

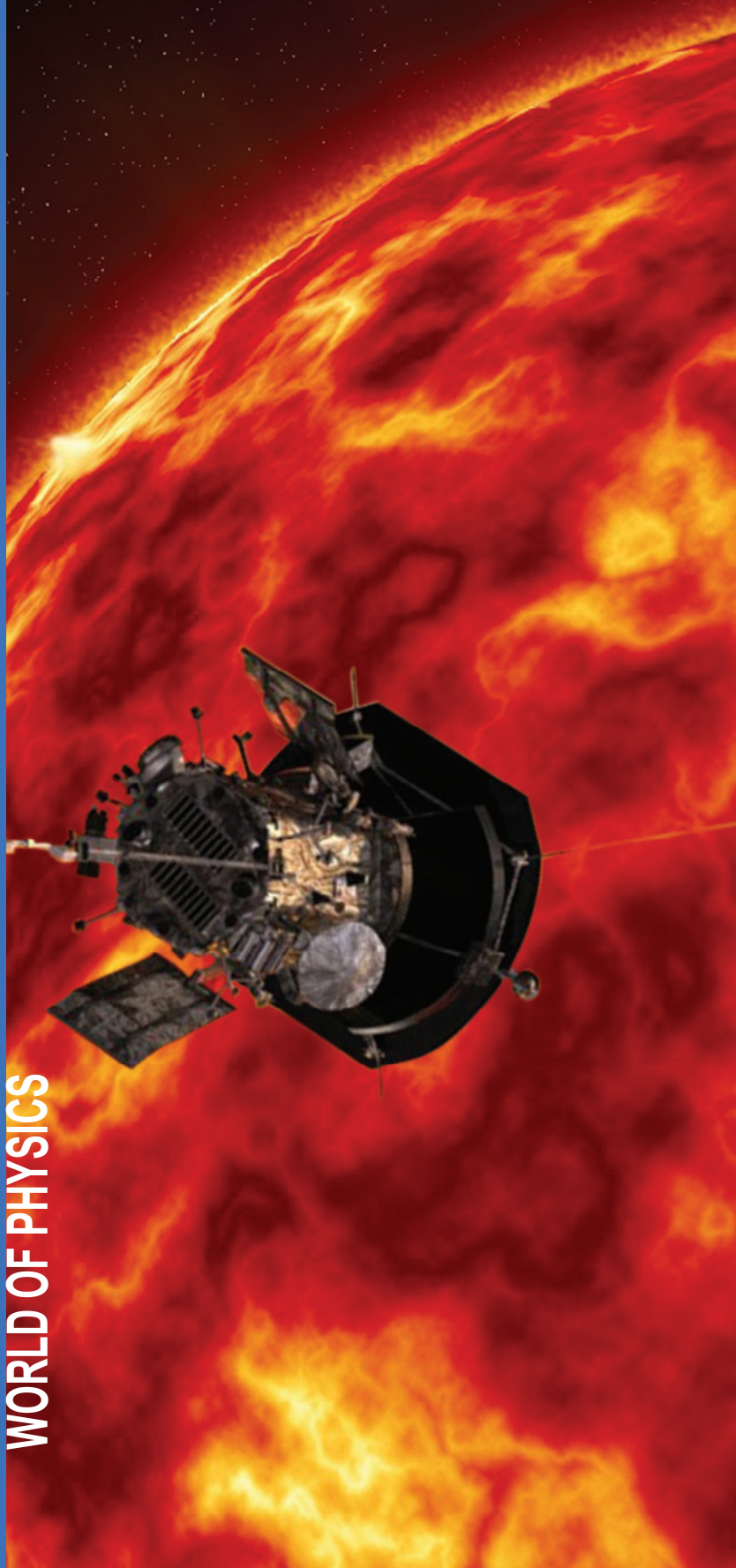


съюз на физиците
в БЪЛГАРИЯ

СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА

1'22

WORLD OF PHYSICS



С В Е Т Ъ Т Н А Ф И З И К А Т А

ТОМ XLV, кн. 1, 2022 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,

Питър Таунсенд, Радостина

Камбурова, Борислав Павлов,

Светлен Тончев, Желязка

Райкова, Игорь Масляницин,

Михай Анастасеску, Херман

Лиенхарт, Роман Пономарьов

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

АДРЕС НА РЕДАКЦИЯТА:

Бул. „Джеймс Баучер“ №5,

1164 София

EDITORIAL STAFF

EDITOR-IN-CHIEF

Sashka Alexandrova

VICE EDITOR-IN-CHIEF

Ana Georgieva, Mariana Kuneva

EXECUTIVE SECRETARY

Penka Lazarova

MEMBERS

Ivan Lalov, Evgeni Popov,

Peter Townsend, Radostina

Kamburova, Borislav Pavlov,

Svetlen Tonchev, Zhelyazka

Raykova, Igor Maslyanitsin,

Mihai Anastasescu, Hermann

Lienhart, Roman Ponomarev

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

EDITORIAL OFFICE ADDRESS:

5, James Bouchier Blvd,

1164 Sofia

☎ 02 862 76 60

E-mail: worldofphysics@abv.bg

Предпечатна подготовка: Божидар Жеков

ISSN: 0861-4210

РЕДАКЦИОННО

Общото събрание на ООН обяви 2022 г. за „Международна година на фундаменталните науки за устойчиво развитие“. Това е признание за съществената роля на тези науки и осъзнаване на необходимостта от тяхното насърчаване и подкрепа за постигане на просперитет и устойчиво и балансирано развитие на планетата. Модел на такова развитие е самата история на фундаменталните науки. Благодарение на тях от поколение на поколение се натрупва запас от знания, които следващите поколения могат да прилагат към проблеми, дори непознати дотогава. Науката остава нашата най-добра методология за изграждане на консенсус относно функционирането на природата.

Процесът на натрупване на знания, на идеи и възможности за приложението им може да се види в разказа за Нобеловите награди по физика за 2021 г. Разработването на физични модели на климата на Земята от учени от различни страни в света може да се проследи от около 200 години назад – от Жозеф Фурие и Сванте Арениус до Едуард Лоренц, който поставя основите на съвременната теория на хаоса. Надеждни ли са климатичните модели, след като времето е променливо и хаотично?

Можем ли да преценим кои са най-важните постижения за изминалата година? От разстояние във времето може да се намерят и други, които сме пропуснали, но отговорите на следните въпроси са наистина впечатляващи: Знаете ли за най-мощния изстрелван досега космически телескоп на NASA „Джеймс Уеб“ и на кого е кръстен? Ще издадем тайната – на ръководителя на програмата „Аполо“ Джеймс Уеб. Какво знаете за космическата сонда на NASA „Паркър“ – дали достигна границата на слънчевата корона; къде се разхожда Пърсивиърънс и какво прави там; излъчват ли черните дупки и как да разберам това?

Сред физичните методи за изследване на структурата на материята особено място заема Мьосбауеровата спектроскопия. В настоящия и следващия броеве на списанието предлагаме подробна информация за ефекта на Мьосбауер, на който се базира методът, за характеристиките на метода, за неговите възможности и предимствата му в сравнение с други методи, които го определят като един от най-мощните в областта на изследване и характеризиране на различни фази във веществата и на наноматериалите.

Напредъкът на нанонауките на физично и химично ниво и натрупаните знания позволяват използване на наночастици като доставящи лекарство системи. Могат ли обаче свръхмалките размери на наносистемите, които дават възможност на частиците да взаимодействат с различни клетки, тъкани

и биологични бариери, да предизвикат неочаквана токсичност? Отговорът може би идва отново с прилагането на физични и физико-химични методи на изследване.

Ако зададем въпрос кои са най-големите физици, със сигурност ще чуем имената на Исаак Нютон и Алберт Айнщайн. А Джеймс Максвел? *„Кой е Максвел?“* – пита сайт за технологични новини и добавя: *„Най-известният физик, за когото вероятно никога не сте чували“*. Това не се отнася за нашите читатели, но въпреки това може би не знаете, че Максвел е бил и поет с чувство за хумор, че негова е първата стабилна цветна фотография, че е предвидил явления, довели до развитието на нови области в науката – вижте кои.

Натрупването на знания е дълъг процес, в който ясно може да се види приемствеността в науката. За нашата страна развитието на науката и образованието след Освобождението е интересна тема, свързана с имената на много наши учени, но и на учени, дошли от Европа и приели като кауза образованието у нас. Такъв е хърватският учен и преподавател проф. Степан Юринич, дългогодишен учител, първият български професор по зоология, декан на Физико-математическия факултет (1910 – 1911) и ректор на Софийския университет (1911 – 1912), служил и като доброволец в Сръбско-българската война (1912 – 1913). Прочетете за този забележителен учен, приел България като втора родина.

Както и във всеки брой, представяме събития от дейностите на СФБ.

Нека не забравяме, че *„Прогресът е резултат на стремежа. Отговор на въпрос. В основите на физиката лежат задаването на въпроси и търсенето на отговори на база експерименти и неща, които са обозрими“*, както пише един от нашите млади автори.

Приятно четене!

Сашка Александрова

главен редактор на „Светът на физиката“

ХАРЕСАЙТЕ СТРАНИЦАТА НА СПИСАНИЕТО ВЪВ FACEBOOK

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

НОБЕЛОВАТА НАГРАДА ПО ФИЗИКА 2021 – ЗА МОДЕЛИРАНЕ НА КЛИМАТИЧНИТЕ ПРОМЕНИ

Радостина Ташева

Нобеловата награда по физика за 2021 година е поделена между трима лауреати и е свързана с техните изследвания за моделиране на хаотични и случайни явления. Сюкуро Манабе и Клаус Хаселман полагат основите на разбирането за климата на Земята и влиянието на човешката дейност върху него. Те получават половината от Нобеловата награда по физика за 2021 година за „Физично моделиране на климата на Земята, количествено определяне на изменчивостта и надеждно прогнозиране на глобалното затопляне“. Джорджо Паризи е награден за своя революционен принос към теорията на хаоса и случайните процеси. Той получава своята част от наградата за „Откриване на безпорядъка и флуктуациите във физичните системи от атомни до планетарни мащаби“. Двете части на тазгодишната награда, на пръв поглед толкова различни, са обединени от фокуса върху изследването на безпорядъка и флуктуациите в сложни системи.



Сюкуро Манабе е японско-американски метеоролог, специализирал в областта на климатологията. Роден е на 21 септември 1931 г. в Шингу, префектура Ехиме, Япония. Защищава докторантура в Токийския университет през 1958 г. и заминава за САЩ за да работи в Лабораторията по геофизична флуидна динамика на Националната агенция на океанските и атмосферните изследвания до 1997 г. От 1997 г. до 2001 г. работи като директор на Отдела за изследване на глобалното затопляне в Япония. През 2002 г. се завръща в САЩ като гостуващ научен сътрудник по

Програмата за атмосферни и океански науки на Принстънския университет.

Сюкуро Манабе демонстрира как повишените нива на въглероден диоксид водят до увеличаване на температурата на повърхността на Земята. През 1960 г. той започва разработване на физични модели на климата на Земята и е първият, който разглежда връзката между радиационния баланс и вертикалното движение (конвекцията) на въздушни маси. Неговата работа създава основата на съвременните модели на климата.

Около 10 години след първите работи на Манабе, Клаус Хаселман създава модел, който свързва времето и климата и отговаря на въпроса защо

климатичните модели са надеждни, независимо че времето е променливо и хаотично.

Клаус Хаселман е роден на 25 октомври 1931 г. в Хамбург в семейство на журналист-социалдемократ, който през 1934 – 1948 година живее като политически емигрант в Англия. След завръщането си в Германия Хаселман завършва през 1955 г. физика и математика в Хамбургския университет, а през 1957 г. защитава докторат по физика в Гьотингенския университет. Работи в Хамбургския университет (1957 – 1961, 1966 – 1975) и Калифорнийския университет – Сан Диего (1961 – 1961). През 1975 г. основава Института за метеорология „Макс Планк“, който оглавява до 1999 г. Известен е със своя модел на климатичните промени, обясняващ така наречения „червен шум“ в климатичните данни.



Преди около 200 години френският физик Жозеф Фурие изследва радиационния баланс между пристигащата към земната повърхност слънчева радиация и трансформираната и преизлъчена от Земята обратно към атмосферата радиация, която той нарича „тъмна топлина“. Тази топлина се абсорбира от атмосферата и води до нейното нагриване. Ефектът носи названието „парников ефект“, защото атмосферните газове играят ролята на стъклото на парника, което задържа топлината вътре в него. Естествено процесите са доста по-сложни и за обяснението на влиянието на парниковия ефект върху времето и климата са разработени редица модели.

Метеорологичното време представлява комплекса от атмосферните явления и стойностите на метеорологичните елементи за кратък период от време над конкретен район. Метеорологичните елементи са величините, които характеризират физичното състояние на атмосферата – температура, атмосферно налягане, плътност, влажност, вятър. Атмосферните явления създават качествената представа за състоянието на атмосферата. Климат е получената по многогодишни стандартни наблюдения представа за най-вероятното състояние на времето, характерно за даден район и определен период от годината и изразена чрез метеорологични елементи и явления. За характеристики на климата се използват средните месечни, сезонни или годишни стойности на метеорологичните елементи, изчислени по данните от регулярните наблюдения в конкретния район за период от 30 години. Следователно прогнозата за месец април например няма да ни каже какво ще бъде времето в определен ден от месеца, а ще ни насочи какви температури и средни валежи да очакваме.

Парниковият ефект е съществен за живота на Земята, защото от него зависи

температурата на атмосферата. Парниковите газове – въглероден диоксид, метан, водни пари и други, първо поглъщат инфрачервената земна радиация и след това я излъчват, затопляйки атмосферата и земната повърхност. Те са малък процент от атмосферните газове – въглеродният диоксид е само 0,04%. Водната пара е най-мощният парников газ, но нейното количество е променливо и не е възможно да бъде контролирано, за разлика от количеството на въглеродния диоксид. Когато количеството на въглеродния диоксид расте, температурата на атмосферата се повишава и нараства количеството водна пара, която се съдържа в нея. Това увеличава парниковия ефект и води до още по-голямо нарастване на температурата. Ако нивата на въглероден диоксид намаляват, част от водната пара кондензира и температурата пада.

Важно значение за изследването на ролята на въглеродния диоксид има работата на шведския изследовател и нобелов лауреат Сванте Арениус. Той обяснява физиката, която стои зад парниковия ефект – излъчваната радиация е пропорционална на четвъртата степен на абсолютната температура и колкото по-топло е тялото, толкова по-малка е дължината на вълната. Слънцето има повърхностна температура на излъчващата повърхност – фотосферата – приблизително 6000 °C и максимумът на излъчването му е във видимата част на спектъра. Земната повърхност има средна температура 15 °C и излъчва в инфрачервената част на спектъра. Ако атмосферата не абсорбираше тази радиация, нейната температура щеше да е не повече от -18 °C. Арениус се опитва да разбере каква е причината за ледниковите епохи. Той стига до заключението [1], че ако нивата на въглеродния диоксид се намалят наполовина, на Земята ще започне нова ледникова епоха. Обратно, ако количеството на въглеродния диоксид се удвои, това ще увеличи температурата с 5 – 6 °C, което е близо до съвременните оценки.

През 1950 г. метеорологът Сюкуро Манабе е един от младите и талантиливи изследователи, които напускат опустошената от войната Япония, и продължава своите изследвания в САЩ. Негова цел е същата като на Арениус – да покаже как увеличените нива на въглероден диоксид водят до увеличаване на температурата. Обаче докато Арениус се фокусира върху радиационния баланс, Манабе през 1960 г. започва разработка на физични модели, които да съвместят вертикалните движения на въздушните маси заради конвекцията и отделянето на скрита топлина на изпарение (Фигура 1). Манабе и Уедералд [2] третираат атмосферата като вертикална колона, простираща се до височина 40 km. Тя има даден профил на относителната влажност и определена концентрация на парниковите газове. Даже при тези условия са необходими стотици часове за да се тества моделът чрез вариране на нивата на газовете в атмосферата.

Климатичният модел на Сюкуро Манабе



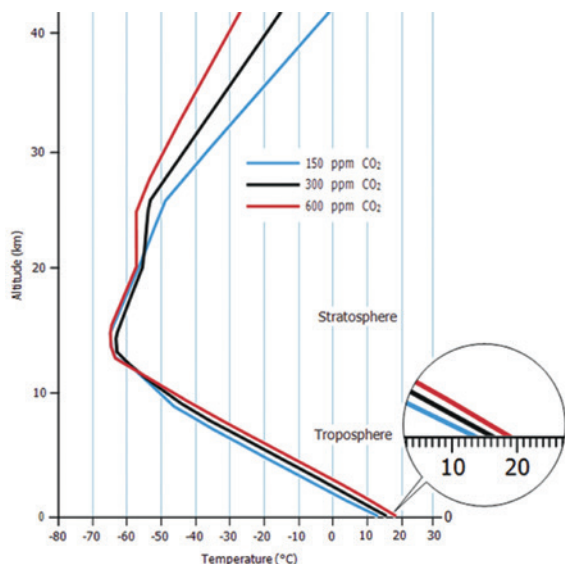
Фигура 1. Моделът на Манабе

Оказва се, че кислородът и азотът имат пренебрежим ефект върху повърхностната температура, но когато нивата на въглеродния диоксид се удвояват, глобалната температура нараства с 2°C (Фигура 2). Моделът потвърждава, че затоплянето е резултат от нарастването на нивата на въглероден диоксид, защото предсказва повишаване на температурата в близост до земната повърхност, докато високата атмосфера става по-студена. Ако вариацията в слънчевата радиация е отговорна за повишаването на температурата, цялата атмосфера щеше да повиши температурата си с една и съща стойност. Преди 60 години компютрите са от сто до хиляда пъти по-бавни отколкото сега и така този модел е относително прост, но включва ключовите черти на съответните процеси в атмосферата. По-нататък Манабе развива едномерния модел в тримерен, който публикува през 1975 г. Този модел поставя началото на разбирането на тайните на климата.

Около 10 години след Манабе, Клаус Хаселман успява да свърже времето и климата, намирайки начин да моделира хаотичните и бързи изменения на времето, без да извършва сложни пресмятания. Времето на нашата планета е много динамично заради непрекъснатото изменение на слънчевата радиация както във времето, така и на различните географски ширини. Заради сферичната форма на Земята слънчевите лъчи падат под различен ъгъл на различните географски ширини и като резултат високите географски ширини получават по-малко слънчева радиация от по-ниските. Наклонът на земната ос спрямо плоскостта на орбитата ѝ води до сезонни изменения на попадащата върху Земята слънчева радиация. Разликите в плътността на топлия и студения въздух води до пренос на топлина между различните географски ширини, между

океана и сушата, между по-ниските и по-високите въздушни маси на една и съща географска ширина.

Както добре знаем, да се направи надеждна прогноза за времето за повече от десет дни е истинско предизвикателство. Преди двеста години известният френски учен Пиер Симон Лаплас издига идеята за детерминизма – ако знаем



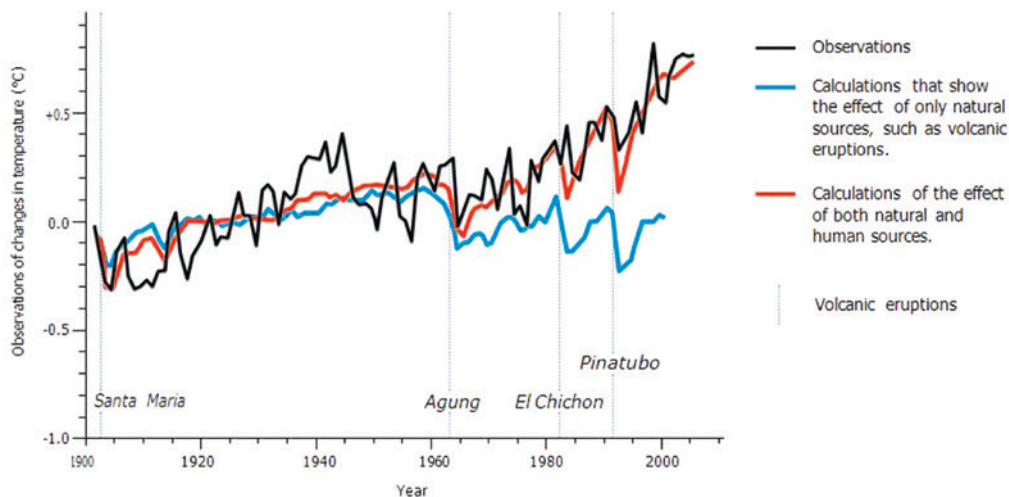
Фигура 2. Температурни изменения и нива на CO₂ [2] Температурата на повърхността пада с 2,28 °C, когато нивата на въглеродния диоксид се намалят наполовина. Тя нараства с 2,36 °C, когато нивата на въглеродния диоксид се удвоят

уравнение за непрекъснатост, уравнение за притока на топлина, уравнение на движението на въздушна частица. Дори малки изменения в началните данни водят до еволюиране на времето в съвършено различна посока. Това откритие е направено през 1960 г. от американския метеоролог Едуард Лоренц, който поставя основите на съвременната теория на хаоса.

