТЕТЕ НАШИЯ САЙТ

wop.phys.uni-sofia.bg

**НА НЕГО МОЖЕТЕ ДА ОТКРИЕТЕ ВСИЧКИ БРОЕВЕ НА
„СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА“ ОТ 1991 Г. ДОСЕГА**

МЪДРИ ДЕФИНИЦИИ

В тази рубрика публикуваме отговори на въпроси от изпити по физика. Целта не е да се надсмеем над отговарящите, макар че отговорите често предизвикват смях. Повечето от тях не са лишени от смисъл, както би могло да ни се стори от пръв поглед. Там по-скоро прозира непознаване на езика на науката, неумение да се формулира ясна и чиста мисъл, както и слаби познания на българската граматика и правопис (оригиналният правопис е запазен). Отговорите могат да накарат и преподавателите да се замислят, но това е доста обширна тема.

Представяме някои от отговорите на поставения въпрос: Какво показва наблюдаваното явление дифракция на електрони?

Дифракция: двойственост на вълните на частиците.

Явлението показва свойството на електроните да се пренареждат и да си предават енергия, без да променят големината си, както и структурата на материала.

Дифракцията е характерна за частиците което показва че светлината също е изградена от частици тъй като дифракция се наблюдава и при светлината.

Наблюдаваното явление дифракция на електрони показва насочването на електроните през процеп.

Дифракция на електрони настъпва при наслагването на ел. заряди на електроните. Това показва вълновите свойства на електроните.

Дифракцията е явление, което се наблюдава, когато пропуснем светлина през процеп, и се образуват върху дифракционната решетка тъмни и светли ивици. По същия начин пропускаме и електрони.

Явлението дифракция на електрони показва отклонението от равнината на движението му.

Явлението дифракция на електрони показва разпадането на електроните.

Наблюдава се как се разделят електрони.

Явлението дифракция на електрони показва излъчването на светлината.

Дифракцията е явление, при което наблюдаваме движението на електрони праволинейно и как се отклоняват като преминат покрай малък отвор или ограда.

Дифракция на електрони наблюдава – разграждането на електроните на по-малки частици.

Дифракция на електрони – показва как през определени кристали или повърхности електроните могат да претърпят дифракция като се поляризират.

ЦЕЛТА НА ЗНАНИЕТО

Божидар Божанов

Четем. Гледаме. Учим. Получаваме знания. И каква е целта?

Целта на знанието е да позволи на въображението ни да прави неочаквани връзки между повече елементи. С други думи – храним късмета на въображението си. От това следват много неща – идеи, изобретения, изкуство. Всъщност – всичко. На Айнщайн не би му хрумнала Теорията за относителността, ако нямаше понятие от физика. Нямаше да сме чували за Шекспир, ако първо не беше научил правилата и техниките на поезията. Великите умове събират знания и след това, като че ли от нищото, се появяват идеи. Защо се случва така, не знам. Но се случва.

Ако количеството знания е толкова важно, защо тогава компютрите не могат да измислят нови идеи? *Google* и *Wikipedia* разполагат с цялото знание на света. Семантичният уеб¹ пък опитва да осмисли свързаната информация в интернет. Но дори с тези технологии компютрите не биха могли да формулират струнна теория, да изобретят електрическата крушка, да напишат „Сън в лятна нощ“ или да композират нещо като Деветата симфония на Бетовен.

Знанието е само една от предпоставките. Но никога човек не може да има цялото знание и има нужда някой друг да го насочи в правилната посока, да попълни липсващите парчета от пъзела както на знанията му, така и на „недоизлюпените“ му идеи. За това говори Стивън Джонсън в своята презентация². Той твърди, че шансът има предпочитания към свързания ум. Аз бих казал, че също така шансът има предпочитания към ума, пълен със знания. Но всичко това са просто предпоставки, а не цялата „рецепта“. След като предпоставките са налице, е нужно човек да влезе в определено състояние на ума за да даде тласък на процеса на генериране на идеи. Джон Клийз нарича това „отвореното състояние“ в своята презентация за креативността³. Процесът на генериране на идеи минава през придобиване на знания, свързване с идеите на други хора и след това влизане в „отворено състояние“ за да обедини всичко това в нова теория, изобретение или шедьовър.

Една малка илюстративна история от моя личен опит – програмист съм и имах доста базови познания по музика. Бях пробвал да използвам математически функции за „накарам“ компютъра да композира музика. Но това не даде резултат. Тогава, по време на едно 8-часово пътуване с влак в 40-градусо-

¹http://bg.wikipedia.org/wiki/Семантична_мрежа

²<http://www.youtube.com/watch?v=NugRZGDbPFU>

³<http://www.youtube.com/watch?v=f9rtmxJrKwc>

ва жега в Македония, нямайки какво друго да правя, измислих как да направя компютърен композитор. След това го направих⁴ и мисля, че резултатът е добър. И е следствие от това, че имам познания и в двете области, че мога да се свързвам с идеите на други хора по въпроса (чрез интернет), и че бях в „отворено състояние“ там, във влака.

Но да не се заблуждаваме – идеите ни рядко са велики. Не всеки химик е Менделеев и не всеки композитор е Моцарт. Понякога идеите са дребни или само от местно значение. Понякога те не са научни или артистични, а са свързани със социални процеси, икономика или дори лични взаимоотношения. Понякога си мислим, че те са важни, но в крайна сметка излизат безполезни. Но без значение от сферата и важността на идеята, тя съществува за да захранва други, бъдещи идеи. Да позволи други изобретения да бъдат построени благодарение на провалени такива. Да позволи на нови поетични форми да се развият благодарение на несполучлив опит за поема. И дори политическите ни идеи, например, да се провалят сега, то след 10 години могат да бъдат модифицирани и да работят за благоденствието на повече хора. И дори от моя компютърен композитор да не излезе нищо, някой друг ще прочете за него по-късно и ще направи по-добър работещ такъв.

Но за да стигнем толкова далеч, имаме нужда от знание. Не енциклопедично или компютъризирано знание, а такова, което ни помага да разберем концепциите зад различните аспекти на реалността. Затова нека четем. Книги, статии, всичко. Да слушаме. Учители, презентации, онлайн курсове. За сега само ние, хората, сме способни да минем през целия процес по генериране на идеи, машините не могат. Да тренираме ума си да възприема информация от света, за да позволи на въображението ни да свърже разпръснати парченца и така да генерира нови идеи. Това е целта на знанието.

THE POINT OF KNOWLEDGE

Bozhidar Bozhanov

The point of knowledge is to allow our imagination to make unexpected connections between more and more elements. In other words, we feed our serendipitous imagination. Then, many things may come out of it – ideas, inventions, art. Anything, in fact. Einstein wouldn't have come up with the theory of relativity if he didn't know so much about physics. Shakespeare wouldn't be that great if he didn't know the rules and techniques of poetry. Great minds amass knowledge and then, out of nowhere, ideas appear.

⁴<http://computoser.com/>

ПРЕССЪОБЩЕНИЕ: ЕВРОПЕЙСКИ ФЕСТИВАЛ „НАУКА НА СЦЕНАТА – 2019“



Ана Георгиева,
Председател на
Националния организационен комитет
„Наука на сцената“

РАЗВИВАЙКИ УМЕНИЯ ЗА БЪДЕЩЕТО

София, 30.09.2019: На Европейския фестивал „Наука на сцената – 2019“ 450 учители ще работят съвместно за да оформят бъдещето на обучението по природни науки. Сред тях ще бъдат и 9 учители от България.

Днешните деца и младежи безспорно ще срещнат огромни предизвикателства в бъдещето – независимо дали е дигитализацията, глобализацията, климатичните или други проблеми. Една от задачите на STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) е учителите да ги подготвят, за да могат да се справят с тях. Европейските учители ще бъдат мотивирани да осъществят това на 11-тия Европейски фестивал „Наука на сцената – 2019“ www.sons2019.eu, на който домакин е Португалия в сътрудничество с Европейската програма „Наука на сцената“.

Тридневният фестивал на образованието ще се проведе от 31 октомври до 3 ноември 2019 г. в Португалския град Кашкайш. Под мотото „Умения за бъдещето“ 450 учители от повече от 30 страни ще се съберат, за да представят и обменят своите иновативни образователни подходи под формата на работилници и кратки лекции. Отново ще има многообразие от преподавателски идеи от учители за учители – от математически трикове с карти до конструирането на екологични батерии и програмирането на симулатори на домашни любимци...

Най-добрите проекти ще бъдат отличени с Европейската награда за STEM – учители и след това ще бъдат разпространени по света като образователни материали или квалификационни курсове. По такъв начин учителите ще достигнат със своите иновативни идеи до хиляди ученици от цяла Европа. Така те ще ги мотивират дори извън националните граници да изберат кариери в науката, ИТ или технологиите.

Тази година фестивалът е под патронажа на г-н Тибор Наврачич, член на Европейската комисия, и е одобрен от Португалското Министерство на образованието.

В състава на делегацията на България във фестивала „Наука на сцената 2019“ са **9 учители**, определени на Националния фестивал в Севлиево миналата година. Най-добрите проекти, определени от журито на Националния фестивал, са класирани, както следва:

1. „Експерименти за всички – бюджетна установка за лабораторен експеримент“ на Наско Стаменов от НПМГ, София.
2. „Рециклирай, играй, опознавай или алтернатива на скъпите играчки“ на Светлана Христова от ДГ „Радост“, Севлиево.
3. „Течен свят“ и „Да си поиграем на електричество“ на Никола Карава-силев от ПЧМГ, София.
4. „Планетариум в класната стая“ на Иво Джокин от Общински център за извънучилищни дейности и занимания по интереси, с. Байкал, Плевен.
5. „Евтина наука – истинска физика“ на Антония Петрова, ППМГ „Гео Милев“, Стара Загора.
6. „Народна астрономия и метеорология“ на Радка Костадинова от СУ „Иван Вазов“, Вършец.
7. „Природна аптека“ на Румянка Галчавова от СУ „Васил Левски“, с. Главиница, Силистренско.
8. „Празник на пеперуди“ на Василка Кръстева от Пето ОУ „Христо Ботев“, Кюстендил.

Тези проекти бяха отличени от журито в конкуренция с други 49 проекта, представени от 90 учители и 100 ученици от 90 населени места на България.

За първи път тази година, по решение и със съдействието на Европейския организационен комитет (ЕОК), България ще представи на Фестивала в Кашкайш **съвместен проект** на Даниела Георгиева от 5-то ОУ „Христо Ботев“, Кюстендил, и Хозе Луис Олмо-Рискес от гимназия „АЗУЕР“, гр. Манзанарес, Испания, на тема „Подходящи и качествени храни и храна за космонавти“. Даниела е 9-тият член на нашата делегация.

Горди сме и с избора на ЕОК, **проектът на учителя по химия Наско Стаменов да бъде представен като работилница** на Международния фестивал.

В момента тези 9 наши учители се готвят за участието си в Европейския фестивал в Португалия, където взаимно ще се усъвършенстват и вдъхновяват за своето благородно дело с колегите си от Европа.

Това е повод да изразя благодарностите на „Наука на сцената – България“, на МОН и Съюзите на химиците и биолозите, както и на местните организатори от СУ „Васил Левски“, Севлиево, за съдействието при организацията на Националния фестивал, както и за финансовата помощ от наш колега – почетен член на СФБ, за участието на Националната ни делегация в Европейския фестивал.



DEVELOPING SKILLS FOR THE FUTURE

(Sofia), 30.09.2019: At the European Science on Stage Festival 2019, 450 teachers will be working together to shape the science education of the future. The best 9 teachers from Bulgaria will also be present.

**СПИСАНИЕ „СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА“, СЪЮЗЪТ НА ФИЗИЦИТЕ В
БЪЛГАРИЯ, КАТЕДРА „ФИЗИКА“ КЪМ МИННО-ГЕОЛОЖКИЯ
УНИВЕРСИТЕТ „СВЕТИ ИВАН РИЛСКИ“ И СТОЛИЧНА
БИБЛИОТЕКА**

ОРГАНИЗИРАТ ЛЕКТОРИЯ

СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА НА ЖИВО

с публични лекции на настоящи и бъдещи автори на
сп. „Светът на физиката“

<http://wop.phys.uni-sofia.bg>

ОРБИТАЛНА МЕХАНИКА ЗА ВСИЧКИ: ОРБИТА НА КОСМИЧЕСКИЯ ТЕЛЕСКОП „ТЕСС“

Христо Астарджиев,

Космически телескопи в астрономията

Предимства

Почти всичко, което знаем за небесните тела днес, дължим на наблюдения на електромагнитни вълни (ЕМВ) излъчени, отразени или преминали през телата. (Освен ЕМВ, наблюдаваме също потоци от високоенергийни частици – неутрино, космически лъчи – а от 2017 г. – и гравитационни вълни). Разпределението на излъчваната енергия по честота или дължина на вълната определят *спектър на излъчването*. Понеже космическите тела излъчват на всички дължини на вълните, за наблюдателната астрономия е важно да детектира сигнал в целия спектър. На планета с атмосфера това не е възможно, заради наблюдателните ограничения, наложени от наличието и характеристиките на атмосферата.

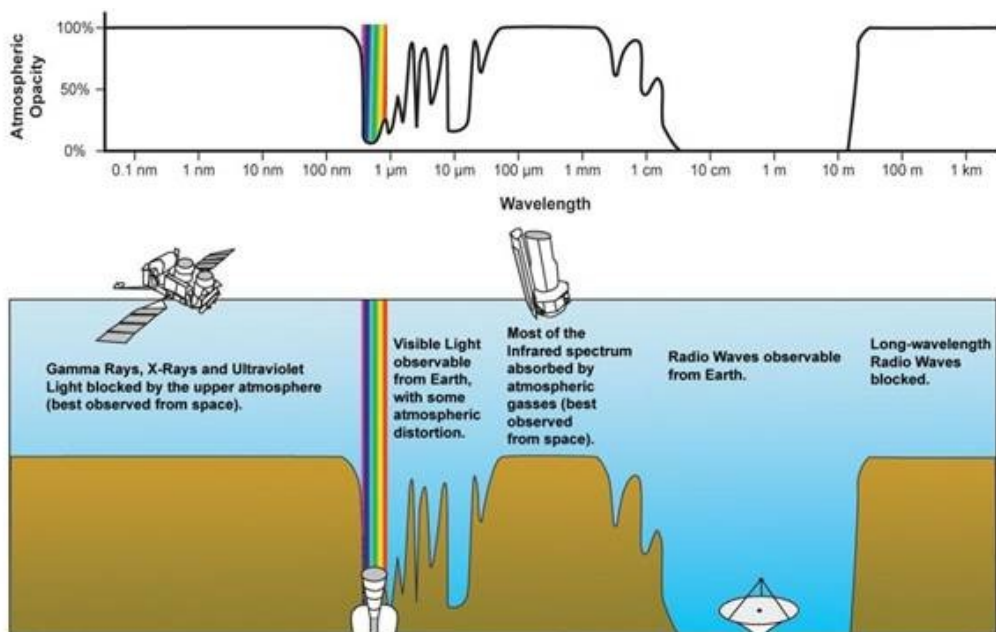
В частния случай на наличие на земна атмосфера, две ограничения правят космическите телескопи (КТ) по-подходящи за астрономически наблюдения от наземните: спектралните зони на непроницаемост и сцинтилацията.

Спектралните зони на непроницаемост за наблюдател върху земната повърхност покриват по-голяма част от спектъра в сравнение със спектралните зони на пропускливост, които са само три: *оптичната област* или т.нар. видим диапазон, в който наблюдаваме видима светлина, *част от инфрачервения диапазон*, в който детектираме инфрачервени лъчи и *част от радиодиапазона*, където работим с радиовълни. Зоните на пропускливост и възможностите за астрономически наблюдения от земната повърхност са показани на Фигура 1.

Сцинтилация наричаме промяната на видимата яркост на небесно тяло заради динамични промени в средата, през която наблюдаваме тялото. Забележимото с просто око засилване и отслабване на блясъка на звездите – блещукането – се дължи на това атмосферно явление. Тук това е термин в наблюдателната астрономия и не следва да се бърка със същия термин от материалознанието, където означава изсветляване в някои материали при попадането в тях на йонизирана частица, често използван в експерименталната ядрена физика.

Космическите телескопи могат да наблюдават целия спектър на излъчване – на всички дължини на вълните, без зоните на непроницаемост. Като до-

бавим липсата на сцинтилация и техногенно светлинно замърсяване в Космоса, получаваме разделителна способност, която превъзхожда тази на наземен телескоп със същата апертура. Мярката за разделителна способност на телескоп е *ъгловата резолюция* или най-малкият ъгъл, под който два близки обекта се виждат като две отделни изображения, без да се сливат в едно.



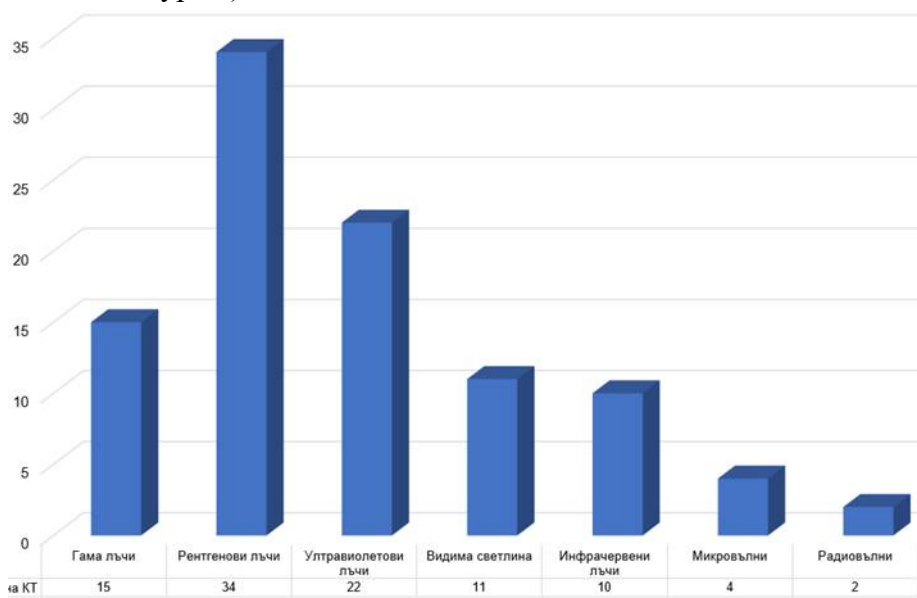
Фигура 1. Спектрални зони на пропускливост по дължини на вълните. На дължините, за които диаграмата посочва 100% непрпускливост, до земната повърхност не достига сигнал (Източник: Държавен университет Хумболт)

Статистическа справка

За периода от юли 1965 г. до януари 2019 г., на борда на 90 космически летателни апарата (КЛА), са изведени в орбита 108 телескопа. От тях за наблюдения на ЕМВ са предназначени 98. Разпределението им по спектрални диапазони, в които наблюдават, показва че 77% от инструментите работят при дължини на вълната, които попадат в спектрална зона на непрпускливост за наземен телескоп (Фигура 2).

Научните задачи на КТ и инсталираната на борда апаратура са много разнообразни, за разлика от използваните орбити. Изглежда че аналитичните инструменти на орбиталната механика и възможностите на съвременната изчислителна техника рядко намират приложение в проектирането на новаторски орбити, които съществено се различават от доказалите своята целесъобразност: 85% от общо 80 КТ в орбита около Земята са под или в границите на средната околоземна област, а едва 11% или 9 КТ се движат по силно

елиптични орбити във високата област. (За границите на различните области от околоземното пространство, вж. Таблица 2. За разпределението на КТ по области вж. Фигура 5).



Фигура 2. Разпределение на КТ по наблюдавани диапазони от спектъра. Диапазоните по оста x са подредени от малки към големи дължини на вълната.

Орбити

Предмет на небесната механика

Небесната механика е дял от астрономията, който изучава движението на небесните тела под въздействието на гравитационната сила. Понятието е въведено през 1799 г. от френския математик, астроном и физик Пиер-Симон Лаплас, който разработва диференциалните уравнения, за да изследва стабилността на Слънчевата система.

Новата дисциплина е приложение на механиката, дял от физиката, който изучава движението и взаимодействието на материалните тела в астрономията. Целта на учените от XVIII и XIX в., които развиват небесната механика, е да съпоставят наблюдаваното с течение на времето изменение на взаимното положение на различни обекти в Слънчевата система с математически модели, разработени въз основа на Нютоновия труд „Математически начала на натуралната философия“ от 1687 г.

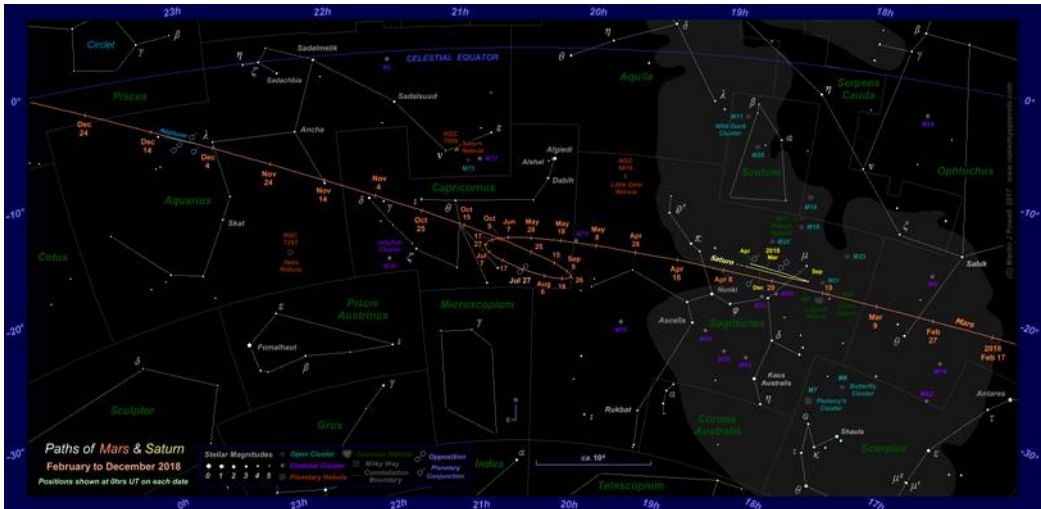
Етимологията на прилагателното „небесен“ предлага кратък курс по история на астрономията. През II век пр.н.е. Клавдий Птолемей предполага, че светилата в небето са закрепени за неподвижни прозрачни сфери с различни размери, а Земята се намира в центъра на най-малката и най-вътрешна сфе-

ра. В средата на XVI в. Николай Коперник предлага алтернатива – тялото в центъра е Слънцето, а не Земята, но запазва сферите. Те оцеляват почти до края на века, когато Тихо Брахе с наблюдения на орбитите на комети доказва, че моделът с небесните сфери не е верен. Днес словосъчетанието „небесна сфера“ се използва само за вида на небето и денонощното му изменение за наблюдател върху земната повърхност. Прилагателното „небесен“ остава в науката като синоним на „космически“.