Около 1980 г. Клаус Хаселман демонстрира как хаотично изменящото се време може да се опише като бързо изменящ се шум и така поставя дългосрочните прогнози за времето на сериозна научна основа. Нещо повече – той създава методи за идентифициране на влиянието на човешката дейност върху наблюдаваните глобални температури. Като млад доктор по физика в Хамбург, Германия, през 1950 г. Хаселман работи в областта на динамиката на флуидите и започва да развива наблюдателни и теоретични модели за океанските вълни

позицията и скоростта на всички частици във Вселената, ние можем да предскажем какво ще се случи и да обясним какво се е случило във всеки момент в нашия свят. Този принцип е в сила за макротелата, които се подчиняват напълно на трите принципа на Нютон. Те обаче не са в сила за системи от частици с ансамблов поведение, за които случайните процеси са водещи. Атмосферата е една такава система и точно предсказване на времето не е възможно. Това отчасти е така, защото не е възможно да се получат данни за температурата, налягането и плътността на въздуха във всяка точка на атмосферата, както и за посоката и скоростта на вятъра. Предсказанията се правят на базата на така наречените уравнения на времето, които са нелинейни –

и течения. Той се премества в Калифорния и продължава да се занимава с океанография. Там той се среща с Чарлз Кийлинг, известен с дългосрочните изследвания на атмосферния въглероден диоксид в обсерватория Мауна Лоа в Хаваите, започнали през 1958 г. В по-нататъшните си изследвания Хаселман използва именно кривата на Кийлинг, получена при тези изследвания, която показва измененията на нивата въглероден диоксид.



Фигура 3. Сравнение между измененията [4] в средната годишна температура в сравнение с усреднената за периода 1900 – 1950 (°C). Най-долната крива (в синьо) отчита само естествени причини, например вулканични избухвания. Средната крива (в червено) отчита и човешките, и естествените фактори. Горната крива (в черно) е наблюдаемата

Създаването на модел на климата от зашумените данни за времето може да бъде илюстрирано, ако разглеждаме разхождането на куче: кучето се дърпа от каишката, напред и назад, наляво и надясно, и около вашите крака. Как можете да използвате траекторията на кучето, за да разберете дали вървите или сте неподвижни? Или дали се движите бързо или бавно? Частите на траекторията, описвани от кучето, са измененията на времето, а вашето движение е предсказаният климат. Дали е възможно да се направят изводи за дългосрочните тенденции в климата, използвайки хаотични и зашумени данни за времето? Една допълнителна трудност е, че флуктуациите, влияещи на климата, са много променливи с времето – някои са много бързи, като измененията на скоростта на вятъра или температурата на въздуха, или много бавни, като топенето на ледниците и затоплянето на океаните. Например за да се повиши температурата на океаните с един градус са нужни хиляди години, но за затоплянето на атмосферата по същия начин ще са нужни седмици. Решаващата идея тук е

разглеждането на бързите изменения във времето в изчисленията като шум и демонстрацията, че този шум влияе на климата. Хаселман създава стохастичен климатичен модел, използвайки теорията на Айнщайн за Брауновото движение. Той създава модел на океанския климат, в който времето е „шум“, а климатът е неговото средно състояние [3]. Използвайки тази теория, Хаселман демонстрира, че изменящата се атмосфера може да предизвика бавни изменения в океана. Когато моделът на климатичните изменения бил завършен, Хаселман разработва методи за разпознаване на човешкото влияние върху климатичните системи. Той установява, че моделите, заедно с наблюденията и теоретичните оценки, съдържат адекватна информация за свойствата на шума и сигнала. Например измененията в слънчевата радиация, вулканичните частици или нивата на парниковите газове оставят уникални сигнали – отпечатьци, от които могат да бъдат изолирани. Този метод за идентифициране на отпечатьците може също да бъде приложен към ефекта, който човешката дейност има върху климатичните системи. Хаселман демонстрира това на примера на голям брой независими наблюдения. Климатичните модели вече са значително подобрили с помощта на сателитни наблюдения. Моделите ясно показват засилващ се парников ефект – от средата на 19 век нивата на въглероден диоксид са нараснали с 40%. Съответно температурните измервания показват, че светът се е затоплил с 1 °C за последните 150 години (Фигура 3).

Сюкуро Манабе и Клаус Хаселман полагат солидни основи на нашите познания за климата на Земята. Ние вече знаем, че климатът на Земята се променя. Земята се затопля и причината е нарасналото количество парникови газове. Това нарастване не може да се обясни само с естествени фактори – то е резултат от човешката дейност.

Литература

- [1] S.A. Arrhenius, Phil. Mag. **41**, 237 (1896).
- [2] S. Manabe and R.T. Wetherald, Journal of the atmospheric sciences **24**, 241 (1967).
- [3] K. Hasselmann, Rev. Geophys **4**, 1 (1966).
- [4] G. Hegerl and F. Zwiers, WIREs Climate Change (2011).

THE NOBEL PRIZE IN PHYSICS 2021 – FOR MODELLING OF THE CLIMATE CHANGES

Radostina Tasheva

Nobel prizes for 2020 in physics are under consideration and the contributions of Suro Manabe and Klaus Haselman are discussed.

ВЪЗМОЖНОСТИ НА ФИЗИЧНИЯ МЕТОД ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ, ОСНОВАН ВЪРХУ ФИЗИЧНИЯ ЕФЕКТ ЯДРЕН ГАМА-РЕЗОНАНС И ПРИЛОЖЕНИЯ НА МЬОСБАУЕРОВАТА СПЕКТРОСКОПИЯ

Петко Б. Кръстев

Целта на статията е да предостави кратка информация относно ефекта на Мьосбауер и метода на Мьосбауеровата спектроскопия, като същевременно запознае читателите с възможностите и приложенията на един от най-мощните методи за изследване структурата на материята.

Ключови думи: ефект на Мьосбауер, ядрен гама-резонанс, Мьосбауерова спектроскопия.

Мьосбауеровата спектроскопия в съчетание с регистрацията на конверсионни и Оже електрони, синхротронно лъчение, оптични, рентгенови, неутронни и гама методи за характеризиране, позволява задълбочено изучаване на електронните, магнитните и структурните свойства на материали и сплави, намиращи приложение в почти всички области на съвременната наука. Приложенията на метода са свързани не само с ядрената физика и физиката на твърдото тяло, но и с химията, биологията, геологията, минералогията, археологията и дори биомедицината. Ядренофизичната природа на ефекта открива възможности за изследването на ансамбли от поглъщащи гама-кванти резонансни ядра, разпределени не само в кристални структури, но дори и в аморфни твърди тела. Това обуславя редица предимства на метода в сравнение с дифракционните спектроскопски методи (рентгенови, електронни и неутронни), особено при изследването на първоначалните състояния на атомна подредба, формирането на дисперсни фази във веществата, както и за характеризирането на наноматериали. При изследване на наноструктури например в много случаи зоните на кохерентно разсейване са изключително тесни (от порядъка на 6 – 10 nm) и дифракционна картина не се формира. Поради липсата на измерими дифракционни ефекти Мьосбауеровите методи имат предимство при изследването на атомната и магнитната структура на материали и сплави със сходни разсейващи свойства на компонентите и различна концентрация на съставките с оси на симетрия от втори и по-висок порядък, както и при солвати и хидрати (разредени твърди вещества).

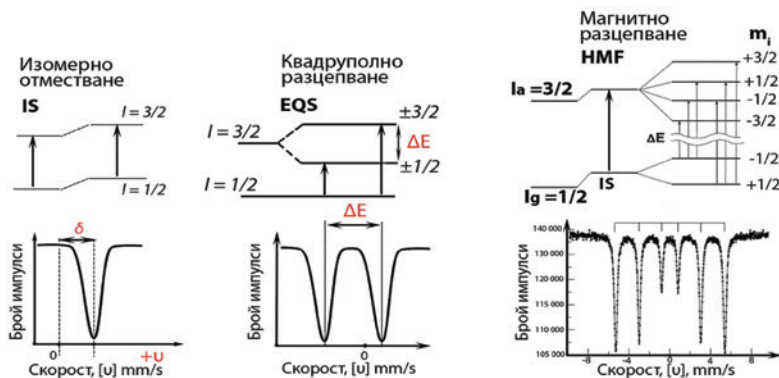
Отличителна черта на ефекта на Мьосбауер е неговата висока прецизност, използвана през 1960 г. от Р. Паул и Г. Ребка за доказване наличието на гравитационно „червено отместване“. Това отместване се изразява в промяна на

енергията на фотоните при движението им в гравитационното поле на Земята. Въпреки слабия ефект от действието на гравитацията върху гама-квантите експериментът е успешно проведен, като източникът на лъчение е избран да се движи равномерно относно детектор и е поставен няколко метра по-високо (22,5 m) от него. Отчитайки Доплеровото отместване, изследователите измерват разликата в скоростта между източника и детектора, като тази разлика компенсира промяната в честотата на излъчените гама-кванти ($E = hv$), вследствие на гравитационното привличане. Този експеримент се смята за един от първите експериментални тестове за валидността на Общата теория на относителността на А. Айнщайн и в днешно време резултатите от него намират приложение в изследването на Космоса и при определяне на прецизните данни, получавани от т.нар. *Global Positioning system* (GPS). Значението на ефекта на Мьосбауер и възможностите за практически приложения се разкриват напълно при създаването и развитието на Мьосбауеровата спектроскопия. Интерпретацията на стойностите, получени от свръхфините параметри на Мьосбауеровите спектри, позволява изучаването в дълбочина на ефектите от взаимодействията между ядрата и обкръжаващите ги електрони и е свързващо звено между ядрената физика и физиката на твърдото тяло.

Мьосбауеровия спектър дава качествена информация за площта, височината, експерименталната ширина, формата и положението на Мьосбауеровата спектрална линия, а при наличие на „свръхфино“ взаимодействие се появява т.нар. „свръхфина структура“, свързана с влиянието на електроните върху енергиите на ядрените състояния. Това влияние се изразява в изменението на следните ядрени параметри: промяна на електронната плътност, която оказва въздействие върху върху ядрата и се определя с т.нар. „изомерно отместване“ (IS – *isomer shift*), изменение на градиента на електричното поле, свързан с незначителна промяна на формата на ядрата в дадено направление (EQS – *electric quadrupole splitting*), както и поява на допълнителни енергетични нива в ядрото вследствие на взаимодействието между диполния магнитен момент на самото ядро и общото магнитно поле, породено от атомните електрони (HMFS – *hyperfine magnetic field splitting*) (Фигура 1).

Изомерното отместване е пропорционално на електронната плътност на ядрата и причината за неговата поява е това, че някои от вълновите функции на s електроните и някои p електрони, които присъстват в ядрата, и радиусите на самите ядра в основно и възбудено състояние при поглъщане и излъчване на гама-квант, се различават по стойност. Електроните взаимодействат с протоните (с голяма вероятност) от ядрото и променят неговите енергетични състояния. Например за изотопа ^{57}Fe ефективният радиус на първото ядрено възбудено състояние е по-малък от радиуса на основното състояние, докато при ^{119}Sn се

наблюдава обратното: радиусът на основното състояние е по-малък по стойност от радиуса на ядрото във възбудено състояние. Разликата в енергиите на ядрата в основно и възбудено състояние при наличието на постоянна електронна плътност около тях се нарича ядрено „изомерно“ отместване по енергии. Наименованието „изомерно“ се дължи на факта, че възбуденото ядрено състояние може да се разглежда като изомер.



Фигура 1. Изомерно отместване (IS), квадруполно разцепване (EQS – electric quadrupole splitting) и магнитно свръхфино разцепване на ядрените нива (HMF – hyperfine magnetic field splitting), съответстващи на Мьосбауеров спектър

От съществено значение в Мьосбауеровата спектроскопия е фактът, че Мьосбауеровият спектър не позволява да се определи абсолютната енергия на гама-прехода, а само дава възможност да се сравнят с много висока степен на точност стойностите на енергиите на гама-прехода в източника и поглътителя. Затова експериментално измереното значение на изомерното отместване за анализираното вещество (поглътител) винаги зависи от използвания източник. Това означава, че давайки големина на изомерното отместване за всяко съединение, трябва винаги да се уточнява използваният източник при снемане на този спектър и да се даде еталонен спектър, спрямо който е снет спектър с изомерно отместване.

Докато изомерното отместване се разглежда като спектрално проявление на т.нар. „електрично монополно взаимодействие“ и се отнася за ядра, които се характеризират със сферична форма, квадруполното взаимодействие се проявява само при ядра, притежаващи форма, различна от сферичната. То представлява взаимодействие между квадруполния момент на ядрото и градиента на електричното поле (EFG) в мястото на ядрото и се изразява в разцепване на ядрените нива или тяхното отместване, когато е комбинирано с магнитно взаимодействие (Фигура 1).

За ядрата на едни от най-често използваните Мьосбауерови изотопи ^{57}Fe и ^{119}Sn , квадруполното разцепване, произтичащо в нееднородно електростатично поле, има проста форма. Основното състояние на ядрото със спин $1/2$ остава непроменено, докато първото възбудено състояние със спин $3/2$ се разцепва на две поднива с проекции $\pm 1/2$ и $\pm 3/2$ (Фигура 1), разделени от енергетична ос, наречена енергия на квадруполното отместване. Мьосбауеровият спектър в този случай представлява спектър, състоящ се от две резонансни линии, съответстващи на основното $\pm 1/2$ и на първото възбудено състояние $\pm 3/2$. На базата на това взаимодействие се получава информация за разпределението на електричния заряд около ядрата и се правят изводи за промени в локалните атомни обкръжения, строежа и симетрията на определени молекули. В повечето случаи стойностите на квадруполното разцепване са сравними с тези на изомерното отместване, което налага интерпретацията му да се извършва в комбинация с IS и HMFS.

Ядрените състояния притежават спин и асоцииран с него магнитен диполен момент. Спиновете могат да се ориентират в различни направления около магнитното поле. Следователно енергиите на ядрените преходи се модифицират, когато ядрата се намират в магнитно поле. Смущенията в енергиите, предизвикани от магнитното диполно взаимодействие, са познати и като „ядрен ефект на Зеeman“, по аналогия с разцепването на енергетичните нива на атомните електрони при прилагане на външно магнитно поле върху атомите. На ядрения спин съответства пропорционален магнитен момент и взаимодействието му с магнитното поле води до появата на $(2I + 1)$ енергетични поднива в ядрената система. Като пример може да се посочи ядрото на ^{57}Fe (метално желязо), на което действа магнитното поле. Възбуденото ниво, което има спин $3/2$, се разцепва на 4 поднива, а основното ниво, което има спин $1/2$, се разцепва на две поднива [1]. Шестте компоненти на Мьосбауеровия спектър съответстват на шестте прехода между поднивата и представляват секстет, показан на Фигура 1. Отнасянето на пиковите към конкретен гама-преход позволява определяне на разстоянието (изразено в енергетични единици) между различните компоненти на секстета. Магнитното поле, действащо на Мьосбауеровото ядро, може да бъде външно и вътрешно. Първопричината за възникването на вътрешно магнитно поле, водещо до Зеemanово разцепване в Мьосбауеровия спектър на ^{57}Fe , е наличието на некомпенсиран магнитен момент в $3d$ -електроните от електронната обвивка. Този магнитен момент оказва влияние и променя пространственото разпределение на електроните, намиращи се на s -орбиталите. Магнитното разцепване започва да се проявява при температури, малко по-ниски от температурите на магнитната подреденост, наричани температура на Кюри (T_C) при феро- и феримагнетичите, и температура на Неел (T_N) при

антиферромагнетиците. В магнитоподредената област понижението на температурата води до нарастване на намагнитеността на подрешетките и съответно до нарастване на величината на свръхфиното поле.

Докато стойностите на изомерното отместване и квадруполното разцепване са малки, тези на свръхфиното разцепване на ядрата са големи, отчетливи и се характеризират с недвусмислени пикове в Мьосбауеровите спектри. Промяната на магнитните моменти при различни условия позволява определянето на магнитни разпределения и фазови преходи по-лесно и точно, отколкото с рентгенов дифракционен метод. Свръхфиното разцепване на ядрата е Мьосбауеров параметър, свързан с многобройни приложения. Например чрез него е възможно да се определи изменението на спина при несдвоени атомни електрони. Наличието на свръхфини взаимодействия може да се установи и измери недвусмислено на базата на Мьосбауеровите спектри чрез използването на евтин, стандартен и непретенциозен по отношение на технически изисквания Мьосбауеров спектрометър.

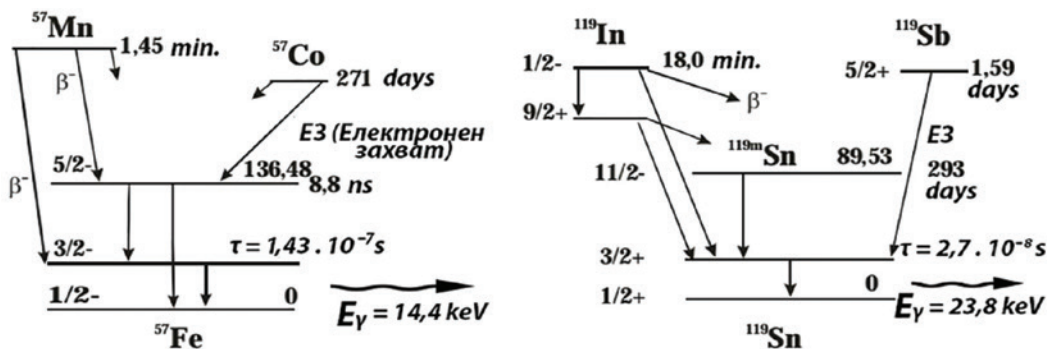
Същност на явлението ядрен гама-резонанс и ефект на Мьосбауер

Същността на ефекта на Мьосбауер се състои в резонансно, безоткатно излъчване и съответно, безоткатно поглъщане на гама-кванти от ядрата на радиоактивни атоми, намиращи се в свързано състояние, като обикновено това е твърдо тяло, съдържащо кристална решетка. Концентрацията на Мьосбауерови активни атоми в даден материал, достатъчна за получаването на спектър, съдържащ необходимото количество информация, е много ниска, от порядъка на $10^{14} \div 10^{16}$ атома/ cm^3 , което позволява изучаването дори на аморфни материали и разредени системи от атоми. Същевременно чувствителността на метода относно детектирането на ядрените гама-преходи е изключително висока и варира обикновено в интервала от 10^{-8} eV до 10^{-6} eV за различните Мьосбауерови изотопи, като в случая на ядрен гама-преход и определянето на свръхфините взаимодействия в изотопа ^{57}Fe достига до 10^{-9} eV. След установяването на факта, че ядрата на изотопа ^{57}Fe са най-подходящи за детектиране на ядрен гама-резонанс, Мьосбауеровата спектроскопия, основана на ^{57}Fe , се утвърждава като метод за изследване в почти всяка една област на науката. За последните четири десетилетия са публикувани около 14 000 научни статии на година, свързани с резултати от Мьосбауерови изследвания [2]. Към днешна дата Мьосбауеров ефект е наблюдаван в повече от 100 гама ядрени прехода, разпределени в около 80 изотопа, принадлежащи на над 43 химични елемента [3]. Някои от химичните елементи притежават няколко изотопа, подходящи за изследвания, като рекордът се държи от Gd, които се характеризира с осем гама-прехода, разпределени в 6 Мьосбауерови изотопа.