В небесната механика намират практическо приложение всички раздели от общата механика: *кинематиката*, която изучава геометричното движение на телата; *динамиката*, която се занимава с движение на телата под въздействието на сили, и *статиката*, която изследва условията за равновесие на телата под действие на сили, и обяснява явлението орбитален резонанс, което ще разгледаме по-долу.

Централно тяло, сателит и орбита

През XVIII в. вниманието на учените е насочено основно към системата Земя – Луна. Изкуствени спътници през следващите 200 години няма да има, а наблюдаваните особености на движението на естествения спътник – либрация, промяна на наклона на оста, и други – правят Луната много интересна. В подобна система от две тела с различна маса е прието да наричаме тялото с по-голяма маса *централно*, а тялото с по-малка маса – *сателит*.



Фигура 3. Видимият път на планетите Марс (в оранжево) и на Сатурн (в жълто). Наблюденията на Марс са направени на интервал от 10 дни. По координатните оси са нанесени астрономически координати: по оста x – ректасцензия в часове, а по оста y – деклинация в градуси (Източник: NakedEyePlanets.com)

В кинематиката линията, която движещо се тяло описва спрямо определена отправна система, се нарича *траектория*. Линиите, които движещите

се небесни тела в Слънчевата система описват спрямо наблюдател на Земята и неподвижно свързана с нея отправна система, лъкатушат, изкачват се, слизат, преплитат се една с друга, събират се за кратко, а после се разделят, за да се съберат отново на друго място и в друг момент. Оттук и описателно подбраната за тази линия латинска дума *orbита*, *orbitae* – следа, диря от колело на кола; коловоз, път. Илюстрация на това как изглежда орбитата на външна планета от позицията на наземен наблюдател, може да се види на Фигура 3, където е даден видимият път на планетите Марс и Сатурн.

И така, *орбита* е „траекторията, по която се движат около централно тяло масовите центрове на планети, сателити на планети, космически летателни апарати и други космически тела“ (Г. Мардиросян, 2012).

Всяка орбита може да бъде описана със средствата на математиката чрез законите на Кеплер за движението на планетите от 1609 г. Първоначално изведени от наблюдателни данни за орбитата на планетата Марс около Слънцето, те са в сила за всяка система от централно тяло и сателит, в която има значителна разлика между масите на двете тела.

Съгласно съвременната формулировка, законите на Кеплер гласят, че

1. Планетите се движат около Слънцето по елипси, в един от фокусите на които се намира самото Слънце.

2. Планетите се движат по орбитите си неравномерно. За равни интервали от време радиус-векторът на планетата описва равни по големина площи от орбитата.

3. Ако едно тяло се движи около друго тяло по елипса с голяма полуос a , то неговият период ще бъде един и същ, независимо от това каква е малката полуос на елипсата.

Орбитни елементи

Класическите, понякога наричани Кеплерови, орбитни елементи са перигей, апогей, голяма полуос, наклон, ексцентрицитет и период.

Първите три отговарят на характерни разстояния и се измерват с единици за дължина. *Перигей* (P) и *апогей* (A) са точки от елипсата, за които разстоянието между двете тела е най-малко или съответно най-голямо. Заедно с *голямата полуос* (a), те определят размера и формата на орбитата, както и дължината на траекторията за една обиколка.

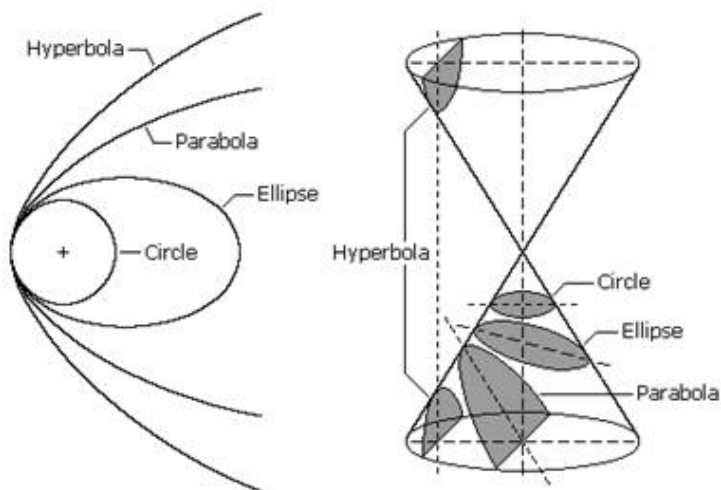
Наклон (i) наричаме ъгълът α , който равнината на орбитата на сателита сключва с равнината на Земния екватор. Измерваме го в градуси.

Ексцентрицитет (e) е съотношението между половината междуфокусно разстояние (c) и голямата полуос (a) или $e = \frac{c}{a}$. Като всяко съотношение, няма размерност. Определя в каква степен елипсата се отличава от окръжност.

Период (T) е времето, за което сателитът прави една пълна обиколка около централното тяло. Измерваме го в единици за време. За сравнение, в кине-

матиката движения, които се повтарят на равни интервали, се наричат *периодични*, а в общия случай *период* е „най-малкият интервал от време, след който се повтарят стойностите на всички физични величини, характеризиращи движението“ (М. Максимов, 2000).

Възможните орбити за един сателит са решения на уравнението на движение на сателита. Геометричният вид на решенията са коничните сечения, показани на Фигура 4.



Фигура 4. Геометричен произход на коничните сечения

Механични системи и пертурбации

Централното тяло и сателитът представляват една механична система от две тела, за която всички останали тела във Вселената са външни. Силите на взаимодействие между телата от системата определяме като вътрешни, а силите, с които външните тела действат на телата от системата – като външни. В общия случай на приложение на законите на Кеплер за описание на орбитата на сателит, разглеждаме централното тяло и сателита като *затворена механична система*, т.е. изключваме съществуването на външни тела и приемаме, че на системата не действат външни сили. Има вътрешни сили, които въздействат на сателита като предизвикват промени в орбитните елементи и съответно отклонение от номиналната Кеплерова орбита. Понеже нито една механична система не е напълно затворена, има и външни сили – гравитационни и други – които въздействат на сателита със същия ефект.

Въпросните отклонения наричаме *пертурбации*. С времето, т.е. с нарастването на поредния номер на обиколката, пертурбациите все по-силно влияят на орбитните елементи. Това влияние е дългосрочно, а засегнатите орбитни елементи обикновено се променят линейно. Орбита, при която въпреки пертурбациите, орбитните елементи остават близки до номиналните за продъл-

жително време, наричаме *устойчива*. Периодичните маневри, които КЛА трябва да извърши, за да компенсира ефекта на пертурбациите и приближи стойностите на орбитните елементи до номиналните, наричаме *стационариране*.

За сателит в околоземна орбита основните източници на пертурбации са:

- Трети тела.

Най-силно е въздействието на гравитационните сили на Луната и Слънцето.

- Несферичната форма на Земята.

Земята не е кълбо, а неправилно кълбовидно тяло или геоид с изразена сплеснатост при полюсите и раздутост на екватора.

- Триене в атмосферата.

Оценките за горна граница на атмосферата варират от 400 до 10 000 km. Под тази височина са ниската и част от средната околоземна област (виж Таблица 2 по-долу).

- Слънчевото налягане.

Частиците от слънчевия вятър и фотоните имат импулс, който предават при среща с повърхност: например корпуса и фотоволтаичните панели на сателит или платното на слънчев платноход.

Типове орбити

Основните типове орбити са конични сечения (Фигура 2). Ключовите за всеки тип орбитни елементи са обобщени в Таблица 1.

Таблица 1. Основни типове орбити

Конично сечение	Голяма полуос, a	Ексцентрицитет, e	Вид
Окръжност	$a = r$	$e = 0$	Затворена
Елипса	$a > 0$	$0 < e < 1$	Затворена
Парабола	$a = \infty$	$e = 1$	Отворена
Хипербола	$a < 0$	$e > 1$	Отворена

Класификация на възможните орбити в системата от две тела Земя-сателит или по-точно: общият център на масите в системата Земя+Луна-сателит, може да бъде предмет на обемен справочник, защото критериите за класификация са много. За целите на настоящето изложение игнорираме всички критерии, свързани с видимост и наблюдения на централното тяло от сателита.

Тази голяма група КТ е важна за сателити със стопанско предназначение (навигация, телекомуникации, метеорология), чиито задачи налагат визуален контакт със земната повърхност, но няма отношение към КТ за изучаване на

други звездни системи. В общия случай, проектираните за тях орбити са геостационарни.

Ще разгледаме няколко типа орбити, които се дефинират от формата на траекторията и определени съотношения между орбитални периоди.

Околоземна орбита и области

КЛА, който не напуска обема от космическото пространство, в границите на който гравитационната сила на планетата Земя има решаващо значение за движението на сателита, се движи по *околоземна орбита*.

Мярка за привличането, породено от гравитационната сила, е ускорението на свободно падащо тяло, g . Освен това, всеки сателит, който извършва периодично движение около Земята, има собствено центробежно ускорение $a_{\text{центробежно}}$.

Двете ускорения са векторни величини, а отношението между техните модули определя следните видове движения:

- $g > a_{\text{центробежно}}$,

Сателитът пада към Земята.

- $g = a_{\text{центробежно}}$,

Сателитът е в орбита около Земята. За да се изравнят двете стойности, на земната повърхност, сателитът трябва да има минимална начална скорост $v_0 \approx 7,91 \text{ km/s}$ или *първа космическа скорост*.

- $g < a_{\text{центробежно}}$,

Сателитът се отдалечава от Земята. За да преодолее гравитационната сила на планетата и да стане самостоятелно тяло от Слънчевата система, на земната повърхност сателитът трябва да има минимална начална скорост $v_0 \approx 11,2 \text{ km/s}$ или *втора космическа скорост*.

Височина на орбитата наричаме максималното разстояние между сателита и средното ниво на земната повърхност. Оттук, прилагателните ниска, висока и средна – когато се отнасят за орбита – описват области в околоземното пространство с апогей A , в определени интервали (Таблица 2).

Таблица 2. Области в околоземното пространство

Област	Височина при Апогей A , km	Ср. скорост km/s	Период, T
Ниска околоземна	$160 < A < 2000$	7,8	$T \approx 1 \text{ h } 30 \text{ min}$
Средна околоземна	$2000 < A < 35\,786$	7,3	
Геостационарна	$A = 35\,786$	3,07	$T = 23 \text{ h } 56 \text{ min } 4 \text{ s}$
Висока околоземна	$A > 35\,786$		

Силноелиптична орбита

Когато ексцентрицитетът e има стойности в интервала $0 < e < 1$, орбитата е елипса. Когато $0 < e < 0,5$, елипсата слабо се отличава от окръжност. Такива са орбитите на Земята ($e = 0,0167$), Луната ($e = 0,0549$) и останалите планети. При $0,5 < e < 1$, всяка прилика с окръжност изчезва и траекторията забележимо се издължава: имаме *силноелиптична орбита*. Такива стойности са типични за комети – Халеева ($e = 0,967$), Хейл-Боп ($e = 0,995$) – и, доколкото ни е известно, за някои от обектите от пояса на Кайпер.