Характерни химични елементи, в които се наблюдава ядрен гама-резонанс, но по-рядко се използват за провеждане на експерименти, са следните: K, Kr, U, Pu, Am, Xe, W, Ba, La, Hf, Os, Pt, Hg, Sm, Pr и др. Не всички възможни ядрени преходи обаче са подходящи за практически цели и изследванията, свързани с тях, са трудно осъществими. Рядко използвани химични елементи, в които е открит Мьосбауеров ефект, използвани единствено за определяне на ядрени параметри, са: Ba, Re, Th, Tb, Tc, Lu, Hg, Pm и No. Освен това липсват леки химични елементи, в които е възможно да се наблюдава Мьосбауеров преход. Причината за това се дължи на ядрената структура, която не позволява формирането на нискоенергетични състояния в леките ядра, непосредствено над основното ниво. Разбирането ни за взаимодействията, протичащи на атомно и ядрено ниво, биха били много по-задълбочени, ако бе възможно осъществяването на ядрен гама-резонанс например в химичните елементи кислород или въглерод. Въпреки това Мьосбауеров преход е наличен в изотопа ^{57}Fe , който представлява 2,14% от естественото желязо, което е четвъртият най-разпространен елемент в земната кора и приложенията, свързани с него, са огромни. В Мьосбауеровата спектроскопия широко се използват за анализ около 18 химични елемента. Най-често използваните химични елементи, в които се наблюдава ядрена гама-флуоресценция, подредени в зависимост от нарастващите брой приложения, са: Fe, Sn, Ni, Eu, Sb, Au, Te, I, Gd, Np, Dy, Ir, Yb, Ru, Zn, Er, Cs, и Tm. Гама-квантите с най-висока енергия ($E = 186,9 \text{ keV}$), използвани в Мьосбауеровия експеримент, принадлежат на линията на изотопа ^{190}Os . Едни от често използваните изотопи и ядрени преходи за Мьосбауеров анализ, освен $^{57}\text{Co} \rightarrow ^{57}\text{Fe}$ включват $^{119\text{m}}\text{Sn} \rightarrow ^{119}\text{Sn}$, $^{67}\text{Cu} \rightarrow ^{67}\text{Zn}$, $^{61}\text{Co} \rightarrow ^{61}\text{Ni}$, $^{153}\text{Gd} \rightarrow ^{151}\text{Eu}$, $^{161}\text{Tb} \rightarrow ^{161}\text{Dy}$. Струва си да се отбележи, че голям брой от Мьосбауеровите гама-преходи (точният брой до момента е 45, или повече от 40% от всички съществуващи такива преходи), са наблюдавани в ядра на редкоземни елементи. Оказва се, че с изключение на Се във всички „редки земи“ съществуват подходящи преходи за ядрен гама-резонанс. Схемите на разпад на родителското ядро, както и условията за провеждане на експеримента за различните нуклиди, често се различават. Общото във всички случаи или същността на ефекта на Мьосбауер е наличието на ядреноизомерен преход, при който намиращото се в източника радиоактивно ядро, изпускащо гама-квант, преминава от възбудено в стабилно (основно) състояние. По определение, явлението „резонанс“ се свързва с рязко нарастване на амплитудата на принудените трептения, когато честотата на външна приложена сила приема близки стойности и в даден момент съвпада с честотата на собствените трептения на системата, върху която действа. Честотите, при които се осъществява резонанс, се наричат резонансни честоти. Резонансните явления са характерни за всички вълнови и вибрационни процеси,

в т.ч. и процеси в атомната и ядрената физика, при които се отчитат вълновите свойства на частиците и свързаните с тях явления.

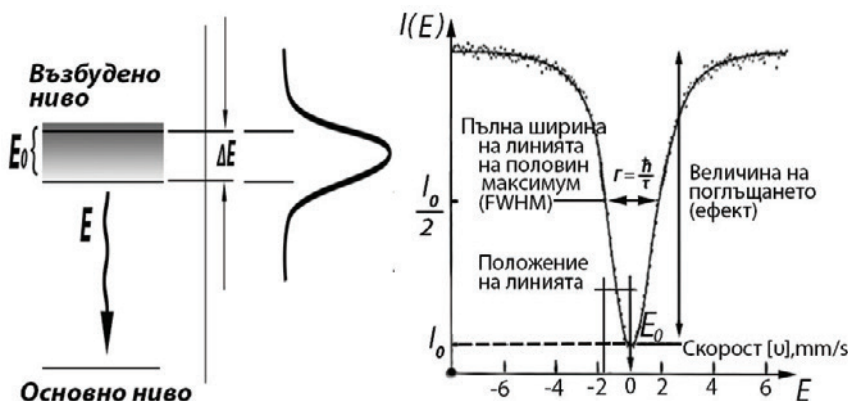
По аналогия на енергетичните атомни нива ядрата също се характеризират с дискретни енергетични нива, но наблюдаването на явлението „резонансна флуоресценция“ в ядрата до момента на откритието на Мьосбауер се е считало за трудно осъществимо и дори невъзможно, поради краткия период на полуразпад на ядрените нива, многократно по-високата енергия на гама-квантите в сравнение с тази на оптичните фотони, разглеждането единствено на кинематиката на гама кванти, излъчвани от свободни атоми, несравнимо по тясната ширина на т.нар. „гама линия“ при ядрените състояния и редица трудности от експериментален характер. Въпреки това явлението „ядрен гама-резонанс“ е предсказано теоретично от В. Кун, Р. Дике и по-късно В. Лемб през 1939 г., като заслугата на Р. Мьосбауер е, че е успял да го осъществи експериментално. За илюстрация на казаното по-горе, нека да разгледаме например ядрения изомер $^{119\text{m}}\text{Sn}$, притежаващ възбудено състояние със спин $I_e = 3/2$, което съществува за много кратък период от време ($\tau = 2,7 \cdot 10^{-8} \text{ s}$) (Фигура 2).



Фигура 2. Схеми на разпад на ^{57}Co и ^{119}Sn нуклиди, водещи до излъчването на гама-кванти от Мьосбауеровите изотопи ^{57}Fe ($E_\gamma = 14,41 \text{ keV}$) и ^{119}Sn ($E_\gamma = 23,88 \text{ keV}$)

Според съотношението за неопределеност на Хайзенберг: $\Delta E \Delta t \geq h/4\pi$, където ΔE е неопределеността в енергията, а Δt е неопределеността по отношение на времето, в даден времеви интервал не е възможно да се измери точно стойността на енергията, т.е винаги ще съществува известна неопределеност при измерване на ΔE (Фигура 3). Всеки опит да измерим енергията с по-висока степен на точност (или да направим интервала ΔE по-малък), води до увеличаване на Δt . Този времеви интервал всъщност е сумата от времената на живот на определени възбудени ядрени състояния, което от своя страна, води до появата на неопределеност в енергията на излъчените гама-кванти. Тази неопределеност се изразява чрез статистическо (най-често Лоренцово) разпределение

и се нарича ширина на ядреното възбудено състояние или естествена ширина. Обозначава се обикновено с „ Γ “ и се приема, че Γ не може да бъде равна на нула. Общата Γ се измерва с пълната ширина на половината максимум (Фигура 3) на пика на спектралната линия за даден Мьосбауеров изотоп, имайки предвид дебелината на поглътителя и калибрирайки ширината на линията към поглътител с нулева дебелина.



Фигура.3 Неопределеност и основни параметри на Мьосбауеровата линия

Неопределеността във времето се проявява в това, че намиращият се във възбудено състояние изотоп може да бъде характеризиран със средно време на живот τ . Съотношението за неопределеност може да се запише, като: $\Gamma\tau = \hbar$, където $\hbar$ е константата на Планк $\hbar = h/2\pi$.

Периодът на полуразпад на изотопа ^{119m}Sn е: $T_{1/2} = 1,85 \cdot 10^{-8}$ s. След като използваме зависимостта между τ и периода на полуразпад $T_{1/2}$, получаваме съотношението:

$$\Gamma = \frac{(\ln 2)\hbar}{T_{1/2}} = \frac{0,693\hbar}{T_{1/2}} = 2,47 \cdot 10^{-8} \text{ eV}$$

В случая на ^{119m}Sn може да се твърди, че ширината на разпределение на гама-квантите е: $2,47 \cdot 10^{-8}$ eV. Тази стойност, сравнена с енергията на гама-квантите на ^{119m}Sn , $E = 23,88$ keV, показва, че разпределението по енергии има толкова пренебрежимо малка стойност, че много трудно може да се наблюдава експериментално. Получената оценка за величината Γ дава представа за изключително високите изисквания към ядрата, подходящи за резонансно поглъщане. При преход на ядрото от основно състояние със спин $I_g = 1/2$, в първо възбудено, със спин $I_e = 3/2$, енергията за прехода е необходимо да бъде предадена с точност до стойност Γ . Поради тази причина се е смятало, че ядреният гама-резонанс е невъзможно да бъде наблюдаван. Колкото по-кратко е времето на живот на

възбуденото ядрено състояние, толкова по-широка е наблюдаемата ширина на Γ линията. Първото възбудено състояние на ^{57}Fe например се характеризира със средно време на живот $\tau = T_{1/2}/\ln 2 = 1,43 \cdot 10^{-7} \text{ s}$ и естествената ширина на линията Γ , изчислена спрямо времето на живот на възбуденото състояние, има стойност $\Gamma = 4,6 \cdot 10^{-9} \text{ eV}$ [4].

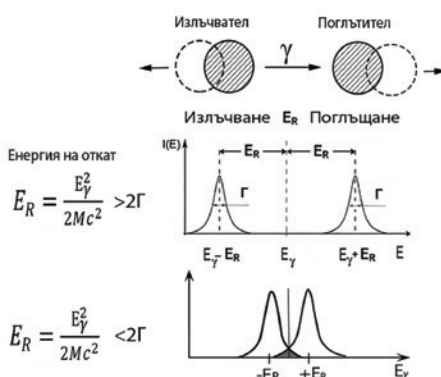
При експерименти с ^{57}Fe , имайки предвид ширините на линиите на източника и поглътителя, минималната ширина на линията, която може да се наблюдава, е равна на удвоената нейна естествена ширина или $9 \cdot 10^{-9} \text{ eV}$. Енергията на гама-квантите, излъчени от ядрото на изотопа ^{57}Fe при преход от първо възбудено към основно състояние, е равна на $1,44 \cdot 10^4 \text{ eV}$.

При разглеждането на свободно ядро, незначителна част от енергията при излъчването на гама-кванта, остава в ядрото във вид на енергия на откат (E_R), което води до увеличаване на неговата кинетична енергия. Енергията на откат E_R се определя от съотношението:

$$E_R = \frac{E_\gamma^2}{2Mc^2},$$

където E_γ е енергията на гама кванта, M е масата на ядрото, c – скоростта на светлината. Замествайки стойностите, отговарящи на γ -преход в ^{119}Sn в горното уравнение, получаваме, че $E_R \sim 10^{-3} \text{ eV}$. Вижда се, че загубата на енергия на гама-квантите за сметка на откатната енергия е около 100 000 пъти по-голяма от ширината на линията Γ ($2,47 \cdot 10^{-8} \text{ eV}$). Това означава, че линиите на излъчване и поглъщане ще бъдат отместени една спрямо друга на разстояние два пъти откатната енергия ($2E_R$), което изключва възможността за припокриването им поради малката им ширина и следователно изключва възможността за осъществяване на резонансно поглъщане на гама-кванти (Фигура 4).

Естествената ширина на линията, определена от съотношението за неопределеност, се разширява допълнително вследствие на Доплеров ефект, който се получава в резултат на топлинното движение на атомите на източника и поглътителя. Ако се приеме, че скоростите на ядрата в източника и поглътителя се характеризират чрез разпределение на Максвел, Доплеровото разширение, както и линиите на излъчване и поглъщане, могат да се представят с израза: $D = 2\sqrt{\epsilon E_R}$, или да се определят от две енер-



Фигура.4 Енергия на откат при свободни (несвързани в кристална решетка) атомни ядра

гетични разпределения с ширина D , центрирани съответно при $E_\gamma - E_R$ и $E_\gamma + E_R$, където $\bar{e}$ е средната стойност на кинетичната енергия на ядрото – източник или поглътител. Съотношението между трите фактора: откатна енергия E_R , естествената ширина на гама линията и Доплеровото разширение, определя вероятността за осъществяване на ядренорезонансен процес. Във видимия и близкия до него ултравиолетов регион от спектъра откатът (E_R), както и Доплеровото отместване (D), са много малки, което предполага значително прекриване на резонансните линии на източника и поглътителя, което всъщност води до появата на оптичен резонанс. При Мьосбауеровата спектроскопия енергията на гама-лъчението ($E_0 \approx 10 \div 100 \text{ keV}$) е много по-висока от типичните енергии на оптичните кванти ($1 \div 10 \text{ eV}$). Следователно за кванти с висока енергия, участващи в ядрените преходи, стойността на E_R е много по-висока, т.е. откатът е по-голям в сравнение с оптичните кванти, откъдето следва че вероятността за припокриването на двете резонансни линии е пренебрежима и резонансно разсейване е слабо вероятно.

При изследване на резонансното поглъщане на гама-кванти, изпускани от първото възбудено състояние на ^{191}Ir в иридиево фолио, Мьосбауер открива, че при понижение на температурата резонансното поглъщане се увеличава, вместо да намалява.

Следователно линиите на излъчване и поглъщане се припокриват напълно при намаляване на температурата, вместо при увеличаването ѝ. По-нататъшното задълбочено изследване на резонансното поглъщане показало, че това увеличение се дължи на наличието на кристална решетка, в която са разположени атомите [5]. Енергията на откат на ядрото при излъчване на гама-кванти се оказва много по-малка от енергията на връзката на кристалната решетка, която се намира в границите $10 \div 30 \text{ eV}$. Когато енергията на откат е по-малка от максималната енергия на трептенията на кристалната решетка, т.е. на фононите (кванти на топлинните колебания в кристалната решетка), възниква предпоставка за наличието на резонансно поглъщане и съществува вероятност за излъчване на безфононна гама-компонента. В този случай цялата енергия на гама-прехода се поема от гама-кванта и той е способен да възбуди резонансно съответното ядро в поглътителя. В реално твърдо тяло атомните ядра, при температури (над абсолютната нула), извършват топлинно движение спрямо равновесното положение, в което се намират. Затова твърдото тяло е прието да се разглежда като съвкупност от здраво закрепени осцилатори, като енергията на колебателното движение на всеки осцилатор, може да се представи във вида:

$$E = \hbar\omega (n + 1/2),$$

където $\hbar = h/2\pi$, е честотата на колебанията, $n = 0, 1, 2, \dots$

Увеличаването и съответно намаляването на n с единица се разглежда като изчезване (появяване) на фонон (квант на топлинното трептене на кристалната решетка). Освен това, наред с безоткатното излъчване (поглъщане) на гама-кванти, в твърдото тяло се излъчват и гама-кванти с енергия, различна от енергията на изомерния преход: $\pm\hbar\omega$, $\pm 2\hbar\omega$ и т.н. Колкото по-висока е температурата на телата, толкова повече е количеството на фононите в него и може да се твърди, че с увеличаване на температурата броят на безоткатните гама-кванти намалява. Вероятността ($f = \exp [-(E_\gamma/\hbar c)^2] \langle u^2 \rangle$) за излъчване и поглъщане на гама-кванти без откат се нарича коефициент (фактор) на Лемб-Мьосбауер [4]. В горния израз E_γ е енергията на резонансните гама-кванти, а $\langle u^2 \rangle$ е средното квадратично отклонение на атома вследствие на вибрациите на кристалната решетка. Това отклонение зависи от здравината на атомните връзки в кристалната структура и обикновено се отъждествява с температурата на Дебай (Θ). Този коефициент намалява при намаляване на температурата, винаги е по-малък от единица и поради факта, че принципите на квантовата механика забраняват $\langle u^2 \rangle = 0$, при $T \rightarrow 0$, $\langle u^2 \rangle$ достига константна стойност при много ниски температури. Следователно, колкото по-висока е температурата, толкова по-малка е стойността на фактора на Лемб-Мьосбауер. Важно е да се отбележи, че (f) е еквивалентен на фактора на Дебай-Велер, свързан с рентгеновото Брегово разсейване от периодична кристална решетка [3]. Теорията, описваща вероятността за еластично разсейване на рентгенови лъчи от кристалната решетка, е разработена много преди откритието на Мьосбауер от Дебай и Велер и се намира в пълно съответствие с квантово-механичната теория, обясняваща ефекта на Мьосбауер. Прието е за обозначаване на безоткатното излъчване от източника да се използва f_s , а за поглъщателя – f_a . При наличие на ядрен гама-резонанс, от общия брой излъчени гама-кванти без откат (f_s) само малка част (f_a) ще предизвикат при поглъщане в свързани атомни ядра преход от основно във възбудено състояние. Увеличението на енергията на гама-квантите води до бързо нарастване на енергията на откат ($E_R \sim E_\gamma^2$) и съответно до намаляване на f -фактора в по-голяма степен, отколкото измененията на масата на резонансното ядро ($E_R \sim 1/M$). Важен ефект, който е възможно да бъде отчетен чрез Мьосбауерова спектроскопия при повишаване на температурата на кристалната решетка, е свързан с измерване на промяната на скоростта на т.нар. център на масата на дадено ядро и е познат като „ефект на Доплер от втори порядък“ (SOD). Този ефект се изразява в това, че когато ядрото излъчва гама-квант и съответно губи енергия, неговата маса намалява с минимална стойност. В този случай фононната енергия в кристалната решетка слабо се увеличава със стойност, пропорционална на загубата на маса. Ефектът се изразява в увеличаването на фононната енергия, което води до намаляване

на енергията на гама-квантите, излъчвани от образца. Стойността на SOD може да се определи от разликите в Дебаевите температури на източника и поглътителя.

продължава в следващия брой

Цитирана литература:

- [1] A. Maddock, Mössbauer Spectroscopy: Principles and Applications, Elsevier Science, (1997), ISBN: 9781782420606
- [2] V. Sharma et al., Mössbauer Spectroscopy, John Wiley & Sons, Inc., (2013), DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118714614>
- [3] P.Gütlich et al., Mössbauer Spectroscopy and Transition Metal Chemistry, Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2011), DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-88428-6>
- [4] G. Wertheim, Mössbauer Effect, Principles and Applications, Academic Press, New York, 1964
- [5] Т. Русков, Ефект на Мьосбауер, Наука и изкуство, София, (1975).

POSSIBILITIES OF THE PHYSICAL METHOD OF RESEARCH BASED ON THE PHYSICAL EFFECT NUCLEAR GAMMA RESONANCE AND APPLICATIONS OF MÖSSBAUER SPECTROSCOPY

Petko B. Krastev

The purpose of the paper is to provide brief information about the Mössbauer effect, as well as Mössbauer spectroscopy, while introducing readers to the possibilities and applications to one of the most powerful methods for studying the structure of matter.



ПОСЕТЕТЕ НАШИЯ САЙТ
wop.phys.uni-sofia.bg

МЛАДЕЖКА НАУЧНА СЕСИЯ

за ученици и студенти на тема:

„ФИЗИКА, ОКОЛНА СРЕДА И КЛИМАТИЧНИ ПРОМЕНИ“

ще се проведе на 3 юни 2022 г.

по време на 50-ата Юбилейна национална конференция

по въпросите на обучението по физика на тема:

„Климатичните промени и образованието по физика“

(2 – 5 юни 2022 г., град Варна)

Младежката сесия ще се проведе в хибриден вариант – според желанието и възможностите на участниците:

- присъствено – в зала в град Варна при спазване на противоепидемичните мерки;
- в онлайн режим – чрез платформа, информация за която ще бъде изпратена допълнително и ще бъде качена на интернет страницата на конференцията: <http://upb.phys.uni-sofia.bg/conference/NK/50NK.html>.

Участниците в сесията могат да представят компютърни презентации, интернет страници, идеи за компютърна анимация, разработки на демонстрации с разработени теми по избор по темата на Младежката сесия, включително физични явления в атмосферата, елементи на климата, физични методи и апаратури за изследване на климатичните промени, причини за климатичните промени, последици от тях и влиянието им върху околната среда и др. Също така може да се представи дейността на български учени и постиженията им в изследването на климатичните промени и опазването на околната среда. В разработките да се посочват източниците на използваната информация (книги, сайтове, публикации и т.н.).

Младежката научна сесия се провежда традиционно със съдействието на фондация „Еврика“.

Одобрени от журито проекти ще бъдат представени във вид на изготвени от участниците видеоклипове в Европейската нощ на учените 2022, а авторите на проектите и научните ръководители ще получат грамоти за участието си.

Всички училища, които имат участници с проекти в Младежката научна сесия, ще получат безплатен абонамент за сп. „Светът на физиката“ за 2022 г., а участниците в Младежката научна сесия и техните ръководители – сертификати за участие. Училища, от които има отличени проекти с I, II и III награда, ще получат плакети, а авторите на отличените проекти с I, II, III - и поощрителни награди – грамоти.

Заявките за участие в Младежката научна сесия се подават чрез попълване на регистрационна форма: <https://forms.gle/L9X38ymDmeCr8jGW8>.

Краен срок за получаване на заявките – 30.05.2022 г.

ИНВИТРО МЕТОДИ ЗА ОЦЕНКА НА ТОКСИЧНИЯ ПОТЕНЦИАЛ НА НАНОЧАСТИЦИТЕ

Деница Алуани

През последните няколко десетилетия се наблюдава значителен изследователски интерес в областта на доставянето на лекарства, използвайки наночастици като лекарстводоставящи системи. Тези системи са използвани като физичен подход за промяна и подобряване на фармакокинетичните и фармакодинамичните свойства на различни видове лекарствени молекули. Свърхмалките размери на наносистемите обаче могат да дадат възможност на частиците да взаимодействат с различни клетки, тъкани и биологични бариери в тялото и да предизвикат неочаквана токсичност. В този контекст е важно да се оцени безопасността на наночастиците, за да се постигне биосъвместимост и желана активност. Въпреки това, на този етап не е оправдано да се правят абсолютни заключения относно безопасността на наночастиците, тъй като областта на наномедицината включва множество различни видове наночастици, синтезирани от различни материали. Ключови думи: наночастици, инвитро методи

Инвитро моделните системи могат да предоставят полезна информация относно токсичността и стабилността на наноматериалите, индуцирането на свободни радикали от наночастиците и евентуална активация на процесите на хуморална регулация. Клетъчните инвитро системи могат да включват култивирани клетъчни линии и/или изолирани първични клетки, получени в монокултури или съкултури. Инвитро системи с по-високо ниво на организация, като органни култури и сърдечни/белодробни препарати, имат потенциално приложение за проучване на ефектите на наночастиците и тяхната транслокация.