За КЛА силноелиптичната околоземна орбита е интересен частен случай. Тя има апогей над 36 000 km, което я класифицира като висока орбита, защото попада във високата околоземна област. В същото време, перигеят ѝ може да бъде близо до централното тяло, под границата от 2000 km, което пък я класифицира като ниска орбита в ниската околоземна област.



Фигура 5. Разпределение на КТ по области в околоземното пространство. За граница на суборбиталния полет е приет височина при апогей $A < 300$ km. Категорията „други“ присъства за пълнота и включва КТ, които не са в околоземна орбита. При тях има три случая: КТ в орбита около Слънцето; КТ в орбита около точка на Лагранж на системата Земя-Луна, както и неподвижни КТ на повърхността на Луната

Кратност. Резонанс.

Определени съотношения на орбиталните периоди – на сателита и централното тяло, както и между сателити – предоставят интересни възможности за проектантите на орбити. Когато съотношението между периодите на сателита и централното тяло е 1:1, тоест за една обиколка на сателита по неговата орбита тялото прави едно пълно завъртане около оста си, имаме сателит в *синхронна* орбита. Когато централното тяло е Земята, това означава, че ъгловата скорост на движение на сателита и ъгловата скорост на въртене на планетата са равни, както и че този сателит ще се намира винаги над една и съща точка от земната повърхност. Когато равнината на орбитата на сателита съвпада с равнината на Земния екватор ($i = 0^\circ$) и орбитата е окръжност ($e = 0$), синхронната орбита става *геостационарна*. За нейния апогей и ъглова скорост виж Таблица 2.

Горният ефект е безполезен за КТ, за разлика от случая, в който съотношението на орбиталните периоди на два сателита в орбита около едно и също централно тяло е малко цяло число. Когато сателит *A* прави например две обиколки за времето, за което сателит *B* прави три обиколки, наблюдаваме гравитационното явление *орбитален резонанс*. Тогава казваме, че орбитата на сателит *A* е кратна на орбитата на сателит *B* или че двата сателита са в резонанс в съотношение 2:3. Наличието на резонанс дава дългосрочна устойчивост на орбитата на по-малкия от двата сателита, т.е. отпада необходимостта от корекции за стационариране.

Гравитационното явление орбитален резонанс присъства в Слънчевата система. На него се дължи дългосрочната устойчивост на орбитите на някои космически тела от естествен произход. Ще разгледаме два примера, съответно с две и с три тела.

Плутон и Нептун 2:3. Орбиталните периоди на планетата-джудже Плутон и на ледения гигант Нептун са в резонанс със съотношение 2:3, т.е. Плутон прави 2 обиколки около Слънцето за времето, за което Нептун прави 3. Разликата в масите е голяма: Плутон е малък обект от пояса на Кайпер с маса $M_{\text{Плутон}} \approx 0,002 M_{\oplus}$, където $M_{\oplus}$ е масата на Земята, а осмата планета е много по-масивна с $M_{\text{Нептун}} \approx 17 M_{\oplus}$. Стабилизиращият ефект се дължи на факта, че винаги, когато Плутон е в перихелий (тогава джуджето пресича орбитата на Нептун), леденият гигант се намира далече, на разстояние най-малко $\frac{1}{4}$ обиколка по траекторията си.

Ганимед, Европа и Йо 1:2:4. Орбитите на три от четирите Галилееви луни на Юпитер са в резонанс и представляват единствения известен пример с участие на три тела в Слънчевата система. Съотношението на орбиталните периоди означава, че най-близката до газовия гигант луна – Йо прави 4 обиколки, за времето, за което втората луна – Европа прави 2 обиколки, а третата луна – Ганимед прави 1 обиколка.

За сравнение орбитните елементи на два КТ в околоземна орбита са дадени в Таблица 3.

Описание на орбитата на КТ „ТЕСС“

Проектирането на орбита за КЛА е задача от областта на астродинамиката. Проектантите получават техническо задание за всяка мисия. Те избират и изчисляват орбити, които удовлетворяват определени изисквания, заложиени в заданието.

Таблица 3. Сравнение на орбитните елементи на КТ „ТЕСС“ и „Хъбъл“

Орбитни елементи	КТ „ТЕСС“	КТ „Хъбъл“
Тип	Силноелиптична	Ниска
Ексцентрицитет	0,55	0,0003
Голяма полуос	240 000 km	6917 km
Височина при Апогей	375 000 km	541 km
Височина при Перигей	108 000 km	537 km
Наклон	37°	28°
Период	13,7 денонощия	95,42 минути

От техническото задание на КТ „ТЕСС“ (*TESS – Transiting Exoplanet Survey Satellite*) можем да извлечем следните изисквания към орбитата на КЛА:

- Разположение в пространството, където има добри условия за наблюдение. За КТ това означава голямо ъглово разстояние между КЛА и:

- източници на светлинно замърсяване, каквото в близкия Космос създава слънчевата светлина, отразена от Луната и Земята, както и

- радиационните пояси на Ван Ален, където уловените и ускорени от земното магнитно поле високоенергийни частици са опасни за работата на бордовите системи.

- Продължително време за наблюдение през всеки орбитален период. Мисията цели заснемане на цялата небесна сфера. Северната и южната небесни полусфери са разделени на 26 сектора. Минималният интервал от време, необходим за наблюдение на един сектор е 27 дни. Оптималният среден интервал за наблюдение на един сектор е с продължителност 135 дни (*The TESS Science Writer's Guide*, 2017).

- Възможност за маневриране, т.е. за внасяне на промени в орбитните елементи.

- Малък запас от пропелент, който е основната променлива при изготвянето на т.нар. *бюджет за промени на вектора на скоростта*. Бюджетът, т.е.

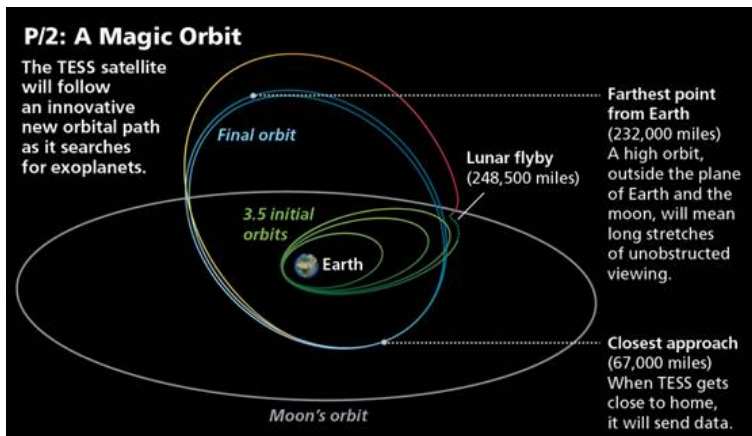
възможността за орбитални маневри по време на една мисия, пряко зависи от количеството пропелент на борда на КЛА. Малкият запас ограничава възможностите за маневриране и стационариране.

- Възможност за предаване на данни – направените снимки и измервания, телеметрия от КЛА и пр. – по Комуникационната мрежа за далечния Космос, изградена от НАСА.

Горният списък съдържа само астродинамичната част от техническото задание за съвременен астрономичен сателит – научните цели на КТ „ТЕСС“ и необходимия за постигането им инженеринг не разглеждаме, но добре илюстрира колко сложен в техническо и организационно отношение проект е построяването на космически телескоп.

Фази

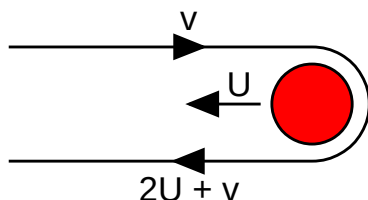
Началната фаза от орбитата или началната орбита започва с изстрелването на КТ „ТЕСС“, което бележи първия пуск на космически телескоп с ракета-носител на „Спейс Екс“. На езика на орбиталната механика изстрелването представлява работен импулс от първата степен на ракетата-носител с продължителност 149 s, който ускорява КЛА до първа космическа скорост. Два допълнителни работни импулса от втората степен на ракетата-носител с обща продължителност 414 s установяват КЛА на траектория с орбитни елементи $A = 270\,000\text{ km}$, $P = 200\text{ km}$ и $i = 28.5^\circ$ (*Spaceflight 101*, 2018), подходящи за следващите маневри. Работните импулси дотук са „платени“ с пропелент от ракетата-носител, не са част от мисията на КТ „ТЕСС“ и съответно не са нанесени в схемата на Фигура 6, където следващите фази от орбитата са показани с цветен код.



Фигура 6. Схема на орбитата на КТ „ТЕСС“ (Източник: *Discover Magazine*)

Преходната фаза от начална към крайна орбита е разделена на два етапа. Всеки етап е орбитална маневра, която изисква два или повече работни импулса и има цена в разход на пропелент от КЛА. През първия етап КЛА из-

вършва преход от ниска до висока орбита в равнината на системата Земя – Луна. Теорията на орбиталните маневри за преход между орбити с различна височина е разработена през 1925 г. от германския инженер и пионер на астродинамиката Валтер Хоман (1880 – 1945). В негова чест тази орбита се нарича още *преходна орбита на Хоман* или просто *Хоманова орбита*. Преходната орбита започва с работен импулс в апогея на по-ниската и завършва с работен импулс в перигея на по-високата орбита. През втория етап, освен преход от ниска до висока орбита с $A \approx 400\,000\text{ km}$, КЛА извършва и промяна на наклона до $i \approx 40^\circ$, т.е. след края на маневрата орбитата на КЛА лежи в равнина, различна от равнината на системата Земя – Луна. Преход между орбити, разположени в различни равнини, има висока цена в пропелент. Тази цена проектантите на орбитата на КТ „ТЕСС“ намаляват по метода на гравитационното ускорение в точката от траекторията на КЛА, отбелязана на схемата на Фигура 7 като „Прелитане около Луната“, (*Lunar flyby*).



Фигура 7. Гравитационно ускорение. Без разход на пропелент скоростта на сателита (v) може да се увеличи с до два пъти скоростта на централното тяло (U).

$$M_{\text{централно тяло}} \gg M_{\text{сателит}}$$

Гравитационното ускорение е еквивалентно на абсолютно еластичен удар между сателита и гравитационното поле на централното тяло. Общата кинетична енергия на системата се запазва: центробежната скорост на сателита се увеличава, а въртеливото движение на централното тяло се забавя. (Източник: Космическа програма „Кърбъл“)

КЛА излиза на крайна орбита с един последен продължителен работен импулс след прелитането около Луната. Основните орбитни елементи на крайната орбита са $e = 0,55$, $A = 375\,000\text{ km}$, $P = 108\,000\text{ km}$, $i = 37^\circ$ и $T = 13,65$ денонощия. Допълнителни технически данни за КЛА и за крайната орбита са поместени в Приложението.

Оценка на крайната орбита

Силно елиптичната орбита позиционира КЛА в район от пространството без светлинно замърсяване на голямо разстояние от Земята през значителна част от всеки период. В часове това означава, че от $\approx 327\text{ h}$ орбитален период, неизползваемият за астрономически наблюдения интервал е винаги под 16 h . Това е времето, когато КЛА се движи по най-близката до Земята дъга от траекторията си, в непосредствена близост до перигея. Това е и прозорецът

за радиовръзка с Наземната комуникационна мрежа за далечния Космос и предаване на събраните научни данни.

Високите стойности за апогей и перигей дефинират траектория, която лежи далече от радиационните пояси на Ван Ален, пръстени на $\approx 58\,000$ km от Земята. Високоенергийните частици от поясите не достигат до КЛА и не представляват пречка за наблюденията.