Тестове за цитотоксичност

Независимо от избрания модел, както първичните изолирани клетъчни култури, така и клетъчните линии са чувствителни към промени в средата за култивиране (например температура и промяна на рН, концентрация на хранителни вещества и отпадни продукти). Поради това е важно да се контролират условията на клетъчно култивиране, за да се гарантира, че наблюдаваната цитотоксичност след третиране на клетките с наночастици се дължи на ефекти на наноматериалите, а не на неблагоприятните или променени условия на култивиране [1].

Тестовите за цитотоксичност могат да бъдат класифицирани въз основа на експерименталните подходи за отчитане на клетъчна смърт: (а) чрез визуализация на клетъчни морфологични изменения, използвайки напр. **фазова контрастна микроскопия** или (б) чрез **колориметричен** или **флуориметричен** анализ. Вторият тип методи от своя страна могат да бъдат категоризирани най-общо в анализи, които оценяват целостта на клетъчната мембрана или такива, базирани на промени в клетъчния метаболизъм, напр. на митохондриалната функция [2]. Друга група тестове за цитотоксичност (в) прилагат **поточната цитометрия**, която често се използва за определяне на специфични механизми на клетъчна смърт, т.е. за оценка на некроза и апоптоза. Като противоположен изразител на клетъчната смъртност, **степената на пролиферация** (г) може да се използва както като мярка за клетъчната жизненост, така и за цитотоксичност на дадено вещество. Като комплементарен подход, цитотоксичният потенциал на наноматериалите може да бъде оценен и чрез способността им да предизвикват увреждане на бариерната функция на епителните клетки.

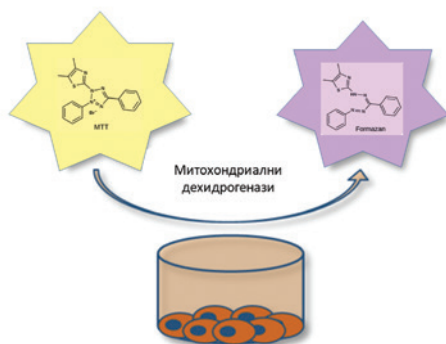
Визуализация на клетъчни морфологични изменения

Фазово-контрастната микроскопия е оптична техника за повишаване на контраста, описана за първи път от *Frits Zernike* през 1934 г. и революционизирала сферата на биологията и медицината. Тя се базира на манипулиране на фазовите промени и амплитудите на светлинните вълни по такъв начин, че да се повиши контрастът на наблюдавания обект и той да стане по-ясен, по-наситен и по-открит от останалите такива в същата равнина. Нормално, при пропускане на светлина през дадена структура, вълните променят своята амплитуда и фаза в зависимост от пътя, който трябва да изминат и плътността на преградите, през които преминават. Ако това твърдение се илюстрира с клетка под обектива, то светлината може да се раздели на два вида – такава, която преминава през клетката и органелите ѝ, и чийто фронт се забавя, и такава, която я заобикаля (*object light u background light*) (Фигура 1). Т.нар. *object light* претърпява фазова промяна около 90° при срещата си с биологични проби и това позволява те да бъдат визуализирани. Тъй като в една клетка единствено ядрото и цитоплазмената мембрана са по-плътни, при наблюдение с обикновен микроскоп най-често тя изглежда светла, почти прозрачна, обградена от по-тъмна ивица. Целта на фазово-контрастната микроскопия е да се конструира микроскоп с подходящите лещи, обектив, затвор и пръстени за промяна на фазите, в който в крайна сметка двата типа светлина да претърпяват деструктивна интерференция до 180° , а контрастът между обекта и заобикалящата го среда да е най-голям. Микроскопът на *Zernike* променя фундаментално количеството и вида на информацията, която може да се получи за живи обекти като клетъчни линии и микроорганизми, за

субклетъчни нива на организация, за тъканни срезове и др. Особено щом става въпрос за нанотоксикология, той е първият инструмент, към който се прибегва за оценка на ефекта от прилагането на дадена субстанция. Един внимателен оглед на клетъчната популация може да даде отговор за това запазена ли е виталността (като се сравни видът с контрола), налице ли са междуклетъчните връзки, има ли апоптоза или некроза сред клетките, до каква степен те са

пролиферирали. Ето защо, на всяка стъпка от експеримента, първата задача на токсикологичното изследване е **визуалната оценка на клетъчната жизненост и морфология с помощта на фазово-контрастна микроскопия**.

Използването, обаче, единствено на визуализиращи техники за определяне



Фигура 1. Фазова контрастна микроскопия на *Rat1* клетки

на цитотоксичността на наноматериалите в по-голяма част от случаите не е достатъчна. Препоръчва се прилагането на тези методи като допълнителен инструмент за потвърждение на други тестове за цитотоксичност (описани по-надолу).

Колориметричен или флуориметричен анализ

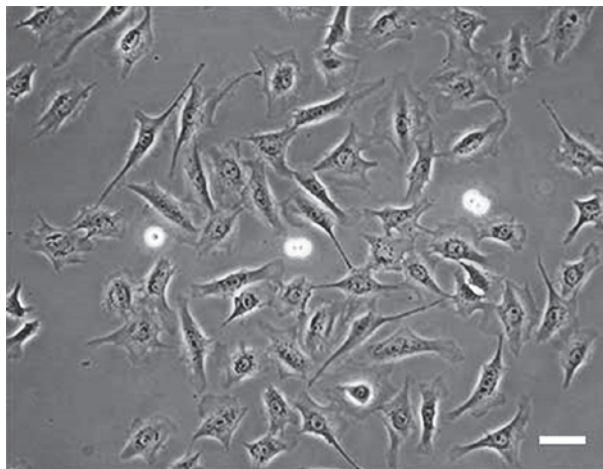
Тестове за оценка на нарушение в целостта на плазмената мембрана

Третирането на клетките с наночастици може да доведе до нарушаване на целостта на клетъчната мембрана и изтичане на клетъчното съдържимо. На промени в мембранната функция са базирани следните широко разпространени тестове за оценка на клетъчната жизненост: **абсорбция на неутрално червено (NRU)**, **трипан блу тест (TB)** и **тест за отделена лактат дехидрогеназа (LDH, цитозолни ензими)** [3-5]. Принципът на теста NRU се основава на натрупването на катионното багрило в лизозомите на клетките след преминаването му през плазмените мембрани чрез дифузия. То зависи от способността на клетката да поддържа градиент на киселинността между цитозола и лизозомите, тъй като, при киселото рН на лизозомите, съединението придобива изразен положителен заряд и не може да премине обратно в цитозола. Спектрофотометрични измервания на експозицията на клетките с неутрално червено позволяват да се отчита разлика между живи и мъртви клетки, като багрилото може да излезе

от клетката в случай на нейното увреждане. За разлика от този метод, при теста трипан блу, багрилото трипаново синьо навлиза само в клетките, чиито клетъчни мембрани са с нарушена структура: мъртвите клетки са оцветени в синьо, докато живите клетки остават неоцветени. Количеството мъртви клетки обикновено се определя чрез светлинна микроскопия. Цитозолният ензим LDH се освобождава в супернатантата само от клетки с компрометирани плазмени мембрани. Клетъчната смърт се отчита спектрофотометрично и чрез количеството отделена LDH в клетъчната среда по няколко алтернативни метода. Един от тях включва прибавянето на ензима диафораза, който при наличие на LDH и лактат превръща жълтата тетразолова сол в червен формазан, чието оцветяване е пропорционално на количеството LDH в клетъчната среда.

Тестове за оценка на промени в клетъчната метаболитна активност

За количествено определяне на индуцираната клетъчна смърт се използват и други колориметрични/флуорометрични методи, базирани на липсата на метаболитна активност в мъртвите клетки, като например **MTT** [6-7], **MTS** [5, 8, 9] (Фигура 2) **WST-1** или **resazurin** [10]. Тетразолиевата сол може да се използва за оценка на активността на редукционния метаболизъм (мембранни и цитозолни редуктази разцепват тетразоловия пръстен). Тези ензими са действащи само във функциониращи митохондрии на жизнеспособни клетки. Следователно всички експериментални условия и субстанции (наночастици или разтворени вещества), които повлияват активността на редуктазите или реагират с тетразола до образуване на формазан, могат да доведат до несъответствие между отчетения и действителния брой жизнеспособни клетки.



Фигура. 2 Превръщане на МТТ солта в кристалното съединение формазан с участието на никотинамид динуклеотид

Поради доказан висок потенциал за такава интерференция на наночастиците в различни цитотоксични изследвания [11], е необходимо всяка инвитро тест система да бъде предварително оценена за всеки отделен тип наночастици.

Абсорбцията на светлината поради наличието на наночастици може да бъде коригирана чрез изследване на дисперсията на наночастиците без клетки

(изваждане на фона) [7], но това не винаги е точно, тъй като агломерацията и утаяването на наночастиците могат да бъдат различни в присъствието или отсъствието на клетки [10, 12].

За да се провери за потенциална интерференция на наночастиците, преди всеки анализ могат да се анализират следните контролни проби:

(а) наночастици, диспергирани в клетъчна среда (самостоятелно, без наличие на клетки);

(б) клетки, третирани с хранителна среда, съдържаща наночастици;

(в) нетретирани с наночастици клетки, към които впоследствие са добавени наночастици. Целта на добавената (в) стъпка в изпитването е да се провери дали поведението на наночастиците в средата за клетъчно култивиране се различава от тази в клетъчната среда с формазан (в случаите на тестове, на основа на тетразолиева сол като MTT и LDH).

(г) Последната стъпка е изследване, което се извършва с **центрофугирани** (ултра висока скорост) **супернатанти** от клетки, които са били експонирани на наночастици. По този начин се отстраняват и могат да бъдат отстранени потенциално образуваните агломерати от наночастици.

На базата на тези резултати (в зависимост от тежестта и вида на интерференцията), могат да бъдат изключени известни фактори (например най-високите концентрации на наночастиците) от някои тестове.

Оценка на клетъчна смърт – тестове за апоптоза и некроза

Тежестта на уврежданията, нанесени върху клетъчните органели, ензимни системи и функции, в много случаи е непреодолима и води до смърт – или чрез сигналната каскада на апоптозата, или чрез лизис на клетката със загуба на нейното съдържимо и некроза. Най-общо, некрозата е резултат от външно въздействие върху клетката, съпроводено с възпаление, набъбване, разкъсване на мембрани. Обратно, при апоптозата клетката се свива и се разпада на апоптични телца вследствие на каскадна реакция между сигнални белтъци [13].

Оценката на апоптозата и некрозата, т.е. програмирана и непрограмирана литична клетъчна смърт, често се използва като първи етап на оценка на токсичността на наночастиците. Апоптотичното/некротичното клетъчно съотношение обикновено се оценява чрез поточна цитометрия. След експозиция с наночастици, в клетки са наблюдавани едновременно както апоптоза, така и некроза [14]. За да се определи преобладаващия механизъм на цитотоксичност се извършва цитометрична оценка едновременно на двата вида клетъчна смърт. Установен в практиката метод е комбинирано оцветяване на клетките с маркиран с флуоресцеин Анексин V и пропидиев йодид [15].

Оценка на клетъчната пролиферация

Тестът за ефективност на формиране на колония (CFE) е подходящ при ранните фази на оценката на токсичността на наночастиците [16]. Методът е доказан като надежден, с възможност да бъде екстраполиран, и се съобщава, че е ефикасен за ранна/първа фаза на скриниране. CFE, в допълнение на тестовете за генотоксичност, е предложен и като първа стъпка в оценката на генотоксичността на химикалите.

Оценка на увреждането на епителната бариерна функция

Друг подход, който позволява избягване на интерференцията на наночастиците с другите тестове за цитотоксичност, са устройства, базирани на съпротивление. Те дават възможност немаркирани компоненти да бъдат използвани за оценка на адхерентни клетки и целостта на епителна/ендотелна клетъчна бариера. Съществуват няколко налични устройства, които отчитат съпротивление, позволяващи наблюдение в реално време на клетъчни промени (клетъчна жизненост, подвижност, адхезия) при излагане на наночастици по време на експеримент, без да е необходимо разрушаване на клетките за вземане на проби. Този метод е приложим за определен диапазон наночастици и типове клетки. Надеждността и ефективността му е сравнена с тези при конвенционалните методи за цитотоксичност, използвани за оценка на индуцирани клетъчни увреждания от наночастици [17]. Подобни подходи наскоро са препоръчани за първоначална оценка на токсичността на наночастици, особено за бариерни системи [17].

Оценка на оксидативния стрес

Оксидативният стрес играе основна роля в индуцираните от наночастиците токсични ефекти инвитро, тъй като е свързан с различни неблагоприятни последици като възпаление, увреждане на ДНК и цитотоксичност. Клетките генерират ROS, за да поддържат нормалния метаболизъм/хомеостаза, но свръхпроизводство им може да се намеси в различни пътища на сигнална трансдукция, могат да индуцират и клетъчна апоптоза. За отчитането на ROS в клетките често се използват флуоресцентни или нефлуоресцентни методи, чрез дихидротиедиум или дихлорофлуоресцеин (DCF) [4, 5]. От една страна, този подход позволява отчитане на ранните интрацелуларни ROS показатели при много по-ниски концентрации на наночастиците от тези, необходими при стандартните тестове за цитотоксичност, и от друга страна се отчита влиянието на някои видове наночастици (напр. на многостенни въглеродни нанотръби [18], наноматериали базирани на графен [19], кадмиев селенид, титанов диоксид [20], железен оксид [21] и злато [22]). По този начин може да се ограничи концентрационният

интервал на изследваните частици.

Необходим е алтернативен метод за отчитане на клетъчно генерирани ROS, индуцирани от наноматериали, като протеомика-базирания анализ, основаващ се на протеиново карбонизиране чрез измерване на оксидативния стрес [23]. Като допълнителен метод към този или преди тестове с клетки, се препоръчват методи за неклетъчно измерване и оценка на потенциала на наночастиците да генерират ROS в суспензионната среда. Такъв е ESR (*electron spin resonance*) метода, осъществяващ индиректна оценка на повърхностната активност [23]. ROS могат да бъдат открити и чрез редукция на цитохром C [24, 25] или FRAS анализ (*ferric-reducing ability of serum assay*) [26].

Проинфламаторни реакции

Протеиновите фактори като цитокини, хемокини и растежни фактори обикновено се определят чрез ензимно-свързан имуносорбентен анализ (ELISA) [5, 10, 27, 28]. Той се основава на ензимна реакция, която се анализира чрез поточна цитометрия, или се използват ELISA-четци (абсорбция, хемилуминесценция или измервания на флуоресценцията). В някои тестове се отчита влиянието на наночастиците в суперната от клетъчни култури или в тъканни/клетъчни лизати. Резултатите по отношение на клетъчната жизненост трябва да се интерпретират задълбочено, тъй като загубата на клетъчна жизненост при по-високите концентрации на наночастиците може да потисне секрецията на цитокини и това да доведе до фалшиво отрицателни резултати. В допълнение, поради способността на някои видове наночастици (титанов диоксид, силициев диоксид, наночастици от железен оксид [29]) да адсорбират протеинови молекули, е възможно отделни протеини (напр. цитокините) да се адсорбират по повърхността на частиците и така концентрацията протеин/цитокин може да бъде пренебрегната. Освобождаването на цитокини може да бъде оценено чрез полимеразната верижна реакция (напр. за проинфламаторна генна експресия [9]) или да бъдат използвани *reporter* клетъчни линии (напр. трансфектирана клетъчна линия A549 [3]).

Тестовите за цитотоксичност винаги трябва да отчитат вида клетъчна линия, както и типа на наночастиците, поради което не могат да се въведат универсални правила за тяхното провеждане. Необходимо е да се използват серия от тестове, както и подходяща среда, оптимално време на експозиция, подходящи контролни групи, мониторирани и реферирани стандарти, използвани в множество инвитро тестове за цитотоксичност (включително тестове без багрила). Препоръчва се използването на най-малко три репрезентативни клетъчни линии (включително различни клетъчни линии с произход от същата система), пет концентрации на наночастиците и включването на съответните отрицателни

и положителни контроли. За експерименти със суспендиране, при които се изисква багрило, интерфейсите тестове са задължителни. Разработени са конвенционални токсикологични (и генотоксикологични) анализи за тестване на разтворими вещества, но не и за наночастици. Поради тази причина, понастоящем само методите за оценка на **цитотоксичността на наночастиците не са достатъчни за оценка на техния** токсичен потенциал. Препоръчва се предварителна оценка и адаптиране на анализите. Освен това е необходимо да се използват множество анализи за достоверност на нанотоксикологичната оценка [1, 12]. Трябва да се отбележи и факта, че инвитро методите често са рН-зависими, поради което резултатите могат да бъдат повлияни от киселинните или алкалните свойства на наночастиците. Ето защо, особено в случаите, когато концентрациите на наночастиците надхвърлят буферния капацитет на биологичните среди, се препоръчва изпитване на киселинност/алкалност [1].

Използване на позитивна и негативни контролни групи в инвитро експериментите за токсичност

Положителни и отрицателни контролни групи трябва да бъдат систематично включвани във всички експерименти, за правилното изпълнение на анализите и за да се осигури възпроизводимост на получените резултати [27]. Освен положителните и отрицателните контроли, е необходимо да се използват и контролни групи, касаещи наночастиците, за да се потвърди чувствителността на техниките за изследване, да се направи сравнение между биологичните ефекти на наночастиците и в някои случаи да се оцени потенциала им за интерференции в анализа [16, 17]. Обикновено нетретирани клетки се използват за отрицателни контроли и резултатите от анализите се представят нормирани спрямо тях [27]. По-голямата част от проучванията сравняват индуцираните от наночастиците ефекти с тези, причинени от различни вещества, напр. H_2O_2 за клетъчна жизненост, оксидативен стрес и генотоксичност [6], LPS (30) или TNF- α [27] за възникването на възпаление. Ефектите, предизвикани от тези вещества, се използват за позитивни контроли. При повечето проучвания, свързани с изучаването на респираторната токсичност, също се използват като положителни контроли различни химични вещества [31] или DQ 12 [30].

В редки случаи в някои тестове се използват наночастици, напр. амин-модифицирани полистиролови наночастици [8, 32] като позитивни контроли за цитотоксичност, оксидативен стрес, генотоксичност или апоптоза и активиране на възпалението [17]. В други изследвания се използват наноматериали със същия химичен състав, но различна морфология за положителна контрола, например *long silver nanowires* за цитотоксичност [3]. Наночастици, съставени от поли-млечната-ко-гликолова киселина – покрити с полиетиленоксид или

карбоксилирани нанодиаменти, са примери за частици, използвани за отрицателни контроли при тестове за цито- и генотоксичност [16, 32].

Предизвикателство в областта на нанотоксикологията е изборът на подходящи и специфични положителни и/или отрицателни контроли в изследванията [16, 27]. Не съществува общоприета препоръка за подбора на контролите, тъй като това зависи не само от крайната цел, но и от начина на експозиция на наночастиците. Като един пример за цитотоксичност и апоптоза се препоръчва използването на наночастици, съставени от аминок-модифициран полистирен като положителна контрола, и техните неутрални еквиваленти (обикновени полистиренови наночастици) или карбоксилирани полистиренови наночастици за отрицателни контроли [8]; за възпаление DQ 12 е посочен като най-обещаваща положителна контрола, особено по отношение на инхалационния начин на експозиция [33].

Най-важните критерии за създаване на надеждни и значими резултати от инвитро нанотоксикологичните анализи са:

- Задълбочено охарактеризиране на наночастиците, включително на физикохимичните им свойства преди, по време и след изпитването.
- Използване на сравними и достоверни дозиметрични показатели и условия на изпитване.
- Прилагане на подходящи положителни и отрицателни контролни групи и използване на референтни наноматериали, позволяващи сравнение между проучвания, както в една лаборатория, така и между отделните лаборатории. Използването на контроли, базирани на наноматериали, е препоръчително.
- За да се избегнат фалшиви отрицателни или фалшиви положителни резултати, се препоръчва използването на най-малко два независими метода на индивидуална тествана крайна цел и на няколко подходящо подбрани клетъчни линии или модели, базирани на съкултури и стандартизирани цитотоксични анализи [10]. Изборът на подходящи клетъчни модели включва задълбочено охарактеризиране на клетъчния растеж и диференциация заедно с поставените крайни цели, имитиращи реакцията на клетките.
- По отношение на сравнение между остри и хронични ефекти: за първоначален скрининг в повечето случаи са подходящи монокултури. За по-пълно охарактеризиране трябва да бъдат включени и 3D култури.

Като цяло се очаква, че инвитро методите за оценка на токсичността на наноматериалите ще допринесе за намаляване на изследванията върху животни чрез приоритизиране за бъдещи инвитро експерименти [34]. Въпреки това, понастоящем все още няма добре изяснена корелация между данните инвитро и ин vivo експериментите, което прави инвитро тестовете сами по себе си недостатъчни за оценка на риска от приложението на наноматериалите.