Големият наклон означава, че Земята и Луната не навлизат често в полето за наблюдение и не затъмняват задълго нито един сектор от небесната сфера. По думите на Джордж Рикър, главен учен на мисията КТ „ТЕСС“, избраната комбинация от форма и наклон дава „една вълшебна орбита, с над 300-часови интервали за наблюдение и то без прекъсване, защото Земята и Луната остават извън зрителното поле на телескопа“ (Стив Надис, 2018).

Периодът на КТ е равен точно, т.е. до петия знак след десетичната запетая, на половината от орбиталния период на Луната. Когато телескопът е в апогей, Луната е винаги на 90° пред или зад него спрямо посоката на движението му. Постигнат е орбитален резонанс, при който за всеки две поредни обиколки на КЛА пертурбациите, причинени от гравитационната сила на Луната, взаимно се неутрализират.

„Вълшебната орбита“ все пак се нуждае от поддръжка, за да остане устойчива през двете години на мисията. Бюджетът от $\Delta \dot{V}$ се използва икономично, защото стационарирането се ограничава до компенсиране на пертурбациите от слънчевото налягане. То се извършва с кратки работни импулси в перигея на всяка обиколка, до изразходване на запаса от пропелент.

Бъдещи приложения

Два нови КТ, предназначени за наблюдения в рентгеновия диапазон, планират използването на кратни силно елиптични орбити, вдъхновени от примера на „ТЕСС“.

Единият, който има осигурено финансиране и е сравнително близо до реализация, е КТ „Аркус“ (*Arcus*) с планирано изстрелване през септември 2023 г. КЛА е проектиран и ще бъде построен от „Нортроп Груман“, корпорацията, построила КТ „ТЕСС“. Цел на мисията е изучаването на възникването и еволюцията на звездни купове и галактики. Ако се осъществи, това ще бъде едва втората космическа обсерватория с основна задача в областта на извънгалактичната астрономия.

Другият, КТ „Линкс“ (*Lynx X-ray Observatory*) е на етап идеен проект – сред възможните цели са изучаване на тъмното вещество и звездната еволюция – и ще кандидатства през 2019 г. за място в програмата „Скъпи научни мисии от стратегическо значение“ на НАСА. Ако бъде приет, проектът ще продължи работата на рентгеновия КТ „Чандра“. КТ „Линкс“ може да се нареди до КТ „Хъбъл“ и КТ „Джеймс Уеб“, всички финансирани по същата програма.

Двата нови КТ ще използват аналогичен на използвания от КТ „ТЕСС“ преход до крайна орбита – гравитационно ускорение от Луната – и кратна силно елиптична орбита в резонанс с Лунната. За разлика от проектирания за КТ „ТЕСС“, периодът на техните орбити ще бъде в съотношение 4:1 спрямо тази на Луната, т.е. КТ ще прави четири обиколки около Земята за всяка една лунна обиколка.

Заклучение

Космическият телескоп е полезен инструмент в наблюдателната астрономия, защото може да приема сигнал във всички спектрални диапазони без ограничения и без да зависи от атмосферни явления.

Орбитите на всички сателити, включително астрономическите, се определят със средствата на орбиталната механика. Проектирането на орбити е актуално приложение на динамиката в космическите изследвания.

Кратната силно елиптична орбита на КТ „ТЕСС“ дава дългосрочна стабилност при минимален разход на пропелент в среда с ниска радиация, оптимална за изучаване на други звездни системи. За екипите, които разработват нови КТ, това са сериозни предимства, защото осигуряват дълъг експлоатационен период на телескопа и опростено оперативно управление на КЛА при занижени бюджетни изисквания.

Приложение

Данни за КТ „ТЕСС“ (Източник: НАСА)

Мисия	
Предназначение	Космически телескоп
Цел	Изучаване на екзопланети по пасажния метод
Клас	<i>Medium-Class Explorers (MIDEX)</i>
Оператор	НАСА, МТИ
Продължителност	По план: 2 години Изминали към 1 февруари 2019 г.: 9 месеца и 19 дни
Дата на изстрелване	18 април 2018, 22:51:31 UTC
Ракета носител	<i>Falcon 9 Block 4 (B1045.1)</i>
Космодрум	Кейп Канаверал
Лого	
КЛА	
Маса	362 kg

Размери	$3,7 \times 1,2 \times 1,5$ m
Мощност	530 W
Орбита	
Тип	Силноелиптична околоземна
Ексцентрицитет	0,55
Голяма полуос	240 000 km
Височина при Апогей	375 000 km
Височина при Перигей	108 000 km
Наклон	37°
Период	13,65 денонощия

Литература

- Гаро Мардиросян, *Въведение в космонавтиката*. АИ „Проф. Марин Дринов“, 2012 г.
- Максим Максимов, *Основи на физиката*. „Булвест 2000“, 2000 г.
- Daryl G. Boden, *Introduction to Astrodynamics*. Space Technology Library, 1999.
- DK (Dorling Kindersley). *The Science Book: Big Ideas Simply Explained*, 2014.
- Richard Fitzpatrick, *An Introduction to Celestial Mechanics*. Cambridge University Press, 2012.
- Elizabeth Howell, *NASA's New Planet-Hunter TESS Beams 'First Light' Image to Earth*. <https://www.space.com/41880-nasa-tess-exoplanet-mission-first-science-image.html>
- Humboldt State University. *Interaction of EMR with Earth's Atmosphere and Surfaces*, http://gsp.humboldt.edu/OLM/Courses/GSP_216_Online/lesson2-1/atmosphere.html
- Kerbal Space Program. *Gravity Assist Tutorial*, https://wiki.kerbalspaceprogram.com/wiki/Tutorial:_Gravity_Assist
- List of Space Telescopes. Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_space_telescopes
- Steve Nadis, *NASA's Latest Planet Hunter: It's ready to forge a new path through space*. Discover Magazine, Apr 2018, <http://discovermagazine.com/2018/apr/orbital-trailblazer>
- NASA, High Energy Astrophysics Science Archive Research Center. *TESS Operations: Launch and orbit*, <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/tess/operations.html#launch-and-orbit>
- NASA. *The TESS Science Writer's Guide*. NASA, 2017, <https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/tesssciencewritersguidedraft23.pdf>

- Martin J. Powell, *Mars Observational Data: Feb to Dec 2018*,
<http://www.nakedeyeplanets.com/mars.htm>
- R. K. Smith, M. Abraham et al., *Arcus: exploring the formation and evolution of clusters, galaxies, and stars*. Proceedings of the Society of Photographic Instrumentation Engineers (SPIE), 29 Aug 2017,
<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/10397/103970Q/Arcus--exploring-the-formation-and-evolution-of-clusters-galaxies/10.1117/12.2272818.full>
- Spaceflight 101. *Launch Profile - Falcon 9 - TESS*, <http://spaceflight101.com/tess/flight-profile/>
- Wertz, James R., and Larson, Wiley J. (editors). *Space Mission Analysis and Design*. Space Technology Library, 1999.

ORBITAL MECHANICS FOR EVERYONE: ORBIT OF THE TESS SPACE TELESCOPE

Hristo Astarjdiev

A study of the orbit design and characteristics of an innovative orbit pioneered by the Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) Space Telescope in 2018. To place the study in context, the paper outlines the benefits of space telescopes, provides an accessible introduction to celestial and orbital mechanics, then examines the ways in which the TESS orbit satisfies the mission requirements.

**ПОСЕТЕТЕ УЕБ-СТРАНИЦАТА НА
СЪЮЗА НА ФИЗИЦИТЕ В БЪЛГАРИЯ
НА АДРЕС:**

<http://www.phys.uni-sofia.bg/upb>

ГОДИШНА НАГРАДА „ПРОФ. Д-Р ЕЛИСАВЕТА КАРАМИХАЙЛОВА“¹

Наградата е учредена от Гамаконсулт ЕООД през 2017 г. в рамките на конкурса „Уреди за кабинета по физика“, провеждан от Софийския клон на Съюза на физиците в България, обичайно през месец юни, в сградата на Физическия факултет на СУ „Св. Климент Охридски“.

Стойност на наградата: 700 лв.

Наградата е за изработка на уред, методика, опит, нагледно помагало и др. (без компютърни симулации), демонстриращи явление от областта на атомната и ядрената физика и/или тяхно приложение.

Наградата е ежегодна и се присъжда от жури, определено от Софийския клон на Съюза на физиците в България. Присъжда се най-много на двама индивидуални участника или на два колектива, като едната половина може да бъде разделена още на две.

Условията за участие са описани на сайта на Софийския клон на Съюза на физиците в България:

<https://sites.google.com/a/bgphysics.eu/bgphysics/deynosti/konkurs-uredi-za-kabineta-po-fizika>

¹Професор Е. Карамихайлова е първият български атомен физик – нейна е първата публикация по ядрена физика на български език „Върху твърдите гама-лъчи на актиниевата серия“, 1939 г.

Завършила е Виенския университет, където е защитила титлата „доктор по философия“. Работи в Радиевия институт – Виена, колежа Гиртън на Кеймбриджкия университет и Кавендишката лаборатория, където защитава научната титла *Magister Atribus*.

От 1939 г. проф. Карамихайлова е редовен доцент в Катедрата по опитна физика на Софийския университет. Чете лекции по атомна физика, спектрален анализ, луминесценция, ядрена физика и радиоактивност. През 1945 г. оглавява новосъздадената катедра „Ядрена физика“.

От 1955 г. до смъртта си (1968 г.) тя ръководи секция „Радиоактивност и ядрена спектроскопия“ във Физическия институт на БАН.

Основните научни интереси на проф. Карамихайлова при работата ѝ в България са в областта на природната радиоактивност, техногенните радиоактивни замърсявания и радиационната защита.

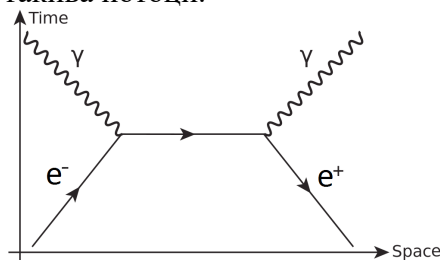
КАКВО ЗНАЕМ ЗА ТЪМНАТА МАТЕРИЯ И ТЪМНАТА ЕНЕРГИЯ¹

Марина Обретенова, X клас

Какво е тъмна материя?

Понастоящем все още не може да се каже точно какво е тъмната материя. За астрономите е по-лесно първо да се уточни какво не е.

- Тъмната материя не може да бъде директно наблюдавана, защото за разлика от обикновената², видима материя, тя изобщо не излъчва светлина
- Тъмната материя не са облаци от нормалната материя: ако беше така, тъмната материя щеше да бъде открита чрез отразената светлина.
- Тъмната материя не е антиматерия: антиматерията анихилира с материята при контакт, създавайки потоци γ -лъчи (Фигура 1). Астрономите не откриват такива потоци.