Бъдещите усилия трябва да бъдат насочени към стандартизиране и валидиране на специфични в инвитро тест условия, имитиращи определени цели ин vivo.

Речник (бел. ред.)

Цитотоксичност: степента, до която даден агент притежава специфично разрушаващо действие върху определени клетки или наличието на такова действие.

Апоптоза: процес на програмирана клетъчна смърт.

Некроза: (в контекста) вид случайна клетъчна смърт.

Адхерентни (адхезивни) клетки: клетки, които трябва да бъдат прикрепени към повърхност, за да растат.

Цитокини: малки сигнални протеини, които регулират голям брой биологични функции.

Цитирана литература:

1. Landsiedel R, Ma-Hock L, Kroll A, et al., *Adv Mater.* 2010 **22** 2601–27.
2. Lewinski N, Colvin V, Small, 2008 **4** 26–49.
3. Stoeckl LC, Gonzalez E, Stampfl A, Casals E, et al., *Part Fibre Toxicol.* 2011 **8** 36.
4. Gliga AR, Skoglund S, Odnevall Wallinder I, et al., *Part Fibre Toxicol.* 2014 **11** 11.
5. Goode AE, Carter DAG, Motskin M, et al., *Biomaterials.* 2015 **70** 57–70.
6. Armand L, Tarantini A, Beal D, et al., *Nanotoxicology.* 2016 **10** 913–23.
7. Mu Q, Hondow NS, Krzemiński L, et al., *Part Fibre Toxicol.* 2012 **9** 29.
8. Anguissola S, Garry D, Salvati A, et al., *PloS One.* 2014 **9** e108025.
9. Shannahan JH, Podila R, Brown JM., *Int J Nanomedicine.* 2015 **10** 6509.
10. Farcal L, Andón FT, Di Cristo L, et al., *PloS One.* 2015 **10** e0127174.
11. Stone V, Johnston H, Schins RP., *Crit Rev Toxicol.* 2009 **39** 613–26.
12. Kroll A, Pillukat MH, Hahn D, Schnekenburger J., *Arch Toxicol.* 2012 **86** 1123–36.
13. Hillegass JM, Shukla A, Lathrop SA, et al., *Wiley Interdiscip Rev Nanomed Nanobiotechnol.* 2010 **2** 219–31.
14. Kumar G, Degheidy H, Casey BJ, Goering PL., *Food Chem Toxicol.* 2015 **85** 45–51.
15. Vermes I, Haanen C, Steffens-Nakken H, Reutellingsperger C., *J Immunol Methods.* 1995 **184** 39–51.
16. Dusinska M, Boland S, Saunders M, et al., *Nanotoxicology.* 2015 **9**(sup1) 118–32.
17. Collins AR, Annangi B, Rubio L, et al., *Wiley Interdiscip Rev Nanomed Nanobiotechnol.* 2017 **9** :e1413.
18. Roesslein M, Hirsch C, Kaiser J-P, et al., *Int J Mol Sci.* 2013 **14** 24320–37.
19. Drasler B, Sayre P, Steinhäuser KG, et al., *NanoImpact.* 2017 **8** 99–116.
20. Ong KJ, McCormack TJ, Clark RJ, et al. *PLoS One.* 2014 **9** e90650.
21. Doak S, Griffiths S, Manshian B, et al., *Mutagenesis.* 2009 **24** 285–93.
22. Pfaller T, Cognato R, Nelissen I, et al., *Nanotoxicology.* 2010 **4** 52–72.
23. Driessen MD, Mues R, Vennemann A, et al., *Part Fibre Toxicol.* 2015 **12** 36.
24. Dikalov SI, Harrison DG., *Antioxid Redox Signal.* 2014 **20** 372–82.
25. Delaval M, Wohlleben W, Landsiedel R, et al., *Arch Toxicol.* 2017 **91** 163–77.
26. Braakhuis HM, Park MV, Gosens I, et al., *Part Fibre Toxicol.* 2014 **11** 18.
27. Huk A, Izak-Nau E, El Yamani N, et al., *Part Fibre Toxicol.* 2015 **12** 25.
28. Wan S, Kelly PM, Mahon E, et al., *ACS Nano.* 2015 **9** 2157–66.

29. Guadagnini R, Halamoda Kenzaoui B, Walker L, et al., *Nanotoxicology*. 2015 **9**(sup1) 13–24.
30. Chortarea S, Clift MJ, Vanhecke D, et al., *Nanotoxicology*. 2015 **9** 983–93.
31. Clift MJ, Endes C, Vanhecke D, et al., *Toxicol Sci*. 2013 **137** 55–64.
32. Paget V, Sergent J, Grall R, et al., *Nanotoxicology*. 2014 **8**(sup1) 46–56.
33. Oberdörster G, Oberdörster E, Oberdörster J., *Environ Health Perspect*. 2005 **113** 823–39.
34. Braakhuis HM, Kloet SK, Kezic S, et al., *Arch Toxicol*. 2015 **89** 1469–95.

***IN VITRO* METHODS FOR EVALUATION OF THE TOXIC POTENTIAL OF NANOPARTICLES**

Denitsa Aluani

Over the last few decades, there has been significant research interest in drug delivery, using nanoparticles as drug delivery systems. These systems have been used as a physical approach to change and improve the pharmacokinetic and pharmacodynamic properties of different types of drug molecules. The ultra-small size of nanosystems could allow particles to interact with various cells, tissues and biological barriers in the body and cause unexpected toxicity. In this context, it is important to evaluate the safety of nanoparticles in order to achieve biocompatibility and desired pharmacological activity. However, it is unwarranted to make generalized statements regarding the safety of nanoparticles, since the field of nanomedicine comprises a multitude of different manufactured nanoparticles made from various materials.

Key words: nanoparticles, *in vitro* methods

50-ТА НАЦИОНАЛНА КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ВЪПРОСИТЕ НА ОБУЧЕНИЕТО ПО ФИЗИКА

на тема:

„Климатичните промени и образованието по физика“

2 – 5 юни 2022 г., град Варна

Повече информация на

<http://upb.phys.uni-sofia.bg/conference/NK/50NK.html>

НЯКОИ ОТ НАЙ-ВАЖНИТЕ ПОСТИЖЕНИЯ ВЪВ ФИЗИКАТА ПРЕЗ 2021 ГОДИНА

Динко Динев

Настоящата статия е изготвена въз основа на материали на Nature, Science, Physics World, NASA, BNL, Cern Courier, Science News и РИА Новости.

Космическият телескоп „Джеймс Уеб“

На 24.12.2021 г. беше изстрелян най-мощният изстрелван досега космически телескоп на NASA „Джеймс Уеб“ (*James Webb Space Telescope, JWST*). Телескопът е кръстен на ръководителя на програмата „Аполо“ Джеймс Уеб. Той ще работи в инфрачервената част на електромагнитния спектър ($0,6\ \mu\text{m}$ – $28\ \mu\text{m}$). Инфрачервеното лъчение може да преминава през облаците от космически газ и прах и това позволява да се наблюдават обекти, разположени зад подобни облаци.



Фигура 1. Главното огледало на JWST в центъра за космически полети „Годард“ (Goddard Space Flight Center)

Главното огледало на телескопа има рекордни размери – диаметър 6,5 m, и така ще могат да се изследват звезди и галактики, разположени на недостъпно досега разстояние. То е съставено от 18 по-малки огледала с шестоъгълна форма и се сглобява на орбита след изстрелването на телескопа.

Грандиозният космически проект е съвместно начинание на NASA, ESA и Канадската космическа агенция. В проекта участват общо 20 страни. Той е на стойност 9,7 млрд. USD.

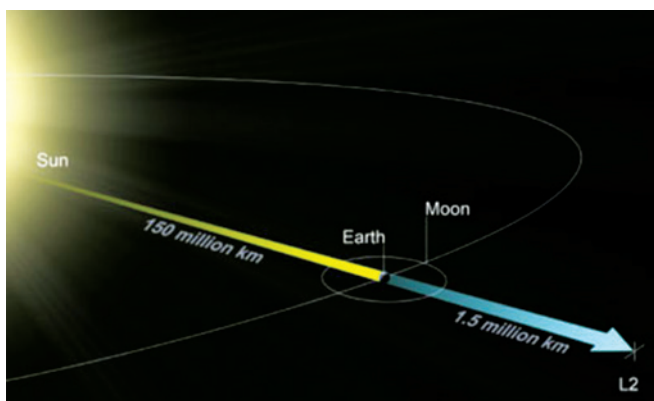
Телескопът е снабден с камери и спектрометри, работещи в близката ($0,6\ \mu\text{m}$ – $5\ \mu\text{m}$) и в средната ($5\ \mu\text{m}$ – $27\ \mu\text{m}$) инфрачервена област.

JWST е разположен в т.нар. точка на Лагранж L2. Това е една от петте точки на системата Слънце-Земя, в която ако се намира трето тяло с безкрайно малка маса, гравитационните сили, действащи върху това трето тяло, ще се уравновесяват с центробежната сила. Точката на Лагранж L2 е разположена на линията Слънце-Земя, на 1,5 km по-далеч от Слънцето, отколкото Земята. По този начин JWST ще обикаля около Слънцето синхронно със Земята.

JWST се защитава от слънчевата радиация от защитен екран с размери 22 m x 12 m. Този екран също при изстрелването е в сгънато състояние и се разгъва на орбита. Така ще се поддържа необходимата работна температура от 50 K.

Основните задачи на телескопа „Джеймс Уеб“ са изследване на формирането на първите звезди и галактики и търсенето на нови екзопланети и изследването на техните атмосфери.

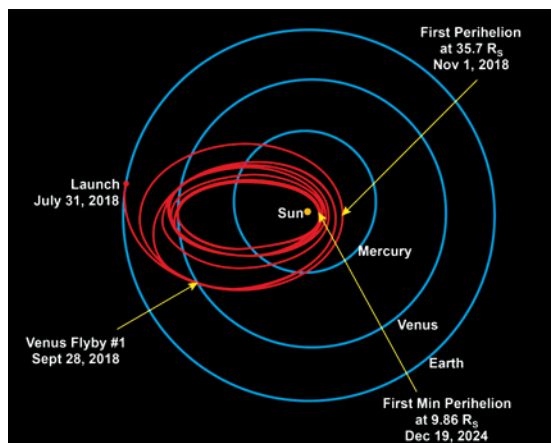
Официална уеб страница на космическия телескоп „Джеймс Уеб“ <https://www.jwst.nasa.gov/>



Фигура 2. Точката на Лагранж L2

Космическата сонда на NASA „Паркър“ достигна границата на слънчевата корона

На 12.08.2018 г. от *Cape Canaveral* беше изстрелян космическият апарат „Паркър“ (*Parker*) с основна цел изследване на слънчевия вятър и слънчевата корона. „Паркър“ се движи по силно елиптична орбита и в продължение на седем години ще се приближава 24 пъти до Слънцето, като най-малкото разстояние от около 6 млн. km ще се постигне през декември 2024 г.

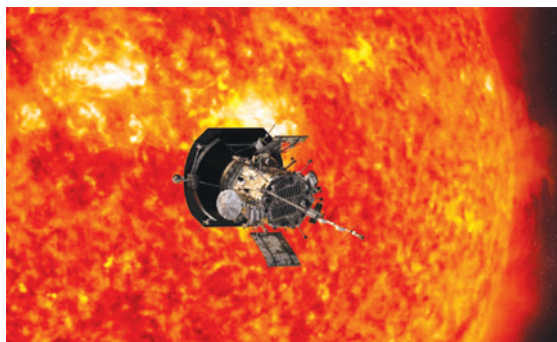


Фигура 3. Орбита на слънчевата сонда „Паркър“

Космическият апарат носи името на американския астрофизик Юджийн Паркър, пионер в изследването на Слънцето и автор на теорията, че Слънцето непрекъснато изхвърля частици и енергия под формата на слънчев вятър.

Апаратурата е защитена от въглероден щит с дебелина 12,43 cm, който издържа на 1377 °C. Стойността на проекта е 1,5 млрд. USD.

През април 2021 г. „Паркър“ на три пъти навлезе в слънчевата корона. За първи път беше определено положението на т.нар. критична повърхност на Алфвен – границата между плазмата на слънчевата корона, все още



Фигура 4. Космическата сонда „Паркър“ на фона на Слънцето

температурата на короната е много по-висока от тази на слънчевата повърхност. Каква е ролята на магнитохидродинамичните вълни на Алфвен за нагряването на короната? Какъв е механизмът на ускоряване на частиците на слънчевия вятър?

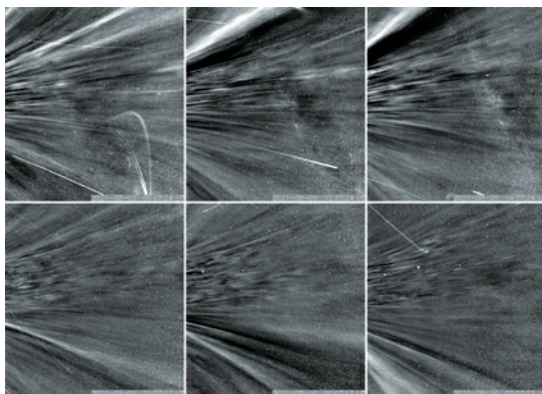
Счита се, че магнитното поле на звездата е отговорно за редица явления в нейната атмосфера, а също и за ускоряването на слънчевия вятър.

Измерванията, направени от сондата „Паркър“, позволиха да се реконструира тримерната картина на магнитното поле в областта между фотосферата и короната. „Паркър“ наблюдава множество зигзагообразни структури и успява да определи, че източник на тези структури е повърхността на Слънцето.

свързана със Слънцето и свободните потоци на слънчевия вятър. Тази повърхност не е сферична и се намира на средно разстояние 18,8 Rs от центъра на Слънцето.

Сондата е снабдена с инструменти за изучаване на параметрите на слънчевия вятър и на плазмата на слънчевата корона, на електрическите и магнитните полета и на слънчевото радиоизлъчване.

Един от основните въпроси, на които трябва да се отговори, е защо

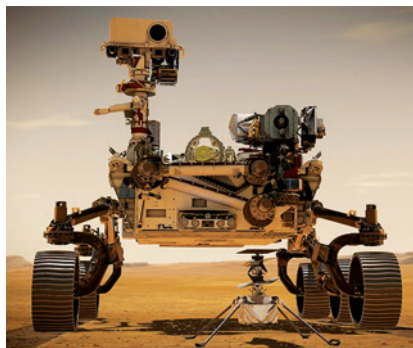


Фигура 5. Снимка на преминаването на космическата сонда през коронарен стример по време на деветото приближаване до Слънцето. Виждат се частиците на слънчевия вятър. На горния ред фотографии те се виждат като ярки детайли, насочени нагоре, а на долния ред фотографии – насочени надолу

NASA Enters the Solar Atmosphere for the First Time, Bringing New Discoveries. <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2021/nasa-enters-the-solar-atmosphere-for-the-first-time-bringing-new-discoveries>

Марсоходът *Perseverance* кацна на Марс

На 18.02.2021 г. на повърхността на „Червената планета“ кацна марсоходът на NASA *Perseverance* (Упоритост). Този космически апарат беше изстрелян на 30.07.2020 г. от *Cape Canaveral* с помощта на ракетата-носител „Атлас-5“.



Фигура 6. Марсоходът *Perseverance*

Perseverance е снабден с множество научни инструменти за изучаване на повърхността на Марс и на марсианската атмосфера:

- Рентгенофлуоресцентен спектрометър.
- Георадар.
- Набор от датчици за измерване на температурата, скоростта и посоката на вятъра, налягането, отн. влажност, радиацията, размера на частиците на марсианския прах.
- Набор от инструменти за оптичен, химичен и минералогичен анализ на камъни и почва.

- Ултравиолетов раманов спектрометър.
- Няколко камери и два микрофона.
- Апаратура за производство на кислород от въглероден двуокис в марсианската атмосфера.

Perseverance достави на Марс и безпилотния хеликоптер *Ingenuity* (Сръчност).

Една от целите на космическата мисия е търсенето на следи от микроорганизми, живели на Марс преди години.

Perseverance ще събере проби от повърхността на Марс, които ще бъдат върнати на Земята от следващата мисия. Тя е планирана за 2026 г. и е съвместна на NASA и ESA.

Mars 2020 Mission Overview. <https://mars.nasa.gov/mars2020/>

Китайската космическа мисия до Марс Тянвен-1

Китайската автоматична междупланетна станция Тянвен-1 (*Tianwen*, Въпроси към небето) беше изстреляна към Марс на 23.07.2020 г. с помощта на ракетата-носител Чанчжен-5. Тя достигна до Марс на 10.02.2021 г. Състои се от орбитален апарат (спътник на Марс) и марсохода Чжуронг (*Zhurong*, Бог на огъня). На 14.05.2021 г. марсоходът Чжуронг извърши меко кацане на повърхността на планетата.

Основната задача на марсианската мисия на Китай е глобалното изследване на Марс от орбиталния апарат и детайлно изследване на място на

характеристиките на почвения слой, измерване на параметрите на марсианската атмосфера и на електромагнитните и гравитационните полета от марсохода. Чжуронг е снабден с:

- Георадар, позволяващ изследване до 100 m дълбочина.
- Магнитометър.
- Комплект за измерване на температурата, налягането, скоростта и посоката на вятъра и за запис на звуци.
- Детектор за повърхностните съединения.
- Мултиспектрална камера.

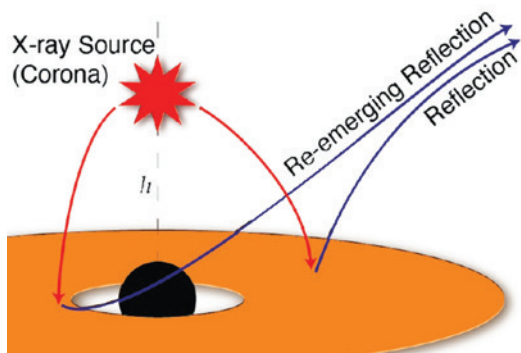


Фигура 7. Фотография на марсианската повърхност от борда на марсохода Чжуронг

Tianwen-1 and Zhurong, China's Mars orbiter and rover.
<https://www.planetary.org/space-missions/tianwen-1>

За първи път е наблюдавано ехо от задната страна на черна дупка

Както знаем, около една черна дупка съществува въображаема сферична повърхност, наречена „хоризонт на събитията“. На повърхността на хоризонта на събитията втора космическа скорост е равна на скоростта на светлината. Нищо от вътрешността на хоризонта на събитията не може да го напусне поради изключително силното гравитационно поле. То изкривява геометрията на обкръжаващото черната дупка пространство-време. Всяка светлина, достигнала до хоризонта на събитията, се поглъща без отразяване, подобно на абсолютно черното тяло. Затова ние не виждаме нищо, което се намира непосредствено зад черната дупка.



Фигура 8. Механизъм на формирането на ехо от далечната страна на акреционния диск

И все пак някаква информация може да се промъкне. Това демонстрира експеримент, проведен съвместно от Европейската космическа агенция (ESA) и NASA. Те изучават рентгеновото излъчване от свръхмасивната черна дупка, намираща се в галактиката I Zw 1 (I Zw 1). I Zw 1 се намира на около 800 млн. светлинни години от Земята в съзвездие Риби. Тя е 10 млн. пъти по-масивна от Слънцето. Наблюденията се

извършват с помощта на космическия телескоп на NASA NuSTAR и космическия телескоп XMM-Newton на ESA.

Астрономите наблюдават ярки рентгенови избухвания, след които следват по-слаби избухвания. Анализът показва, че втората серия рентгенови импулси се дължи на ехо от отразени от далечната страна на акреционния диск на черната дупка рентгенови лъчи. Поради изключително силното гравитационно поле на черната дупка това ехо я заобикаля и така попада в обективите на телескопите.

Явлението е предсказано от Общата теория на относителността, но сега се наблюдава за първи път.

D. R. Wilkins, L. C. Gallo, E. Costantini, W.N. Brandt and R. D. Blandford. Light bending and X-ray echoes from behind a supermassive black hole. Nature, volume 595, pages 657 – 660 (2021). <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2107/2107.13555.pdf>

Алексей Левин. Черната дупка в галактика M87: портрет в интериор. Светът на физиката, №1, 2020, с. 45 – 51.

Магнитният момент на мюона задава въпроси

Съгласно Стандартния модел на елементарните частици (SM) съществуват три фундаментални лептона: електрон, мюон и тау. Това са точкови частици, които не участват в силното взаимодействие. Те имат спин $s = \frac{1}{2}\hbar$ и собствен магнитен момент.

Мюонът е лептон от второ поколение. Той има маса: $m_\mu = (206,767 \pm 0,003)m_e$ и средно време на живот : $\tau_\mu = (2,15 \pm 0,07) \mu s$

Мюонът се разпада на електрон и неутрино: $\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$
 $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$.

Тези свойства на мюона го правят особено удобен за измерване на собствения магнитен момент.

Съгласно квантовата механика проекцията на собствения магнитен момент на мюона върху произволно направление $\vec{z}$ може да приема само две стойности:

$$\mu_{\mu\text{on},z}^{SM} = \pm \frac{e\hbar}{2m_\mu},$$

където e е зарядът на електрона, m_μ е масата на мюона.

Стандартният модел внася малка поправка към този резултат:

$$\mu_{\mu\text{on},z}^{SM} = \pm \frac{e\hbar}{2m_\mu} (1 + a_\mu^{SM}),$$

където $a_\mu^{SM} = a_\mu^{QED} + a_\mu^{EW} + a_\mu^{Hadron}$ е т.нар. аномален магнитен момент (жиро-магнитна аномалия). Причина за появата на аномален магнитен момент е взаимодействието на мюона с облака от виртуални фотони, лептони, адрони и W, Z и Higgs бозони.

Изчисленията на аномалния магнитен момент на мюона, включващи

диаграми на Файнман до десети ред, дават следната стойност:

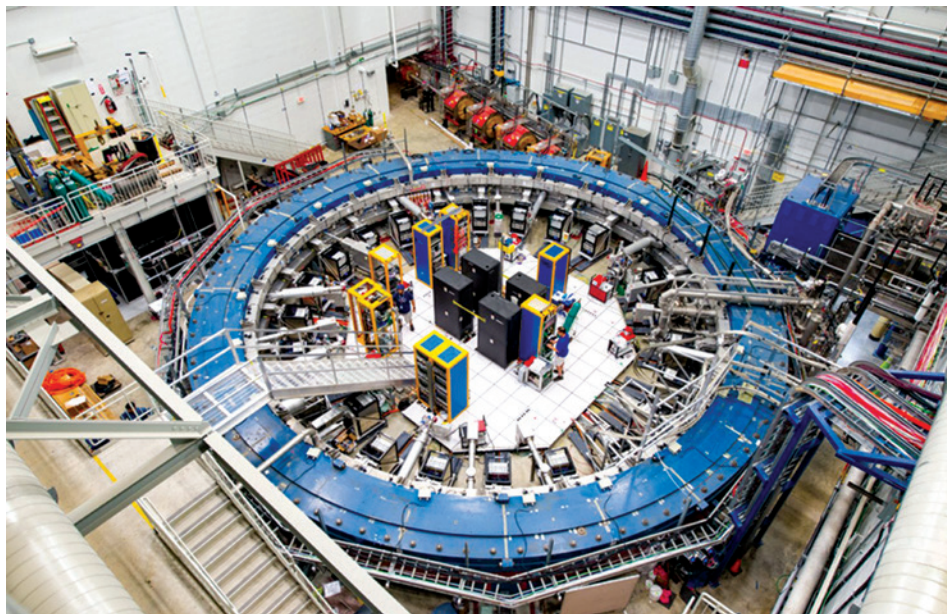
$$a_{\mu}^{SM} = 116591810(43) \cdot 10^{-11}.$$

Първото измерване на аномалния магнитен момент на мюона е извършено в CERN през 1960 г. То е с достоверност $\pm 0,4\%$. В рамките на тази достоверност резултатът от измерването се съгласува с предсказанията на теорията.

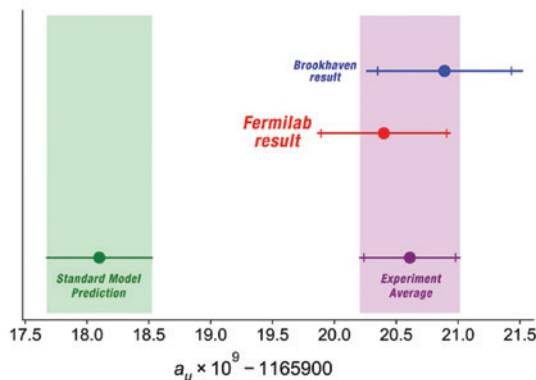
През 1984 г. в Националната лаборатория на САЩ в Брукхайвън (BNL) е проведен по-прецизен експеримент по измерване на аномалния магнитен момент на мюона, наречен E821. Полученият от него резултат вече се отличава от предсказанията на SM с 3,7 σ . Магнитният момент на мюона започва да задава въпроси.

През 2001 г. апаратурата от BNL е преместена в Националната ускорителна лаборатория на САЩ „Е. Ферми“ (FNAL). Експериментът е наречен *Fermilab Muon (g-2) Experiment*. Разчита се на рекордния интензитет на ускорителния комплекс на FNAL. Експерименталната установка се състои от магнитен пръстен с диаметър 14 m, в който се върти интензивен мюонен сноп. Измерват се честотата, с която се изменя ъгълът между направлението на спина на мюона и направлението на неговата скорост ω_a , и честотата на прецесия на спина на мюона ω_s . Доказва се, че:

$$\frac{\omega_a}{\omega_s} = \frac{a_{\mu}}{1 + a_{\mu}}.$$



Фигура 9. Експерименталната установка за измерване на магнитния момент на мюона във FNAL



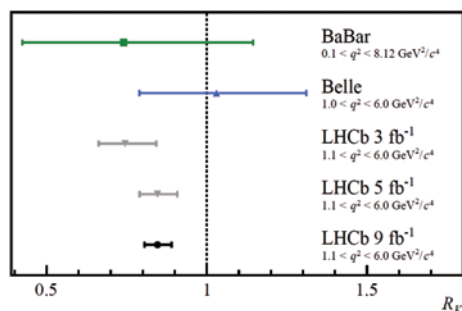
Фигура 10. Резултати от измерването на аномалния магнитен момент на мюона

енергии граница от 5σ и основателно поставя въпроса за съществуването на „нова физика“, лежаща отвъд SM.

Нарушава ли се лептонната универсалност?

Принципът на лептонната универсалност (*lepton flavour universality*) гласи, че слабото взаимодействие действа еднакво за лептоните от всяко поколение – електрон, мюон и тау. Лептонната универсалност е в основата на Стандартния модел на елементарните частици (SM).

Експерименти, проведени с помощта на детектора LHCb на Големия адронен колайдър (LHC) в CERN обаче показват, че вероятно при разпад на В-мезони на К-мезони и лептонна двойка (e^+e^- или $\mu^+\mu^-$) този



Фигура 12. Експериментални резултати по измерване на отношението R_K

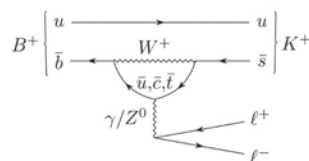
През 2021 г. бяха публикувани първите експериментални резултати. Както и резултатът, получен в BNL, те се различават от предсказанията на SM. Комбинираният резултат от всички направени досега измервания на аномалния магнитен момент на мюона дават:

$$a_\mu(\text{Exp}) = 116592061(41) \cdot 10^{-11}$$

Той се различава от предсказанията на SM:

$$a_\mu(\text{Exp}) - a_\mu^{\text{SM}} = (251 \pm 59) \cdot 10^{-11}$$

с 4,2σ. Това вече е доста близко до приетата във физиката на високите



Фигура 11. Кваркова диаграма на разпада на В-мезон на К-мезон и лептонна двойка, $l = e, \mu$

принцип се нарушава. Измерва се величината R_K , която е равна на вероятността за разпад $B \rightarrow K\mu^+\mu^-$ към вероятността за разпад $B \rightarrow Ke^+e^-$. В SM $R_K = 1$.

Измерената стойност обаче е:

$$R_K = 0,846_{-0,041}^{+0,044}$$

Статистическата значимост на измереното отклонение е 3,1σ. Наистина тя е по-малка от приетата във физиката на високите енергии граница от 5σ, но е достатъчно голяма за да изостри вниманието

на физиците.

Възобновяването на работата на колайдъра през 2022 г. (Run 3) след неговата основна модернизация, т.нар. LHC-HL, ще позволи натрупването на статистика и ще даде окончателен отговор на въпроса дали наистина лептонната универсалност се нарушава.

LHCb collaboration. Test of lepton universality in beauty-quark decays. CERN-EP-2021-042, LHCb-paper-2021-004 23 March 2021

<https://cds.cern.ch/record/2758740/files/LHCb-PAPER-2021-004.pdf>

Получаване на материя от чиста енергия

Съгласно Теорията на относителността и добилата широка популярност формула $E = mc^2$ материята (масата) и енергията са двете страни на една и съща монета.

Преобразуването на материя в енергия е добре познат процес. Това става например при деленето на тежките ядра или при сливането на две леки ядра в едно по-тежко. Енергията на звездите, разрушителната енергия на взривовите на атомните и водородните бомби и енергията, произвеждана в ядрените реактори, са няколко примера.

Във физиката на високите енергии е добре известен процесът на аниhilация на електрон и позитрон до два гама-кванта: $e^- + e^+ \rightarrow 2\gamma$.

През 1934 г. Г. Брайт и Дж. Уилър (*G. Breit and John A. Wheeler*) предсказват съществуването на обратния процес – създаването на електрон-позитронна двойка при взаимодействието на два фотона, притежаващи достатъчна енергия:

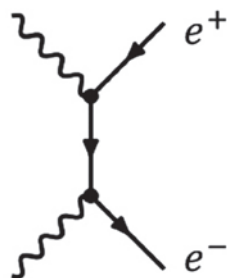
$$\gamma + \gamma' \rightarrow e^- + e^+$$

Тази реакция е известна като *Breit-Wheeler process* [1]. Диаграмата на Файнман, описваща процеса на Брайт-Уилър, е показана на Фигура 13. Това е процес на превръщане на чиста светлина (енергия) в материя.

Опитите да се наблюдава тази реакция експериментално досега не даваха резултат. Необходим е интензивен източник на фотони с достатъчно висока енергия. Прагът на реакцията е:

$$\sqrt{(E_{\gamma'} E_{\gamma^2})} > mc^2.$$

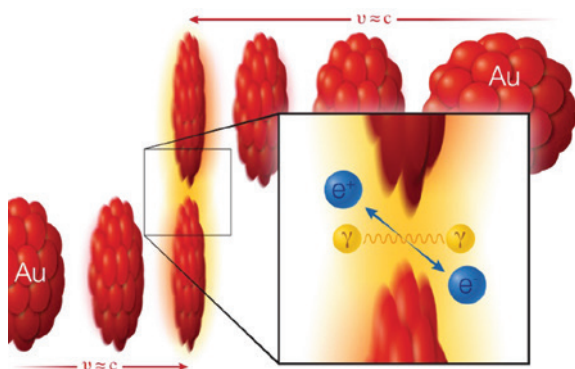
За получаването на фотони, притежаващи необходимата за осъществяване на реакцията енергия (γ -кванти), се използва обратен Комптънов ефект. За целта лъчението от много мощна лазерна система се разсейва върху сноп от електрони, движещи се с ултра релативистки скорости. Това е E-144 експеримент в Националната



Фигура 13. Диаграма на Файнман, описваща процеса на Брайт-Уилър

лаборатория на САЩ SLAC (*Stanford Linear Accelerator Center*) от 2010 г. Електроните имат енергия 46,6 GeV и се използва лазер с плътност на мощността 10^{18} W/m². Регистрират се само позитрони – 100 e^+ на 20 000 импулс. Експерименталният фон е много силен и засега не се получава ясен полезен сигнал над фона. Достоверността на получения резултат е ниска.

През 2021 г. Националната лаборатория на САЩ Брукхайвън (*Brookhaven National Laboratory*, BNL) съобщават, че експериментът STAR (*Solenoidal Tracker*) е регистрирал за първи път реакцията, предсказана от Брайт и Уилър преди повече от 80 години. Детекторът STAR е инсталиран на колайдъра за тежки йони RHIC (*Relativistic Heavy Ion Collider*). RHIC е колайдър на тежки йони, в който се сблъскват два интензивни снопа от напълно йонизирани атоми, (т.е. атомни ядра), на златото ^{179}Au , ускорени до много високата енергия от 100 GeV на нуклон.



Фигура 14. Две Au ядра(червено) се движат едно срещу друго със скорост $v = 0.99995c$. Когато ядрата се плъзгат едно спрямо друго, два фотона (γ) от електромагнитния облак, обграждащ йоните, взаимодействат за да създадат двойка електрон (e^-) и позитрон (e^+)

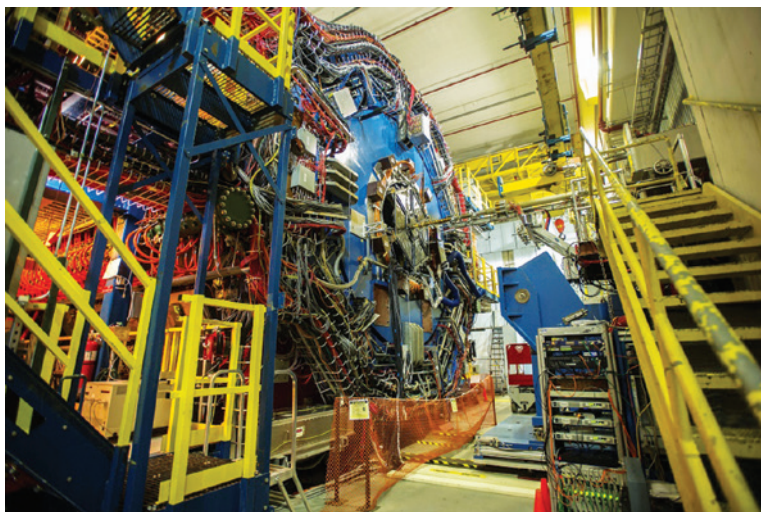
тези виртуални фотони се държат като реални, т.е. безмасови фотони. Наричат се еквивалентни или квазиреални фотони. Този подход е известен като *Equivalent Photon Approximation* (EPA). Така, движещите се с ултрарелативистки скорости ядра ^{179}Au представляват интензивен източник на (квазиреални) фотони, притежаващи висока енергия.

В експеримента двете движещи се едно срещу друго със скорост почти равна на скоростта на светлината ядра на златото не се сблъскват челно, а се плъзгат едно спрямо друго едва докосвайки се, т. нар. *peripheral collisions* (прицелен

Ядрата на златото имат голям положителен заряд и в RHIC се движат с ултра релативистки скорости – $v = 0,99995c$. Около тях се създават много силни електромагнитни полета ($B \sim 10^{14} - 10^{16}$ T). Магнитното поле е аксиално, а електрическото поле е радиално насочено. Това електромагнитно поле е силно контрагирано по посока на движението поради Лоренцовото скъсяване. Около движещите се един срещу друг в колайдъра йони съществува облак от виртуални фотони – кванти на електромагнитното поле. При ултрарелативистките скорости, с които се движат йоните в RHIC,

параметър $b > 2R$). Облаците от фотони около тях се застъпват, създавайки условия за удари между фотоните и за реализиране на реакцията на Брайт-Уилър.

Детекторът STAR има много голям аксептанс и може да измерва много прецизно ъгловото разпределение на регистрираните частици. Внимателният анализ на кинематиката на взаимодействията недвусмислено показва, че става дума за удари между реални, а не виртуални фотони. Общо са регистрирани над шест хиляди електрон-позитронни двойки.



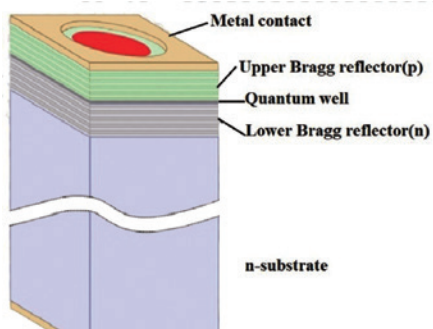
Фигура 15. Детекторът STAR в Националната лаборатория Брукхайвън

Литература

1. G. Breit and John A. Wheeler. Collision of Two Light Quanta. *Physical Review* **46** (12):1087–1091 (15 December 1934).
2. C. F. v. Weizsäcker. Ausstrahlung bei Stößen sehr schneller Elektronen. *Zeitschrift für Physik*, volume **88**, pages 612–625, 1934
3. J. Adam et al. (STAR Collaboration). Measurement of $e+e-$ Momentum and Angular Distributions from Linearly Polarized Photon Collisions. *Phys. Rev. Lett.* **127**, 052302, Published 27 July 2021
<https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.127.052302>
4. Collisions of Light Produce Matter/Antimatter from Pure Energy, July 28, 2021
<https://www.bnl.gov/newsroom/news.php?a=119023>

30 лазера работят като един източник на кохерентно лъчение

Екип от израелски и германски изследователи са намерили начин да се застави група от 30 полупроводникови повърхностно излъчващи лазери с вертикален резонатор (*Vertical Cavity Surface-Emitting Laser*, VCSEL) да работят заедно като единичен източник на кохерентно лъчение. Екипът се оглавява от проф. М. Сегев (*Mardehai Segev*) от Израелския технологичен институт (*Technion*) и проф. С. Клембт (*Sebastian Klemmt*) от Университета във Вюрцбург.



Фигура 16. Полупроводников повърхностно излъчващ лазер с вертикален резонатор

VCSEL е тип полупроводников лазер с излъчване на лазерния лъч перпендикулярно на горната повърхност на кристалната пластина. Резонаторът се състои от две разпределени брегови огледала (*Distributed Bragg Reflector*, DBR). Едно такова огледало се състои от слоеве с редуващ се висок и нисък показател на пречупване и с дебелина $\lambda/4$. Коефициентът на отражение е по-голям от 99%. Активната област е една квантова яма. Тя се формира чрез последователно нанасяне на слоеве А-В-А от полупроводникови материали (най-често GaAs и AlGaAs),

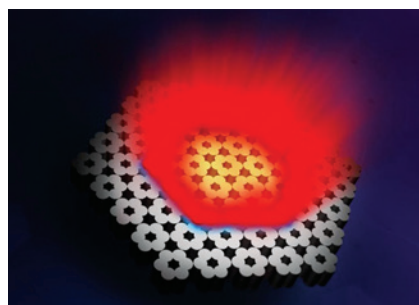
като дъното на зоната на проводимост на материала В лежи по-ниско от дъното на зоната на проводимост на материала А и обратно – таванът на валентната зона на материала В лежи по-високо от тавана на валентната зона на материала А. Дебелината на слоя В е няколко nm.

Енергията на токоносителите в квантовата яма може да приема само дискретни стойности. VCSELs са намерили широко приложение в лазерните принтери, автомобилните сензори, оптичната комуникация и др. Те имат миниатюрни размери от няколко μm . Техен недостатък е ограничената изходна мощност. С комбинирането на голям брой VCSELs в единен източник на кохерентно лъчение се открива път за преодоляване на това ограничение.

За да се заставят всичките 30 VCSELs да излъчват като един лазер се използват свойствата на фотонните топологични изолатори (*Photonic Topological Insulator*, PTI). Те представляват електромагнитен аналог на топологичните изолатори (*Topological Insulator*). Фотонните топологични изолатори позволяват предаването на светлината без разсейване от дефекти и нееднородности.

Свързването между индивидуалните емитери за да работят като един лазер се реализира използвайки малка част от лъчението в равнината на кристала. Отделните VCSELs са разположени в хексагонална решетка.

Кохерентното комбиниране на голяма група от VCSELs в един лазер позволява да се създаде мощен, много компактен и с голяма яркост източник на кохерентно лъчение.



Фигура 17. Кохерентна светлина се излъчва от масив от 30 VCSEL лазери

Alex Dikopoltsev et all. Topological insulator vertical-cavity laser array. Science, **373**, 1514–1517 (2021) .

<https://phsites.technion.ac.il/publications/msegev/science.abj2232.pdf>

Khanikaev et all. Photonic topological insulators. Nature Materials, **12**, pages 233 – 239 (2013)

<https://www.nature.com/articles/nmat3520?proof=t%2525C2%2525A0>

Българският суперкомпютър *Discoverer*

През 2021 г. започна работа българският суперкомпютър *Discoverer*. Той е част от европейската мрежа от суперкомпютри EuroHPC JU. *Discoverer* заема 91-во място в световната класация на най-мощните суперкомпютърни системи. Позициониран е в София-ТехПарк. Върховата производителност на суперкомпютъра е 5,942.0 TFlop/s. В момента първо място в тази класация заема суперкомпютърът *Fugaku* в RIKEN, Япония, с пикова производителност 537,212.0 TFlop/s. *Discoverer* е произведен от *Atos*.



Фигура 18. Българският суперкомпютър *Discoverer*

Discoverer ще се използва за симулации в биоинформатиката, фармацията, молекулярната динамика, квантовата химия и биохимия, изкуствения интелект, персонализираната медицина, прогнозите на времето, борбата с климатичните промени и др.

Списанията също обръщат внимание на:

Емулсионният детектор FASERnu в Големия адронен колайдър регистрира за първи път неутрино, получено при ударите между протоните в колайдъра.

Henso Abreu et al. (FASER Collaboration). First neutrino interaction candidates at the LHC. Phys. Rev. D **104**, L091101 – Published 24 November 2021

<https://journals.aps.org/prd/abstract/10.1103/PhysRevD.104.L091101>.

Експериментът ALPHA в CERN за първи път охлади антиматерия, прилагайки метода на лазерното охлаждане. Това отваря пътя към прецизно изучаване на вътрешната структура на антиводородния атом.