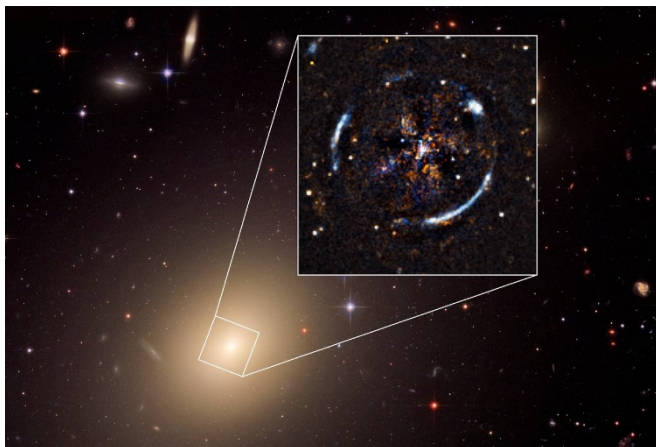


Фигура 1. Процес на аниhilация (Източник: wikipedia.org)

- Тъмната материя не е черни дупки: черните дупки се наблюдават като гравитационни лещи, които закривяват светлината. Астрономите обаче не са открили достатъчно гравитационни лещи, за да се обясни пълното количество тъмна материя. При гравитационната леща светлината се отклонява и образът на обекта приема формата на кръг, известен като „пръстен на Айнщайн“ (Фигура 2). Това наблюдение е потвърждение на Общата теория на относителността на Айнщайн, според която гравитацията е в резултат на изкривяване на пространството и времето.

¹Доклад, изнесен на конференция по физика в Първа английска езикова гимназия през 2019 г.

²Обикновената нормална материя, от която се състоят звездите, планетите и всичко върху тях, е само 5% от Вселената.



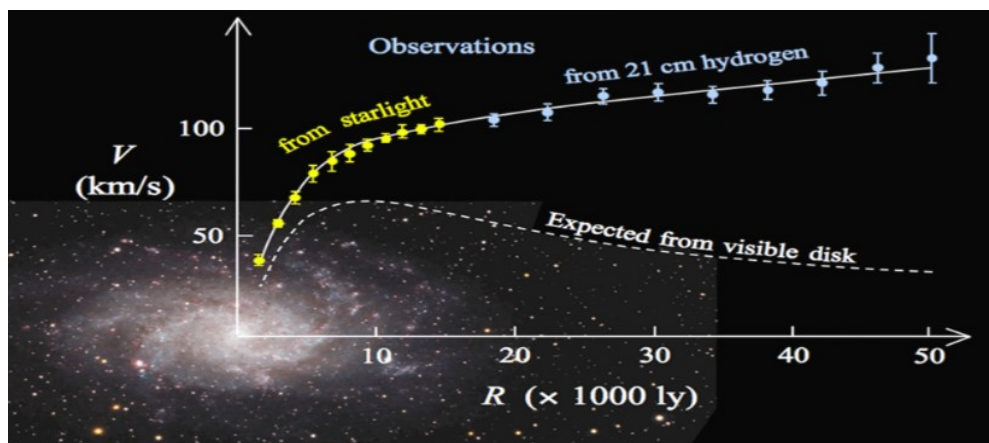
Фигура 2. Пръстен на Айнциайн (Източник: ESO, ESA/Hubble, NASA)

Но въпреки това има три неща за тъмната материя, които знаем със сигурност: 1) в действителност съществува; 2) взаимодейства гравитационно; 3) има огромни количества от нея.

Съществува ли в действителност тъмната материя?

Един от пътищата за доказване съществуването на тъмната материя е начинът, по който скоростта на звездите, планетите и др. се променя спрямо разстоянието им от центъра, около който обикалят. Тази зависимост е позната като „крива на въртене на галактиките“. Тъй като скоростта на обектите зависи от отдалечеността им от центъра, очакваме звездите, които се намират по-близо до центъра, да се движат по-бързо, а тези, които са по периферията – по-бавно. Следователно „кривата на въртене“ на галактиките трябва да намалява с увеличаване на разстоянието. Обаче при повечето галактики се оказва че скоростта близо до центъра и по краищата е една и съща.

Ако разгледаме една галактика, можем приблизително да изчислим нейната маса. Как става това? Като, грубо казано, преброим звездите и планетите в нея и ги умножим по средната маса съответно на една звезда и една планета. Разбира се, трябва да вземем под внимание и масата на звездния прах и звездния газ. Тази маса кореспондира директно с гравитационната сила, поддържаща гореспоменатите космически обекти към галактиката. При по-голяма гравитационна сила една звезда ще има по-голяма скорост. По резултатите за масата пресмятаме скоростта, с която би трябвало да се движат звездите в галактиката. За голямо учудване се оказва, че скоростта на звездите е далеч по висока от очакваната. Следователно можем да заключим, че масата, която е пресметната, е много по-малка в сравнение с действителната маса. Това е накарало учените да смятат, че в галактиките се съдържа и нещо друго, което не се вижда – тъмна материя.



Фигура 3. Крива на въртене на галактиките (Източник: wikipedia.org)

Видове тъмна материя

Тъмната материя съществува в няколко форми. В началото на ХХІ в. в резултат на дългосрочни наблюдения беше установено, че неутриното има маса. Така стана ясно, че от 0,3 – 3% от скритата маса е била в отдавна известното ни неутрино. Въпреки че масата му е изключително малка, количеството му във Вселената е около един милиард пъти по-голямо от броя на нуклоните (протони и неутрони). Във всеки кубически сантиметър се съдържат средно 300 частици неутрино. Останалата част от тъмната материя се разделя на барионна и небарионна (Таблица 1).

Барионната материя е изградена от нуклони, а остатъкът може да са някакви неизвестни много слабо взаимодействащи масивни частици *WIMP* (*Weakly Interactive Massive Particles*), които формират т.нар. студена тъмна материя.

Тези вещества не излъчват светлина и следователно са невидими. Барионната материя може да бъде и така наречените *MACHO* – масивни компактни халообекти (*Massive Compact Halo Objects*). Наличието на няколко класа такива обекти може да се счита за експериментално потвърдено с помощта на гравитационни лещи.

Таблица 1. Съдържание на Вселената

Обикновено видимо вещество	5%
Неутрино	0,3% – 3%
Барионна тъмна материя	4% – 5%
Небарионна тъмна материя	20% – 25%
Тъмна енергия	65% – 70%

Естеството на масивните компактни халообекти не е ясно докрай. По-скоро това са студени звезди (кафяви джуджета) или планетарни обекти, които не са свързани със звезди и пътуват свободно през галактиките.

Друг представител на барионната тъмната материя е горещият газ, който не свети във видимия диапазон.

Основният кандидат за небарионна тъмна материя са *WIMP*. „Слабо взаимодействащи“ означава, че *WIMPs* взаимодействат слабо с обикновената материя. Те не излъчват светлина, което обяснява защо изследователите не могат да ги открият.

Учените прогнозираят, че тъмната материя се състои от частици. Това предположение се основава на фактите, които знаят за естеството на обикновената видима материя и съпътстващите я закони. Но тя представлява едва около 5% от Вселената.

Една от идеите е, че ако съществуват такива частици, то Земята в своето движение със Слънцето по орбита около центъра на галактиката трябва да лети през потоци от *WIMP*. Въпреки че *WIMP* е изключително слабо взаимодействаща частица, има все пак някаква много малка вероятност да взаимодейства с обикновените атоми. В специални съоръжения, много сложни и скъпи, се опитват да регистрират сигнал от това взаимодействие. Броят на тези събития трябва да се променя през годината, защото движейки се по своята орбита около Слънцето, Земята променя своята скорост и посока по отношение на вятъра от *WIMP*. Експерименталната група *DAMA (Dark Matter)*, работеща в италианската лаборатория в тунел Гран Сасо, съобщава за наблюдавани годишни колебания на броя на сигналите. Други групи не са потвърдили тези резултати и въпросът остава открит.

Друг метод за търсене на *WIMP* е основан на предположението, че в течение на милиарди години от своето съществуване, различните астрономически обекти (Земята, Слънцето и др.) трябва да са уловили *WIMP*, които се натрупват в центъра на тези обекти и, анихилирайки един с друг, раждат потоци неутрино. Опитите да се открият допълнителни потоци неутрино от центъра на Земята в посока на Слънцето и центъра на галактиката са предприети в подземните и подводни детектори на неутрино *MACRO (Monopole, Astrophysics and Cosmic Ray Observatory)*, *LVD (Large Volume Detector* в лаборатория Гран Сасо), *NT-200 (Neutrino Telescope*, езерото Байкал, Русия), *Super-Kamiokande* (Япония), *AMANDA (Antarctic Muon And Neutrino Detector Array* станция Скот-Амундсен, Южния полюс), досега не са довели до положителен резултат.

Експерименти, търсещи *WIMP*, активно се провеждат и в ускорителите на частици. В съответствие с уравнението на Айнщайн $E = mc^2$ енергията е еквивалентна на масата. При ускоряването на частици (например протони) до много високи енергии и сблъскването им с други частици може да се

очаква да се роди двойка различни частици и античастици (включително *WIMP*), общата маса на които е равна на общата енергия на сблъскващите се частици. Но тези експерименти все още не са довели до откриването на *WIMP*.

На ускорителя *LHC* се разработва нов експеримент *FASER* (*ForwArD Search ExpeRiment*), който да осъществява високочувствително търсене на такива частици. В тяхно изявление се казва: „*Макар че протоните в сноповете частици да се закривяват от магнитите на LHC, леките и слабо взаимодействащи частици ще продължат по права линия. А техните продукти на разпад се надяваме да бъдат открити от FASER*“.

Целта на *FASER* е да открие хипотетични частици, вкл. и така наречените тъмни фотони и неутрино, които се асоциират с тъмната материя. Експериментът ще се проведе в периода 2021 – 2023 г.

Теорията на Стивън Хокинг за тъмната материя

Според британския астрофизик във Вселената има малки черни дупки, формирани веднага след Големия взрив. От сливането им се е образувала тъмната материя. Те са с малки размери, но с огромна маса – черна дупка с хоризонт на събитията 0,1 mm би трябвало да е с маса 67 квинтилиона тона. Съществуването на тези черни дупки би могло да обясни липсващата маса на Вселената.

С помощта на телескопа Субару в Хавай учените са се опитали да регистрират изкривяване на светлината от обекти, край които се движат черни дупки. За 7 часа, преминали в опити да се регистрира изменение в яркостта на звезда вследствие на минаване на първична черна дупка между светилото и наблюдателя, са били направени 190 снимки. Установили са, че делът на първичните черни дупки съставлява само 0,1% от тъмната материя, а това опровергава теорията на Стивън Хокинг от 1971 г.

Тъмната енергия

В началото на миналия век Алберт Айнщайн, който искал да осигури на космологичния модел в Общата теория на относителността независимост от времето, въвел в уравненията на теорията си т.нар. космологична константа – λ . Тя е била чисто формална константа, в която дори самият Айнщайн не виждал физически смисъл. След като разширението на Вселената било открито, необходимостта от нея отпаднала. Айнщайн много съжалявал, че е прибързал и обявява космологичната константа λ за най-голямата си научна грешка. Десетилетия по-късно стана ясно, че константата на Хъбъл, която определя скоростта на разширяване на Вселената, се променя с времето. Зависимостта ѝ от времето може да бъде обяснена, използвайки стойността на същата Айнщайнова константа λ . Тази нова компонента в съдържанието на Вселената става известна като „тъмна енергия“.

За тъмната енергия се знае още по-малко, отколкото за тъмната материя. Тя е равномерно разпределена по цялата Вселена, за разлика от обикновената материя и тъмната материя. Освен това тя има няколко много странни свойства. Например тъмната енергия създава ефект, подобен на антигравитация: с присъствието си увеличава скоростта на разширяване на Вселената. Като извод някои учени заявяват, че тъмната енергия всъщност не е изградена от никакви частици. Смята се, че тя може да е просто свойство на празното пространство или с други думи това, което кара Вселената да се разширява.

Главният кандидат за ролята на тъмната енергия е вакуумът. Плътността на енергията на вакуума не се променя с разширяването на Вселената. Друг кандидат е хипотетично ултраслабо поле, наречено „квинтесенция“. Група учени пък смятат, че тъмната енергия се проявява при движението на черните дупки.