C. J. Baker. Laser cooling of antihydrogen atoms. Nature volume **592**, pages 35–42 (2021).

<https://www.nature.com/articles/s41586-021-03289-6>.

При експерименти с детектора LHCb на Големия адронен колайдър (LHC) през 2021 г. беше открита нова частица – тетракварк, съставена от два тежки чаровни (с) кварка, здраво свързани чрез глюони с леките u и d антикварки. Новият тетракварк се означава с T_{cc}^+ . Той има маса 3,785 GeV и заряд +1 и живее 500 пъти по-дълго от аналогични частици с подобна маса, около 10^{-21} s.

New tetraquark a whisker away from stability. Cern Courier, 29 July 2021

<https://cerncourier.com/a/new-tetraquark-a-whisker-away-from-stability/>.

Квантово заплитане на два макроскопични обекта. Изследователски екип от Националния институт по стандартите на САЩ (NIST), ръководен от проф. Дж. Тойфел (*John D. Teufel*) и изследователски екип от Университета в Аалто, Финландия (*Aalto University*), ръководен от проф. М. Силанпяя (*Mika A. Sillanpää*), получиха квантово заплитане между две трептящи алуминиеви мембрани с диаметър 10 μm и маса 100 pg.

Macroscopic systems can be controllably entangled and limitlessly measured. *Physics Today* **74**, 7, 16 (2021).

Измерено е гравитационното взаимодействие между две златни сфери с радиус 1 mm и тежести 100 mg.

T. Westphal, H. Hepach, J Pfaff, M Aspelmeyer. Measurement of gravitational coupling between millimetre-sized masses. *Nature*, volume **591**, pages 225–228 (2021)

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33692556/>.

Учени от Тихоокеанската северозападна национална лаборатория на САЩ (*Pacific Northwest National Laboratory, PNNL*) създадоха батерия, използваща анод от чист метален литий с рекордна дълговечност.

Longer-Lived Lithium-Metal Battery Marks Step Forward for Electric Vehicles.

<https://www.pnnl.gov/news-media/longer-lived-lithium-metal-battery-marks-step-forward-electric-vehicles>.

Учени от Лабораторията по физика на плазмата на Университета в Принстън (*Princeton Plasma Physics Laboratory, PPPL*) създадоха лазерна плазма с рекордна плътност на енергията, т.нар. HED-плазма. Това е най-екстремното състояние на материята създавано някога на Земята.

B. F. Kraus, Lan Gao, K. W. Hill, M. Bitter, P. C. Efthimion, T. A. Gomez, A. Moreau, R. Hollinger, Shoujun Wang, Huanyu Song, J. J. Rocca, R. C. Mancini. Solid-Density Ion Temperature from Redshifted and Double-Peaked Stark Line Shapes. *Physical Review Letters*, 2021; **127** (20).

<https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.127.205001>

SOME OF THE MOST IMPORTANT ACHIEVEMENTS IN PHYSICS IN 2021

Dinko Dinev

The review is devoted to the most exiting results received in physics in 2021. Our choice has fallen on: James Webb space telescope, NASA's Parker solar probe, Mars Perseverance rover, China's Mars orbiter and rover, detecting of light echoes coming from behind a black hole, Fermilab's muon g-2 experiment, possible violation of lepton universality, collisions of light producing matter/antimatter from pure energy, locking thirty VCSEL lasers to work as a single coherent source, Bulgarian supercomputer Discoverer. We have marked also: LHC detector FASER caught collider neutrino, experiment ALPHA cooling antimatter using laser light, observation by LHCb of a doubly charmed tetraquark, entanglement between macroscopic systems, measurement of gravitational coupling between millimeter-sized masses, development of long-life lithium-metal battery, creation of laser plasma with extreme energy density.

ORGANIZED BY
BRANCH COSMOS
OF THE UNION OF THE PHYSICISTS IN BULGARIA

**2ND SUMMER SCHOOL ON SPACE RESEARCH,
TECHNOLOGY AND APPLICATIONS**

FOR YOUNG SCIENTISTS AND PHD STUDENTS
3-10 JULY 2022 | NAO ROZHEN, BULGARIA



IMPORTANT DATES:
1 MARCH - 30 APRIL 2022: APPLY FOR FINANCIAL SUPPORT
1 MARCH - 31 MAY 2022: APPLY AND SELF-PAY
1 JUNE 2022: NOTIFICATION OF ACCEPTANCE

HYBRID PARTICIPATION:
ON-SITE
(LECTURES+PRACTICAL SESSIONS)
ONLINE
(LECTURES ONLY)

REGISTER NOW



More Info: https://bulgarianspace.online/second-summer-school_2022/
 CONTACT US: cosmos@phys.uni-sofia.bg

TOPICS:
 Sun and Space Weather, Exoplanets, Aerospace Technologies, Earth Observations and InSAR, Machine Learning Methods in Physics and Astronomy, Science Communication and Popularisation

FOLLOW US:
 Branch Cosmos   

WITH THE FINANCIAL SUPPORT OF:




ПРИЛОЖНА ФИЗИКА И КОМПЮТЪРНО МОДЕЛИРАНЕ – МОДЕРНАТА СПЕЦИАЛНОСТ

В рамките на кандидатстудентската кампания 2021 Техническият университет – София представя специалността „Приложна физика и компютърно моделиране“.

През 2018 г. в ТУ – София, в професионалното направление „Общо инженерство“, е открита бакалавърска специалност „Приложна физика и компютърно моделиране“, наследник на съществуващата бакалавърска специалност „Инженерна физика“. Специалността „Приложна физика и компютърно моделиране“ е насочена към задълбочено изучаване на физичната същност на процесите и явленията, чрез които се развиват и реализират модерните фотонни, лазерни, оптични, електронни и нанотехнологии и други области на съвременната техника. Друга основна насока на специалността са компютърното моделиране и симулации, които в наши дни заместват много от скъпите физични експерименти и същевременно позволяват да се получи необходимата за дадена технология информация за свойствата на изследваните обекти и системи и процесите, протичащи в тях. Обучаващите се в специалността усвояват използването на компютърни технологии и професионални софтуерни продукти от високо ниво за решаването на практически задачи с инженерно приложение. Обучението включва и задължителния комплекс от инженерни, езикови, икономически и бизнес знания и умения, нужни за успешна реализация в индустрията.

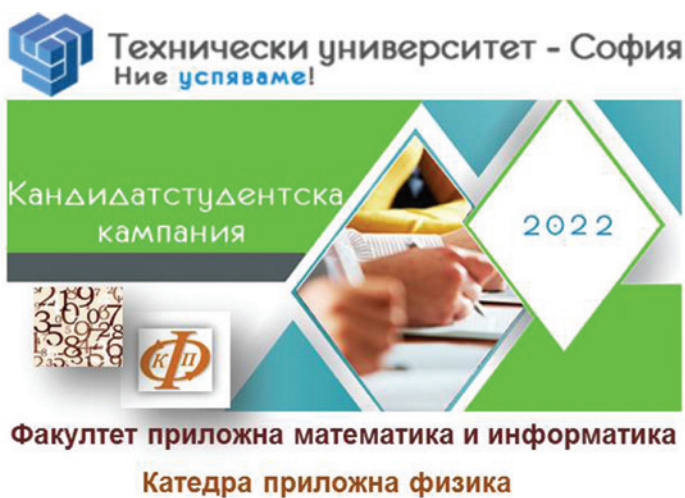


Специалността „Приложна физика и компютърно моделиране“ има за цел подготвянето на специалисти, които да са свързващо звено между фундаменталните знания, научните разработки, компютърното моделиране и симулации и индустриалните им приложения. Такива специалисти имат важна роля в прилагането на иновации и най-нови научни постижения.

Комплексният подход при обучението в предлаганата специалност осигурява на завършилите бакалаври по-голяма мобилност, адаптивност, кариерно развитие и възможност успешно да се впишат в съвременните изисквания на пазарната среда за развитие на индустрията.

Завършилите инженер-физици от специалност „Приложна физика и компютърно моделиране“ са подготвени да се реализират като конструктори, специалисти по проектиране, разработване и експлоатация на продукти във високотехнологични компании в областта на оптичните технологии, фотониката, лазерната техника, материалнообработването и микромашинните технологии, световодните комуникационни системи и прибори, на микро- и нанотехнологиите за електронни и оптоелектронни прибори.

Подходящо място за приложение на получените знания и умения може да бъде изследователска работа в институтите на БАН и в университетите, както и позиции на преподаватели в университети, търговски представители или дистрибутори на техника, представители на фирми, занимаващи се с инженерингова дейност.



Технически университет - София
Ние **успяваме!**

Кандидатстудентска
кампания

2022

Факултет приложна математика и информатика
Катедра приложна физика

Повече информация: <http://phys.tu-sofia.bg>



ИНОВАТИВЕН МЕТОД ЗА ПОЛУЧАВАНЕ НА ТЪНКИ СЛОЕВЕ И КОМПОЗИТНИ НАНОСТРУКТУРИ Е НАЙ-ДОБРОТО НАУЧНО ПОСТИЖЕНИЕ НА ИНСТИТУТА ПО ЕЛЕКТРОНИКА

Учени от Института по електроника на БАН разработват иновативен метод за получаване на тънки слоеве от алуминиев нитрид и композитни наноструктури от метални оксиди и благородни метали. Ръководители на научните изследвания, определени за най-добро научно постижение на Института за 2021 г., са доц. д-р А. Диковска (с колектив гл. ас. д-р Румен Ников и проф. д.фз.н. Николай Недялков) и доц. д-р М. Бешкова.

Една от целите на учените е да получат двумерни материали с различни свойства от тези на обемните материали. Разработен е високоефективен метод за атомно послойно отлагане на тънки слоеве от алуминиев нитрид с приложение за прибори на основата на повърхнинна акустична вълна. Моделирано е поведението на пиезоелектрични резонатори на основата на алуминиев нитрид в магнитно поле. Разработен е сензор за определяне на въглероден оксид на базата на тънки слоеве от злато и сребро върху двумерни материали.

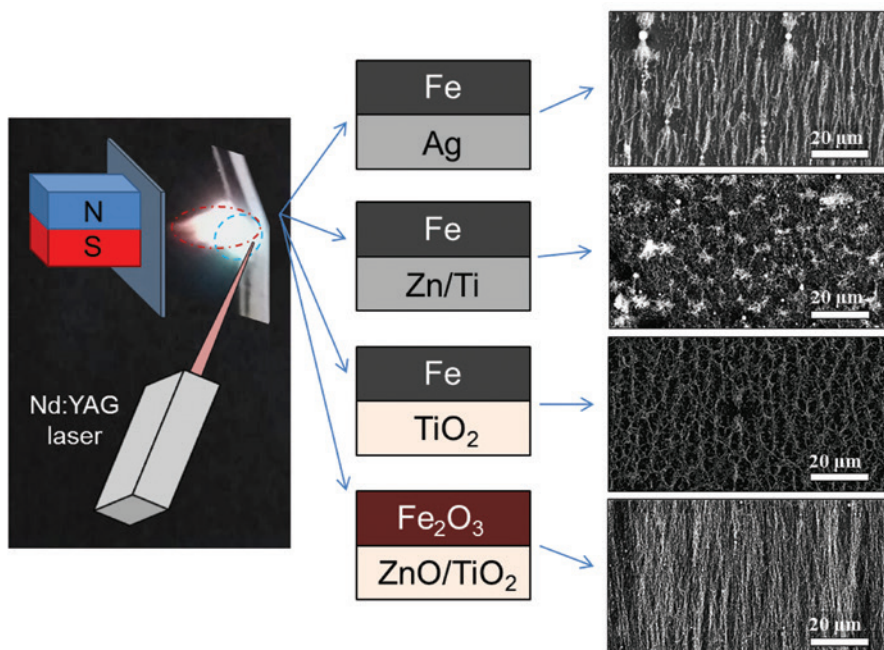
Сред научните постижения е и нов метод за формиране на ориентирани композитни нановериги. Изследванията на доц. Анна Диковска, гл. ас. Румен Ников и проф. Николай Недялков са публикувани в престижни научни списания на *Elsevier* и включват експериментални резултати за създаване на композитни наноструктури, състоящи се от магнитни и немагнитни наночастици от метален оксид.

Българските учени представят нов, едностъпков метод за формиране на композитни наноструктури, състоящи се от ориентирани магнитни нановериги и немагнитни наночастици. Методът се основава на едновременна аблация на магнитен и немагнитен материал във въздуха при атмосферно налягане в присъствие на магнитно поле. Създадените композитни наноструктури са изградени от магнитен (Fe_3O_4) и немагнитен материал – метален оксид (ZnO и TiO_2) или благороден метал (Ag). Композити от вида метален оксид–метален оксид могат да бъдат създадени чрез едновременна аблация на метални оксиди, които са с близки прагове на аблация като Fe_2O_3 и ZnO ; както и чрез едновременна аблация на метал/метален оксид (Fe/TiO_2) – при по-голяма разлика в праговете на аблация на съответните метални оксиди (Fe_2O_3 и TiO_2). Композити,

изградени от паралелни нановериги (Fe_3O_4) и наночастици от благороден метал (Ag), проявяват плазмонни свойства и чувствителност към поляризацията на светлината. Използваната технология позволява формирането на композитни наноструктури с висока чистота (използва се физически метод на създаване), получени по екологичен начин (не се използват химикали, няма рециклиране) чрез стандартно оборудване (комерсиален лазерен източник) във въздух (без използване на вакуумна камера).

Методът, предложен от научния колектив, може да намери успешно приложение в създаването на нов вид поляризатори и магнитооптични устройства, както и в наноелектрониката и спинтрониката.

Проведените научни разработки са финансирани от Фонд „Научни изследвания“.



УПРАВИТЕЛНИЯТ СЪВЕТ НА СЪЮЗА НА ФИЗИЦИТЕ В БЪЛГАРИЯ



ОБЯВЯВА НАЦИОНАЛЕН КОНКУРС ЗА ЕСЕ ЗА УЧЕНИЦИ И СТУДЕНТИ НА ТЕМА: „ФИЗИКА, ФИЗИЦИ И ОКОЛНА СРЕДА“

Авторите трябва да посочат след заглавието на есето си имената си, името на научния ръководител на избраната тема, класа и учебното заведение, дадено с адрес и пощенски код, както и електронна поща и телефон за контакт. Есета без тази информация няма да бъдат разгледани от журито. Текстът на есетата трябва да бъде в обем до 4 страници във формат Word for Windows, шрифт Times New Roman, 12 pt, 1 line spacing. Желателно е да се посочват източниците на използваната информация (книги, сайтове, публикации и т.н.).

Примерни теми:

- Физични явления в климата, атмосферата и водите на Земята.
- Причини за климатичните промени, последиците от тях и влиянието им върху околната среда.
- Човешки дейности, влияещи върху околната среда и свързани с климатичните промени.
- Физични методи и апаратура за изследване на климатичните промени.
- Физики и постиженията им в изследването на климатичните промени и опазването на околната среда.
- Други.

Есетата се изпращат по електронната поща на e-mail:
physconfedu@phys.uni-sofia.bg с копие на адрес: lazarova@usb-bg.org.

Краен срок: 30.04.2022 г.

С участието си в конкурса авторът се съгласява да предостави безвъзмездно правата неговата работа да бъде класирана, избирана, показвана в различни интернет ресурси, споделяна в социални мрежи, печатана и експонирана за нуждите на конкурса и последващите събития, организирани във връзка с него.

Есетата ще бъдат оценявани от компетентно жури.

Отличените с I, II и III награда есета в трите възрастови групи (6 – 8 кл., 9 – 12 кл. и студенти) ще бъдат отпечатани в брошура за Младежката научна сесия, която ще бъде качена на сайтовете на Съюза на физиците в България и на Европейската нощ на учените 2022.

Подбрани от журито на конкурса есета, представящи дейността на български учени, свързана с изследването на климатичните промени и опазването на околната среда, ще бъдат отпечатани в бр. 12 на в. *Homo Sciens* (ISSN 1312 8884), издание по проект „Европейска нощ на учените 2022“.

Резултатите от конкурса ще бъдат обявени на **24 май 2022 г.** на сайта на Съюза на физиците в България, а времето и мястото на награждаването ще бъдат съобщени допълнително.

ЗА АКАДЕМИК СТЕПАН ЮРИНИЧ БЪЛГАРИЯ Е ВТОРА РОДИНА!

(По случай 75 години от смъртта му)

Васил Големански

Кой е Степан Юринич? Коя е неговата истинска родина и защо той идва в България? Какво е неговото дело в страната ни и защо е избран за действителен член на БАН още в далечната 1900 г.? Ако потърсите отговор на тези въпроси във всезнаещата „Уикипедия“ на български език, ще откриете че, „статията за него е още мъниче и се нуждае от допълнение“. Това ни мотивира да представим на Вашето внимание, уважаеми читатели, по-подробни сведения и данни за живота и делото на този скромен и заслужил за българската наука и образование хърватски учен.



Фотос 1. Степан Юринич
(1855 – 1947)

Степан Юринич (Фотос 1), за съжаление второто му име е неизвестно, е роден през далечната 1855 г. (15 ноември) в малкото хърватско село Петровина (окръг Ястребарски), недалече от Загреб. В родното си село завършва основното си образование, а през 1876 г. и класическата гимназия в Загреб. След завършването на гимназията се записва за студент по естествени науки в Загребския университет, който завършва успешно през 1880 г. По това време в Загребския университет следват и много български студенти, между които геологът Георги Златарски, просветният деец и дипломат Михаил Сарафов, физикът-метеоролог и сеизмолог Спас Вацов и други, с които студентът Степан Юринич поддържа трайни приятелски връзки. Особено близки били приятелските

връзки с неговия състудент от същата специалност – естествени науки, Георги Златарски, който се отличавал с буен нрав, но бил и отличен певец на български песни. Когато през 1978 г. България е освободена от турското иго, българските студенти организират в Загреб голямо празнично тържество и концерт, на което присъства и Степан Юринич. В спомените си по-късно той пише: „На този празничен концерт и тържество присъстваха най-видни лица от хърватския научен и политически свят... С песни, декламации и речи, в които се пожелаваха щастливо бъдеще на младия балкански лъв, достойно завърши

тоя празник...“. След завършването на университета и преди завръщането си в България бъдещият именит български геолог проф. д-р Георги Златарски кани Степан Юринич да дойде в нашата наскоро освободена родина и да помага за нейното възстановяване след почти петстотин годишното робство.

Младият 26-годишен Степан Юринич, завършил наскоро Загребския университет, приема поканата и през 1881 г. идва в България. По препоръка на проф. Г. Златарски той още на 10.X. същата година е назначен от Министерството на народното просвещение за учител по естествознание в гимназията в гр. Силистра. След 2-годишно учителстване в Силистра той е преместен в Софийската мъжка гимназия (1883 – 1885), по-късно в Ломската реална гимназия (1886), Габровската реална гимназия (1886 – 1891) и отново се завръща в Софийската мъжка гимназия (1891 – 1898). Заобичал България още от първите години на престоя си в страната, той се оженва за българка от Лом и това още повече го мотивира да остане в страната ни. Като учител се сближава със своя ученик Тодор Г. Влайков и други български интелектуалци и се включва в новооснованото от тях „Народообразователно дружество“, а от 1892 – 1895 г. е и член на неговия Управителен съвет. За своя учител, години по-късно, по случай неговата 85-годишнина, Т. Г. Влайков пише следните топли думи: „Мил и хубав спомен съм запазил за времето, когато Вие бяхте наш учител в Софийската мъжка гимназия... Вашето преподаване ни увличаше и будеше у нас жив интерес към този учебен предмет...“. По времето, когато Ст. Юринич е учител, от Министерството на народното просвещение му възлагат и той изработва първия у нас „Правилник за реалните и класическите гимназии“, както и „Правилник за провеждане на държавните зрелостни изпити“.

През 1880 г. Ст. Юринич взема активно участие и в основаването на просветното дружество „Славянска беседа“ в София, а през 1883 г. е и секретар на дружеството. Проявява се като активен радетел за утвърждаване на разностранни културни и образователни инициативи между България и Хърватско, поощрява и съдейства български студенти да получават стипендии и продължават обучението си в Загреб, работи за установяване на контакти и сътрудничество между български и хърватски културни организации, пише статии и дописки в хърватски вестници за културния и икономическия живот в България.

След създаването на Висшето училище в София през 1888 г., прераснало по-късно в Софийски университет, младият учител-естественик е поканен за преподавател и от 1891 г. е назначен за извънреден професор по зоология в него. Три години по-късно е избран за доцент, а от 1.01.1904 г. и за редовен професор по зоология и сравнителна анатомия на гръбначните животни. Така проф. Степан Юринич става първият български професор по зоология и продължава да работи и преподава в Софийския университет до 1914 г., когато

се пенсионира по свое желание. В битността си на професор в Университета той е бил 2 години декан на Физико-математическия факултет (1910 – 1911), а през следващите 2 години (1911 – 1912) и ректор на Софийския университет. Интересен детайл от живота на проф. Юринич в България, който показва наистина, че той е приемал България като своя втора родина е и фактът, че той се записва като доброволец в Сръбско-българската война (1912 – 1913) и участва в Четвърта рота на Оряховското опълчение.