Надеждите да се изясни природата на тъмната енергия са свързани предимно с нови астрономически наблюдения. Напредък в тази насока без съмнение ще донесе ново радикално знание на човечеството, тъй като във всеки случай, тъмната енергия трябва да представлява някаква доста необичайна субстанция или свойство, напълно различно от всичко познато на физиката досега.

(По материали от списанията *Scientific American* и *Physics World* и интернет.)

ЗАБАВНА СЛУЧКА С НОБЕЛОВ ЛАУРЕАТ

Спечелването на Нобеловата награда, считана за най-високата чест във всяка област, има драматичен ефект върху живота на учените. „Животът ти се променя за една нощ“, спомня си астрофизикът Брайън Шмит (*Brian P. Schmidt*), който спечели Нобеловата награда за физика за 2011 г. заедно със Сол Пърлмутър (*Saul Perlmutter*) и Адам Рийс (*Adam G. Riess*)* за откритието, че разширяването на Вселената се ускорява. „Не получавате предварително предупреждение, просто ви се обаждат, в моя случай по време на готвене на вечеря. „Здравейте? Между другото, вие сте спечелили Нобелова награда“.

Сред многото промени, които Нобеловата награда внася в живота на Шмид има забавни истории при пътуване. Ето какво се случва, разказва той, ако пренасяте Нобелов медал по самолет: „Когато спечелих наградата, баба ми, която живее във Фарго, Северна Дакота (*Fargo, North Dakota*), искаше да го види. При едно пътуване реших да донеса Нобеловия си медал. Може би си мислите, че носенето на Нобелова награда би било безпрепятствено и беше безпрепятствено, докато не се опитах да напусна Фарго с него и преминах през рентгеновия апарат. Видях, че служителите са озадачени. Медалът беше в чантата ми с лаптопа. Направен е от злато, така че поглъща всички рентгенови лъчи – напълно е черен. И никога не бяха виждали нещо изцяло черно. Казаха: „Господине, има нещо в чантата ви?“.

Аз казах: „Да, това е кутия“.

Тогава ме попитаха: „Какво има в кутията?“.

Аз: „Голям златен медал“.

Отвориха я и казаха: „От какво е направен?“.

Аз: „От злато“.

А те казват нещо като: „Ъ-ъ-ъ. Кой ви го даде?“.

„Кралят на Швеция“.

„Защо ви го даде?“.

„Защото помогнах да се открие, че скоростта на разширяване на Вселената се увеличава“.

Тук те започнаха да губят чувството си за хумор. Обясних им, че това е Нобелова награда и основният им въпрос беше: „Защо бяхте във Фарго?“.

<https://blogs.scientificamerican.com/observations/what-it-s-like-to-carry-your-nobel-prize-through-airport-security/>

*Повече за Нобеловата награда можете да прочете в брой 4 от 2011 г. на адрес <http://wop.phys.uni-sofia.bg/>

ВДЪХНОВЯВАЩИЯТ СВЯТ НА РИЧАРД ФАЙНМАН

Мариана Кънева

*Никой не е по-умел в превръщането на науката в забавна и интересна повече, отколкото Ричард Файнман.
Бил Гейтс*

През последните няколко години издателство „Изток-Запад“ предложи на широката читателска аудитория три блестящи сборника на големия физик и Нобелов лауреат Ричард Файнман, чиято 100-годишнина от рождението отбелязахме през миналата година: „Сигурно се шегувате, г-н Файнман!“ (2014), „Смисълът на всичко това. Мислите на един гражданин-учен“ (2017) и „Насладата от откривателството“ (2018).



Преди петдесетина години на български език излязоха легендарните „Файнманови лекции по физика“, превърнали университетския курс по физика във вълнуващо приключение. Това издание беше събитие за студентите от моето поколение. С излизането на новата поредица книги на Файнман един по-широк кръг читатели вече има възможността да се докосне до света на този изумителен учен с могъщ интелект, с всестранны интереси и таланти, с ексцентрично поведение и невероятна харизма, който се забавлява, обяснявайки на популярен език най-сложните физични теории. Трудно може да се впечатли съвременният скептичен читател, но Файнман притежава редкия дар да вдъхновява аудиторията, присъствието му от страниците на трите книги е наистина завладяващо и издаването им на български език днес също

е събитие в областта на научно-популярната литература. Историите, размислите и документите в тях се преплитат и допълват взаимно и няма как да е иначе защото и трите са своеобразни автобиографии и кредо на един и същ човек. На един изключителен човек.

„Сигурно се шегувате, г-н Файнман!“ с подзаглавие „Приключенията на един любопитко“ е сборник, пълен с невероятни истории, съпътстващи сериозни по същество занимания, разказвани от Файнман на съставителя на сборника – Ралф Лейтън (син на неговия колега Робърт Лейтън – съавтор на Файнмановите лекции по физика), в продължение на 7 години.

„Всяка една история сама по себе си е много забавна, а събрани заедно са удивително четиво: че на един човек могат да му се случат толкова много откачени неща за един живот, направо не е за вярване! А че един човек може да измисли толкова много невинни щуротии за един живот – без съмнение е вдъхновение!“, пише в предговора към изданието Ралф Лейтън.

Събитията в книгата са подредени хронологично и в този смисъл тя може да се разглежда като биографична. Тръгваме от детските опити за ремонт на радиоприемник, домашната лаборатория, фокусите за децата от квартала, през измислянето на теореми и задачи в горните класове, откриване и решаване на всевъзможни практически проблеми, изобретения, следването в МТИ (MIT), несериозните на пръв поглед идеи, които обаче водят до оригинални и правилни решения, вълненията, присъщи на младостта, но пречупени през призмата на неизчерпаемо и нестихващо любопитство към живота и стремеж да бъдат разбрани и създадени колкото може повече неща и да бъдат дадени колкото може повече правилни отговори на съществуващи и нови въпроси. Читателят навлиза в един свят, изпълнен със смайващи експерименти, заразяващ интерес към всички области от живота, симпатични гафове и абсурдни ситуации, представени от умен, остроумен и харизматичен разказвач. В калейдоскопа от събития, обединени от неговия водещ мотив *„трябва да разбере“*, се запознаваме с първата му работа като „химик“ в малка фирма, с живота му като докторант в Принстънския университет и контактите му с големи учени, които той нарича *„чудовищни умове“*: Уийлър, Паули, Айнщайн, Ръсел, фон Нойман, със заниманията му с музика и живопис (на професионално ниво), с биология и философия, с възгледите му за науката и псевдонауката, за научния морал, за достоверността на експеримента, поставен на пиедестал като единственото нещо, което може да докаже правилността на теорията, за проблемите, които възможността за избор създава, за честността и отговорностите на учения и преподавателя.

В сборника е включена лекцията „Лос Аламос – поглед отдолу“, от цикъла „Наука и общество“ на Калифорнийския университет в Санта Барбара, посветена на участието му в проекта „Манхатън“ и на контактите му с другите велики учени от Проекта – Комптън, Толман, Смит, Опенхаймер, Раби.

Безкрайно интересно, забавно, живо и честно е пресъздаването на моменти от работата и ежедневието на участниците в Проекта, на битието на Файнман като касоразбивач и дешифровчик на кодове, „негодността“ му за военна служба, сблъсъкът на интелекта с посредствеността, преподавателската му дейност в Корнел и преподаването като желана и неотменна част от живота му, получаването на Нобеловата награда, работата му в Бразилия, пътуването до Япония – все сериозни неща, видени под нестандартния Файнманов ракурс, разказани като приключение и наситени със заразителна радост от живота и мисленето, т.е. „Светът на един физик“, както е озаглавена последната част в сборника или светът на един велик физик, както бихме казали ние. Ето какво пише Албърт Хибс (негов студент, докторант и старши член на техническия съвет към Лабораторията за реактивни двигатели в Калтек) във въведението към сборника: *„Радостта от физиката! Тази радост беше различна. А ние, които се заразахме със същата болест, бяхме късметлии. Сега вие имате възможност да усетите радостта от живота във Файнманов стил“*.

Освен с могъщ интелект Файнман поразява и с изключителна наблюдателност, чувство за хумор, необятен кръгозор и умение да сподели и едното, и другото с всеки читател. *„Ако има книга, която може да разчупи стереотипа за скучния учен, то това е точно тази“* (Детройт Фрий Прес).

„Смисълът на всичко това“ с подзаглавие „Мислите на един граждан-учен“ съдържа три непубликувани досега вечерни лекции, изнесени в Университета „Вашингтон“ в Сиатъл през 1963 г. по покана на Джон Данз, в които Файнман споделя вижданията си за почти всички страни на живота и области от познанието. Лекциите са едновременно забавни и сериозни (типично за Файнман), и по един елегантен начин обобщават и доразвиват мислите на Файнман от първата книга. Обединяващо звено в тях е науката (*„най-голямото приключение на нашето време“*) – нейната същност, ценност, съдържание, нейното влияние и роля в обществото, отношенията учен – общество, критериите за научност, ролята на въображението в науката, важността на съмнението и несигурността като движеща сила за развитието ѝ, (първа лекция: „Несигурността на науката“). Втората лекция – „Несигурността на ценностите“ – обобщава Файнмановите възгледи за смисъла на образованието, за формирането на ценностите, за пречките, ограничаващи разгръщането на пълния потенциал на човечеството, за никому неясния отговор на въпроса за смисъла на живота и несъстоятелността на този въпрос, за ролята на религията при опитите да му даде отговор и при определянето на ценностите, за аспектите на вярата и взаимодействието наука – религия, за несигурността, движеща науката и сигурността, внушавана от религията, за неизбежния конфликт, който това поражда, но и за великата роля на християнската етика, за мястото на морала и човешките ценности в политическите

конфликти, разглеждани като сблъсък на идеи, за свободата като висша ценност. Живият и образен език, непоклатимата логика и многото примери правят тезите на Файнман съвършено достъпни и разбираеми.

Третата лекция – „Ненаучната епоха“ – е поредното свидетелство за нестандартния поглед върху живота и отново впечатлява с невероятно обширна обща култура, хуманизъм и категорична гражданска позиция. Файнман споделя мисли за характера на човешката природа, за оценката на научните идеи с препратки към политиката, за несигурността и възпитанието, критериите за истинност, за възможност и вероятност, за стремежа да разбираме света, в който живеем, за тестовите системи за оценка, за интелекта и манипулативността, журналистическата (не)компетентност и за смисъла от разбирането, прави анализ на причините за ненаучността, говори за необходимостта от информираност и най-вече за честността като свобода и като отговорност на всяко ниво и във всяка област – и в науката, и в политиката. *„Говоря за онази специална, висш тип честност, според която вие като учен ще направите всичко по силите си, за да покажете, че може и да грешите, когато действате като учен. И това е нашата отговорност като учени към другите учени, а също така и към неспециалистите. Елементарна честност – ето за какво настоявам наляво и надясно. Смятам, че поне малко честност е необходима и в политиката. Така ще бъдем малко по-свободни“*.

Сборникът „Насладата от откривателството“ е вълнуваща колекция от статии, интервюта, лекции и беседи на Файнман. В предговора към сборника Фрийман Дайсън (един от създателите на квантовата електродинамика и студент на Файнман) пише: *„виждаме Файнман такъв, какъвто винаги е бил – в една вечна игра с идеите, но и винаги сериозен по отношение на важните за него неща, а именно честността, независимостта и готовността да признае невежеството си“*. Това е една удивителна книга, пропита от невъобразима ерудиция, мъдрост, проникателност, интелигентен хумор и радост от живота като мислене и от мисленето като начин на живот... Както и в първите два сборника многообразието от теми е впечатляващо – от свободата да се съмняваме и същността на разбирането до възторга от откритието (толкова характерен за Файнман!), от смисъла на знанието и ролята на примерите, разговорите и преподаването до това какво прави една теория вярна, от красотата като естетическо понятие до красотата в науката, от ролята на идеите и на научната култура до това как се формира научен мироглед и как се изграждат учени. Попадайки в ренесансовата вселена на Файнман читателят получава възможност да се запознае с възгледите му по всеобщи човешки проблеми като бъдещето на науката, изчислителните машини, и цивилизацията, същност и бъдеще на миниатюризацията, нанотехнологиите, всевъзможните аспекти на науката и нейната ценност, ролята на научната култура и идеите в обществото, престъпната страна на бюрокрацията, псевдонаучност-

та на комунизма, ролята на науката и религията в търсенето на истината и решаването на морални проблеми, рисковете и ползите от науката: „*Науката по своему е ключ към рая, който отключва и портите на ада, а ние нямаме упътване коя врата коя е. Дали да изхвърлим ключа и да се лишим во веки векове от достъп до рая? Или да положим усилия, за да разберем кой е най-добрият начин да използваме този ключ? Това, разбира се, е много сериозен въпрос, но мисля, че никой няма да отрече ценността на ключа към рая*“.

В сборника е включен и историческият доклад на Файнман във връзка с гибелта на совалката „Чалънджър“, който има решаваща роля за установяване на причините за трагедията и куража да се пребори с пропагандата и опитите за прикриване на истината. Както винаги при него основен принцип е честността и търсенето на истината.

Сборникът има азбучен показалец и преди всяка тема е дадена кратка анотация от съставителя Джефри Робинс, което създава редица удобства и допринася много за качествата на изданието.

В предговора към „Насладата от откривателството“ Фрийман Дайсън казва, че е бил омагьосан от нехайната гениалност на Файнман и го е обичал до степен на идолопоклонничество. Много кратко и точно обобщение за въздействието на големия учен върху неговите слушатели или читатели. Трите сборника ни позволяват да се доближим, според възможностите си, до един невероятен свят на вдъхновение, блестящ интелект и хуманизъм. Всичко, което прави един човек учен и един учен велик, наднича от страниците на тези книги.

Неотдавна, в час пик на централна метростанция едно момче, застанало право на перона, без да се смущава от шума и навалищата, в захлас четеше книга (хартиена!), изцяло пренесено в нейната реалност. Каква голяма и хубава изненада беше да видя, че това е „**Сигурно се шегувате, г-н Файнман!**“. Тя, както и другите две, могат да се намерят в книжарниците и биха доставили голямо удоволствие на широк кръг читатели.

ПОСЕТЕТЕ НАШИЯ САЙТ

wop.phys.uni-sofia.bg

СНИМКИТЕ И ФИГУРИТЕ СА ЦВЕТНИ В ОНЛАЙН
ВЕРСИЯТА НА СПИСАНИЕТО

ПОСЛЕДНО СБОГОМ С ДОЦЕНТ Д-Р ГЕОРГИ МЕКИШЕВ

Христо Солунов



Изминаха три месеца от раздялата с многогодишния декан на Физическия факултет (понастоящем Физико-технологичен) на Пловдивския университет „Паисий Хилендарски“.

Георги Атанасов Мекишев е роден в с. Дебър през 1942 г. Животът и трудовата му дейност са тясно свързани с Физическия факултет на Пловдивския университет. Той и неговата съпруга са от втория випуск на открития през 1961 г. Висш педагогически институт по Природо-математически науки. По това време бъдещият Физически факултет се състоеше от една катедра „Обща физика“ с осем преподаватели, прехвърлени от тогавашния Висш институт по хранителна промишленост и пет новоприети асистенти, току-що завършили Софийския университет, всички обитаващи един кабинет. Още като студент от първи курс Мекишев се очертава като младежки ръководител, действащ по метода на убеждението, в противовес на типичния по онова време командно-административен подход. Завършва специалността „Физика“ през 1966 г. и постъпва като асистент по Обща физика през 1968 г., четири години преди прерастването на Висшия педагогически институт в Пловдивски университет. Мекишев е аспирант в Ленинградския електротехнически институт, където защитава дисертация през 1981 г. и е хабилитиран във Физическия факултет през следващата година.

Доц. Мекишев е съавтор на първия сборник от задачи по Обща физика във Факултета и многогодишен лектор по курса „Електричество и магнетизъм“. В научните си изследвания доц. Мекишев е продължител на научното направление, основано в България от академик Г. Наджаков, и внедрено във Физическия факултет от професор Тодор Василев, в областта на електретното състояние в полупроводници и диелектрици. В тази област е публикувал монографична книга, множество научни публикации и конструирал инсталация, оцеляла в турбуленците на бурно развиващия се с нови факултети Пловдивски университет.

Добронамереният ръководен стил на Доц. Мекишев го издига до дългогодишен декан на Факултета и ръководител на Катедрата по експериментална физика в периода от 1985 до 2009 г., 24 години, свързани с изграждането и развитието на Факултета.

Последно сбогом с един от възпитаниците, преподавател и ръководител на Факултета от романтичните години на неговото развитие до неговото утвърждаване и разрастване във Физико-технологичен факултет с множество специалности от физиката и модерните ИТ технологии.

ИЗИСКВАНИЯ КЪМ ПОСТЪПВАЩИТЕ МАТЕРИАЛИ

Статии до редакцията се изпращат на адрес: worldofphysics@abv.bg. Като прикачени файлове изпратете текста, фигурите и pdf версия на цялата статия. Получаването им се потвърждава с обратен е-мейл. Ако не сте получили потвърждение до 10 дни, съществува възможността Вашата статия да не е получена и следва да изпратите файловете отново.

Редакционната колегия може да откаже да публикува или да върне за корекции статиите, които, по преценка на представящия редактор или на главния редактор, не отговарят на основните изисквания за научност, оригиналност и стил на изложението.

Материали, които вече са публикувани някъде, или са под печат в друго списание, няма да бъдат публикувани. Публикуването на представените материали се определя от препоръките на рецензентите.

Редакторите могат да редактират ръкописите, когато това е необходимо.

Публикуването в това списание е безплатно за авторите.

УКАЗАНИЯ КЪМ АВТОРИТЕ

Статиите да не надхвърлят 10-15 страници (включително със снимки, таблици, фигури). За текста на статиите може да се използва *Word* или *Writer*.

1. Текстът да няма специално оформление (освен болд, курсив и главни букви):

- да е **без колони**, да няма **нищо в табличен вид** (освен ако не става въпрос за таблици);

- за **отстъп** при нов ред да се използва *First line Indent*, а не табулация;

- разделянето, примерно на формула и след нея номер, да става с табулация, а не с многобройни интервали;

- да не се използват интервали като средство за някакво оформление.

2. Задължително целият текст да е **редактиран и коригиран** (да няма печатни и правописни грешки).

3. **Фигурите и снимките** да са на отделен файл с отбелязано място в самия файл за местоположението им. Ако са от интернет, да бъдат с резолюция поне 250 пиксела. Ще са цветни в онлайн версията на списанието.

4. **Използваната литература** трябва да съдържа източници, достъпни за проверка. Правилата за изписване са дадени на интернет страницата на списанието.

5. Допълнителна информация – **информация за автора** на статията: име, длъжност, месторабота, академично звание, научна степен, контакти; **резюме, заглавие и име** на автора на английски.

**НА ВНИМАНИЕТО НА БЪДЕЩИТЕ ВЕЛИКОДУШНИ И ЩЕДРИ
СПОМОЩЕСТВОВАТЕЛИ НА СП. „СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА“**

БАНКОВА СМЕТКА НА СФБ
IBAN: BG91FINV91501215737609
BIC: FINVBGSF
ПЪРВА ИНВЕСТИЦИОННА БАНКА

Корица: Раманов микроскоп за пигментен анализ на кавалетна живопис.

НАШИТЕ АВТОРИ:

Сашка Александрова – проф. д.т.н., Технически университет, София;
Мариана Кънева – доц. д-р, Институт по физика на твърдото тяло, БАН;
Бойко Георгиев – д-р, Съюз на физиците в България;
Василка Пенчева – доц. д-р, Институт по електроника, БАН;
Божидар Божанов – Architect and Senior Software Engineer, LogSentinel;
Ана Георгиева – проф. д.фз.н., Съюз на физиците в България;
Христо Астарджиев – студент, магистърска програма „Астрономия и популяризация на астрономията“, Физически факултет, Софийски университет;
Марина Обретенова – X^г клас, Първа английска гимназия, София;
Христо Солунов – доц. д-р, Пловдивски университет „Паисий Хилендарски“

СЪДЪРЖАНИЕ

РЕДАКЦИОННО

НАГРАДИ

– Нобеловата награда за 2019 г.

**ФИЗИКА И ХУМАНИТАРНИ
НАУКИ**

– Да се научим да се удивляваме

НАУКА

– Скрытата мощ на микроелектрони-
ката

– М. Кънева – Лазерни методи при
реставрация и консервация на
кавалетна живопис (част I)

ИСТОРИЯ

– Учен случайно намери най-старата
версия на периодичната таблица на
Менделеев

– В. Пенчева – За 150-годишната
научна проникателност на Дмитрий
Иванович Менделеев и периодичната
таблица на химичните елементи

ФИЗИКА И ОБУЧЕНИЕ

– Мъдри дефиниции

НАУКА И ОБЩЕСТВО

– Б. Божанов – Целта на знанието

– А. Георгиева – Прессъобщение:
Европейски фестивал „Наука на
сцената – 2019“

МЛАДИ ИЗСЛЕДОВАТЕЛИ

– Х. Астарджиев – Орбитална механи-
ка за всички: орбита на космическия
телескоп „ТЕСС“

– М. Обретенова – Какво знаем за
тъмната материя и тъмната енергия

ЛЮБОПИТНО

– Забавна случка с Нобелов лауреат

КНИГОПИС

– М. Кънева – Вдъхновяващият свят
на Ричард Файнман

IN MEMORIAM

– Х. Солунов – Последно сбогом с
доцент д-р Георги Мекишев

CONTENTS

EDITORIAL 201

AWARDS

– The Nobel Prize in Physics 2019 203

PHYSICS AND HUMANITIES

– Learning to be astonished 206

SCIENCE

– The hidden power of micro-
electronics 210

– M. Kuneva – Laser methods in
restoration and conservation of easel
painting (part I) 220

HISTORY

– Scientist accidentally finds the
oldest version of Mendeleev's periodic
table 241

– V. Pencheva – On the 150-year
scientific insight of Dmitri Ivanovich
Mendeleev and the periodic table of
chemical elements 244

PHYSICS AND TEACHING

– Smart definitions 255

SCIENCE AND SOCIETY

– B. Bozhanov – The point of
knowledge 256

– A. Georgieva – Press release: European
Science on Stage Festival 2019 258

YOUNG RESEARCHERS

– H. Astardjiev – Orbital mechanics for
everyone: orbit of the TESS space
telescope 261

– M. Obretenova – What we know about
dark matter and dark energy 279

CURIOUS

– Funny story with a Nobel prize
winner 285

BIBLIOGRAPHY

– M. Kuneva – The inspiring world of
Richard Feynman 286

IN MEMORIAM

– H. Solunov – Farewell to Assoc. Prof.
Dr. Georgi Mekishev 291