Като естественик и зоолог професор Ст. Юринич е оставил трайни следи и в проходащата българска наука в началото на XIX в. По времето, когато е учител в Габровската гимназия, изследва близката пещера „Полички“ в района на Дряновския манастир и открива за първи път останки от праисторически човек в България. В обширна статия, публикувана през 1891 г., прави подробно описание на пещерата и намерените в нея кости на диви животни, вероятно използвани за храна от древните обитатели на пещерата, керамични съдове и примитивни оръдия на труда.

Три години по-късно, като преподавател в Софийския университет, проф. Юринич публикува обширна статия за състава и разпространението на многоножките (клас *Myriapoda*) в България. В нея дава списък и данни за разпространението на установените от него 39 вида в нашата страна, събирани от десетки планини и селища в страната. Този фундаментален за времето си труд е публикуван през 1904 г. в „Сборник за народни умотворения и книжнина“ на Българското книжовно дружество (БКД). От посочените многобройни находища на тези видове в България може да се види, че в онези трудни времена, без обществен транспорт, проф. Юринич е обиколил почти цялата страна и основните българските планини за написването на тази пионерна фаунистична публикация за България. През същата 1904 г. в „Периодическо списание на Българското книжовно дружество“ проф. Юринич публикува и подробна статия за морфологията, биологията и разпространението на скорпионите от род *Euscorpius* в България. В статията е предложена и оригинална определителна таблица за всички известни по това време видове от този род в Европа.

На проф. Ст. Юринич дължим и едни от първите подробни изследвания на сухоземните и водните мекотели в България. В 2 научни статии, публикувани през 1906 и 1908 г., той съобщава за намирането, разпространението в страната и биологията на 5 вида голи и 16 вида черупчести охлюви, някои от които са известни вредители по културните растения. В друга публикация от този период в „Годишник на Софийския университет – Физико-математически факултет“ (1906) той публикува и резултатите от своите проучвания върху сладководните миди в нашите реки и езера. Установява общо 9 вида и вариетети сладководни миди от 3 рода – *Anodonta*, *Dreissena* и *Unio* от много естествени водоеми в

страната в началото на миналия век. И след пенсионирането си като професор в Софийския университет проф. Юринич не прекъсва интересите и проучванията си върху българската фауна. През 1917 г., в съавторство с неговия студент и по-късно известен зоолог-арахнолог проф. д-р П. Дренски, публикува обемист труд в „Списание на БАН“, озаглавен „Принос към фауната на паяците в България“, в който дават сведения за 206 вида паяци, установени на територията на България, между които описват и един непознат за науката дотогава вид от околностите на София и Източна България.

За неговата активна преподавателска, научна и обществена дейност в нашата страна проф. Степан Юринич е избран през 1898 г. за дописен член, а през 1900 г. и за действителен член (академик) на Българското книжовно дружество (днешния БАН). След почти 35 години, отдадени за развитието на просветното, научно и обществено дело в България, през 1916 г. проф. Юринич се завръща в родната си Хърватия. Доживява до дълбока старост – 92 години и почива на 27 февруари 1947 г. в Загреб.



Фотос 2. Откриване на паметната плоча на акад. Ст. Юринич в Биологическия факултет на Софийския университет в присъствието и на посланичката на Хърватия г-жа Л. Алайбек

Името на академик Степан Юринич ще остане в паметта на българската културна общественост като пример за скромен учен и педагог, голям приятел на България, посветил живота си за развитие на националната ни наука и образование и за утвърждаване на културните връзки между българския и хърватския народи. В знак на признание за неговото дело като пръв професор по зоология в България днес на видно място в Биологическия факултет на Софийския университет е открита паметна плоча за него и една аудитория носи неговото име. А за неговото отношение и любов към България най-добре звучат следните написани от него през 1924 г. думи: „Аз съм щастлив, че съм първият хърватин, който трябваше да работи за сближаването на българи и хървати... В душата ми е ясно, че като роден хърватин мога да бъда и български поданик с чиста съвест на човек, щастлив и горд, че е посветил целия си живот на българския народ и на задълбочаване на връзките между българи и хървати“.

BULGARIA IS A SECOND HOMELAND FOR ACADEMICIAN STEFAN JURINICH

Vassil Golemansky

Academician Stefan Jurinic was a Croatian zoologist who came to Bulgaria in 1881 to help the young Bulgarian state after the Liberation (1878). He taught natural sciences in various Bulgarian towns (1881 –1890), and from 1891 he was a professor of zoology at Sofia University. During his 35 years of residence in Bulgaria, he developed active research activity in the field of zoology, participated in the public life of the country and the management of the University, married a Bulgarian woman and took Bulgarian citizenship. He was rector of Sofia University (1911 – 1912), corresponding member of the Bulgarian Academy of Sciences (1898) and academician (from 1900). He returned to Croatia in 1916 and died in Zagreb at the age of 92 (1947). As a token of appreciation, an auditorium at the Faculty of Biology of the University of Ljubljana is today named after him.



Поколение, което твори!

<https://photonics.bg/>

ДЖЕЙМС КЛАРК МАКСУЕЛ – ФИЗИК, ПОЕТ, АВТОР НА ПЪРВАТА ЦВЕТНА ФОТОГРАФИЯ

Сашка Александрова



Джеймс Кларк Максвел (James Clerk Maxwell) е шотландски физик, ерудит, един от най-влиятелните учени не само на XIX в. Влиянието му се простира далеч напред във времето. За физиците и повечето представители на природните науки и математиката Максвел е известен главно като основателят на класическата електродинамика. Приносите му могат да се проследят в почти всички области на физиката. Малко са хората, които знаят, че той е бил и популяризатор на науката, поет, експериментатор и изобретател, общителна личност с чувство за хумор, автор на първата цветна фотография. За широката публика той остава почти непознат.

През 2021 г. се навършиха 190 години от рождението на Джеймс Максвел. Живял и творил през втората половина на XIX в., той определя облика на класическата физика чрез идеите за обединение на физичните закони на електродинамиката: теорията на електричеството, магнетизма и оптиката.

Епохата на класическата физика обхваща един сравнително широк период от XVII, XVIII и XIX в. Основите ѝ са положени през Ренесанса от редица учени. Сред тях особено място заема Исак Нютон със своите принципи, формулирани в основната му работа *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, което го определя като създателя на класическата механика. Той заема видно място в историята на физиката и в математизирането на естествените науки. През XIX в. са поставени основите на термодинамиката. Разработени са и концепцията за енергия и законът за нейното запазване. Микроскопската интерпретация на термодинамиката като статистическа теория на ансамблите от голям брой частици, които се подчиняват на законите на класическата механика, довежда до развитието на статистическата механика, за което героят на настоящия разказ Джеймс Кларк Максвел има съществен принос заедно с Джозая Уилард Гибс (Josiah Willard Gibbs) и Лудвиг Болцман (Ludwig Boltzmann). Макс Планк и Алберт Айнщайн, основателите на модерната физика в началото на XX в., познават добре термодинамиката и статистическата механика и първоначално стават известни именно с работите си в тези области. Върховното постижение на Максвел са неговите теоретични работи върху електромагнетизма и светлината, които до голяма степен определят посоката, която ще поеме физиката

в началото на XX в. Според Алберт Айнщайн, „една научна епоха приключи и друга започна с Джеймс Кларк Максвел“.

Максуел обединява три големи области на физиката: електричеството, магнетизма и оптиката, така както Нютон синтезира различните науки за земното и планетарното движение. Израз на това обединение Максвел дава чрез система от уравнения, които обхващат всички случаи, в които електрични токове и променящи се магнитни полета генерират други електрични и магнитни полета, и така се превръщат в крайъгълния камък в електродинамиката.

$e + \frac{df}{dx} + \frac{dg}{dy} + \frac{dh}{dz} = 0$	(1) Закон на Гаус
$\mu\alpha = \frac{dH}{dy} - \frac{dG}{dz}$ $\mu\beta = \frac{dF}{dz} - \frac{dH}{dx}$ $\mu\gamma = \frac{dG}{dx} - \frac{dF}{dy}$	(2) Закон на Гаус за магнитното поле
$P = \mu \left(\gamma \frac{dy}{dt} - \beta \frac{dz}{dt} \right) - \frac{dF}{dt} - \frac{d\Psi}{dx}$ $Q = \mu \left(\alpha \frac{dz}{dt} - \gamma \frac{dx}{dt} \right) - \frac{dG}{dt} - \frac{d\Psi}{dy}$ $R = \mu \left(\beta \frac{dx}{dt} - \alpha \frac{dy}{dt} \right) - \frac{dH}{dt} - \frac{d\Psi}{dz}$	(3) Закон на Фарадей (силата на Лоренц и закона на Поасон)
$\frac{d\gamma}{dy} - \frac{d\beta}{dz} = 4\pi p'$ $\frac{d\alpha}{dz} - \frac{d\gamma}{dx} = 4\pi q'$ $\frac{d\beta}{dx} - \frac{d\alpha}{dy} = 4\pi r'$	$p' = p + \frac{df}{dt}$ $q' = q + \frac{dg}{dt}$ $r' = r + \frac{dh}{dt}$ (4) Закон на Ампер-Максуел
$P = -\xi p \quad Q = -\xi q \quad R = -\xi r$	Закон на Ом
$P = kf \quad Q = kg \quad R = kh$	Материални уравнения
$\frac{de}{dt} + \frac{dp}{dx} + \frac{dq}{dy} + \frac{dr}{dz} = 0$	Уравнение на непрекъснатост

Фигура 1. Уравненията на Максвел в оригиналния запис. Съответствието на съвременните и оригиналните променливи е както следва: $E \leftrightarrow (P, Q, R)$; $D \leftrightarrow (f, g, h)$; $H \leftrightarrow (\alpha, \beta, \gamma)$; $B \leftrightarrow \mu(\alpha, \beta, \gamma)$; $J \leftrightarrow (p, q, r)$; $\rho \leftrightarrow e$; Ψ е електричният потенциал; (F, G, H) е магнитният потенциал. Оригиналният набор от уравнения включва закона на Ом, силата на Лоренц и уравнението за непрекъснатост за заряда

Основната му работа – „Динамична теория на електромагнитното поле“, която Максвел публикува през 1865 г., синтезира резултатите от предишни статии, в които разработва математично описание на опитите на Фарадей.

Пълната система уравнения, формулирана в тази работа, е дадена на Фигура 1. Системата той представя под формата на 20 взаимосвързани уравнения, които съдържат 20 променливи. Тези уравнения той въвежда в съответствие с познанията от механиката на флуидите.



Фигура 2. Паметник на Джеймс Кларк Максвел в Единбург (а). Уравненията на Максвел в съвременната им форма, изобразени на бронзов плакет, вграден в основата на паметника (б). (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:James_Clerk_Maxwell_statue_in_George_Street,_Edinburgh.jpg)

Няколко години по-късно Оливър Хевисайд (*Oliver Heaviside*) и Уилям Гибс (*William Gibbs*) трансформират системата до 4 уравнения в най-използвания понастоящем векторен запис. В този вид те все още се преподават на учени и инженери до днес. Няма физик, който да не познава уравненията на Максвел в съвременната им форма. Много физици ги определят като най-красивите уравнения в историята на науката. На Фигура 2 те са показани, както са изобразени на бронзов плакет до паметника на Максвел в Единбург.

Векторният запис на уравненията не е лесно приет. По това време много учени, включително самият Максвел, са били убедени, че правилният запис за електродинамиката трябва да е с кватерниони (обобщение на комплексните числа за тримерен анализ), а не с вектори. Един век по-късно Айнщайн въвежда Специалната теория на относителността и оттогава е обичайно да се записват уравненията на Максвел с четири вектора.

Според Ричард Файнман, „От гледна точка на историята на човечеството в дългосрочен план, да кажем след десет хиляди години, не може да има съмнение, че откриването от Максвел на законите на електродинамиката ще бъде оценено като най-значимото събитие на XIX век“.

Работите на Максвел довеждат до революция във физиката, която Айнщайн определя по следния начин: „От времето на Максвел физическата реалност се разглежда като представена от непрекъснати полета, управлявани от

частни диференциални уравнения, без необходимост от никаква механична интерпретация“.

По време на живота си Максвел демонстрира изключителна способност да мисли широко и задълбочено върху научните въпроси и да ги излага добре. Основният му труд „Динамична теория на електромагнитното поле“ е обемист трактат, организиран в 7 глави. Една от целите, които си поставя, е да представи прогнози от теорията, които могат да бъдат предпоставка за бъдещи иновативни експерименти, простиращи се отвъд известните тогава.

През целия му живот неговата многообразна работа го разкрива като талантлив, гъвкав, ангажиран учен, чиято работа е забележителна не само с чисто научното си майсторство, но и с широтата на хоризонта и упоритостта. Въпреки че поставянето на основите на електромагнетизма се оценява като най-голямото му постижение, той има приноси в много други области на физиката, описанието на които изисква специално внимание. Ще отбележим само някои от тях.

Една тема, по която Максвел работи четири години между 1856 и 1860 г., е определянето на структурата и състава на пръстените на Сатурн – проблем, който е затруднявал учените в продължение на повече от 200 години. Той показва, че пръстените на Сатурн не са твърди, течни или газообразни, а се състоят от огромен брой независими частици. Потвърждението идва от наблюденията на Вояджър 2 (изстрелян през 1977 г. и напуснал Слънчевата система в края на 2018 г.), който прелетя покрай Сатурн през 80-те години на миналия век.

Максвел ни подари и „Демонът на Максвел“, наречен така от друг велик



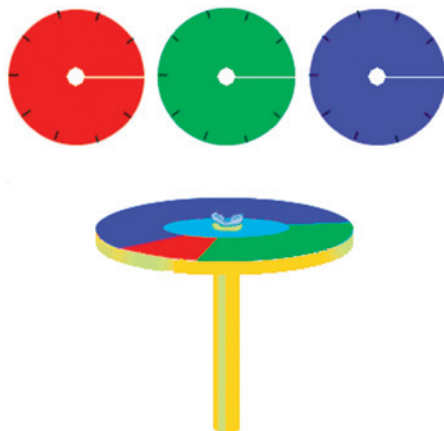
Фигура 3. Скулптура „Maxwell & His Demon“ на стена в Университета в Орегон. Демонът е автопортрет на автора

физик Уилям Томсън, лорд Келвин (*William Thomson, 1st baron Kelvin*), микроскопичен персонаж, който може да подкопае втория закон на термодинамиката, служейки като интелигентна врата за разделянето на бързи и бавни молекули, без да изразходва енергия – привиден парадокс, който оттогава вълнува умовете на физиците. Описание на мисловен експеримент с участието на Демона Максвел прави в книгата си „Теория на топлината“ от 1872 г.

Максвел прави експерименти по теория на цветовете и изобретява „диска на Максвел“ – диск, монтиран върху пумпал, на който са нанесени слоеве с различни бои (Фигура 4). При въртенето му се наблюдават различни интересни цветови комбинации: червен и жълт образуват оранжев, синьото и жълтото се сливат в зелено, а при смесването на всички основни цветове от спектъра повърхността на диска на въртящия се пумпал

се превръща в бяла.

Максуел се счита за изобретател на цветната фотография. През 1861 г. той е поканен да изнесе лекция като нов член на Кралската академия (*Royal Society*). Темата е „Относно теорията на трите цвята“. Максуел иска да демонстрира пред публиката, че всъщност всички цветове могат да бъдат получени по подходящ начин чрез смес от червена, зелена и синя светлина. Това може да стане с помощта на цветния диск, но е неподходящо за голяма аудитория. Черно-бяла фотография може да бъде прожектирана на голям екран. Ако се направи цветна снимка, тя ще може да бъде показана по този начин. Максуел осъществява идеята с помощта на Томас Сътън (*Thomas Sutton*), професионалист фотограф. Той заснема многоцветна шотландска лента с ярки цветове, като тази на Фигура 5а, поставена върху черно кадифе. Прави три отделни черно-бели снимки, една през син, една през зелен и една през червен филтър. С помощта на три проектора, оборудвани с подобни филтри, трите изображения са прожектирани, насложени върху екран. Получава се цветното изображение, показано на Фигура 5б, което е представлявало разпознаваемо възпроизвеждане на оригинала. Многобройната публика е очарована.



Фигура 4. Цветният диск на Максуел



Фигура 5. Многоцветна лента (а), Първата цветна фотография на Максуел (б)

През май 1961 г. в Лондон се провежда научна конференция, посветена на стогодишнината от демонстрацията на първата цветна снимка. Особено

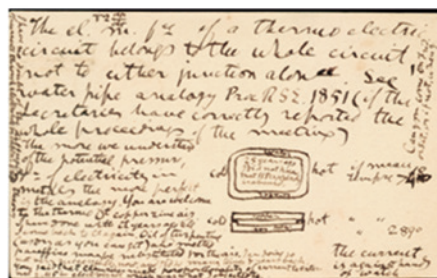
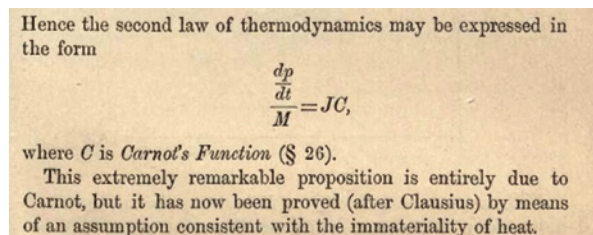
впечатление прави докладът на Р. М. Евънс (*R. M. Evans*). Той е успял с помощта на Кавендишката лаборатория и фотографската компания Kodak, да се сдобие с по чудо запазен набор от негативи на Максвел и напълно да пресъздаде условията за показване на цветни диапозитиви. Изводът е, че на практика демонстрацията на Максвел изобщо не би трябвало да сработи. Роля изиграват случайността и добрият късмет. Максвел не знае, че използваните фотографски емулсии не са чувствителни към червена светлина. За щастие червеният плат в лентата отразява ултравиолетовата светлина. Това е невидимо за окото, но се регистрира върху емулсията. Така се получава правилният цветови баланс и е получена първата стабилна цветна фотография.

Тези експерименти на Максвел демонстрират ясно основните принципи на цветната фотография. Това всъщност представлява изобретяването на адитивната техника за трицветен синтез – възпроизвеждане на цветовете в резултат на оптично смесване на основните цветове (червено, зелено и синьо – R, G, B), което се използва при създаване на цветни изображения на екрана, както и на телевизионния екран – разделяне, използвано в печата, телевизионните екрани и мониторите.

През 1868 г. Максвел публикува поредна статия за електромагнетизма, в която значително опростява представянето на резултатите си. След като се е запознал с „Елементарен трактат за кватерниони“ (*An elementary treatise on quaternions*) на Питър Тейт (*P. G. Tait*), той решава да приложи кватернионния запис към многобройните математически съотношения в своята теория, което да направи възможно съкращаването и изясняването на техните обозначения. Един от най-полезните инструменти е на хамилтоновият оператор набла ∇ . Това име е предложено от Уилям Робъртсън Смит (*William Robertson Smith*), приятел на Максвел, заради формата на този символ, наподобяващ древна финикийска арфа, която древните гърци наричат набла. Максвел написва хумористична ода „Главният свирач на Набла“ (*Chief Musician upon Nabla*), посветена на Тейт. Успехът на това стихотворение осигурява консолидирането на новия термин за научна употреба.

Максвел поддържа активна кореспонденция с Томпсън и Тейт чрез пощенски картички, като често ги подписва с производната dp/dt . По същия начин подписва и остроумните си стихове на научни теми, които публикува в *Nature*. Псевдонима си той дължи на Тейт. През 1867 г. Томпсън и Тейт издават „Трактатът по естествена философия“ (*The Treatise on Natural Philosophy*), замислен като учебник за студентите. Трактатът става широко известен като T & T' и Томсън и Тейт използват тези съкращения в обширната си кореспонденция. Една от формулите в трактата е $dp/dt = JCM$ (Фигура 6a). Тъй като дясната страна съвпада с инициалите на Максвел – *James Clerk Maxwell*, той започва да използва

dp/dt като подпис. На Фигура 6б горе вдясно се виждат изписани адресатът T2, т.е. до двамата T, и авторът Максвел dp/dt . Формулата на Фигура 6а изразява втория закон на термодинамиката в означенията, използвани тогава, а именно, J е механичният еквивалент на топлината, C е универсалната функция на Карно в зависимост от температурата, а M е коефициент на пропорционалност, изразяващ погълнатата топлина за единица обем при изотермично разширение.



Фигура 6. Откъс от страница на „Трактат по естествена философия“ (а).
Картичка на Максвел, подписана с dp/dt (б)

Максуел е и популяризатор на физиката. Пише редица статии за *Encyclopædia Britannica* и популярни книги като „Теория на топлината (Theory of Heat)“ (1871), „Материя и движение“ (Matter and motion) (1873), „Елементарен трактат за електричеството“ (An Elementary Treatise on Electricity) (1881). „Материя и движение“ е пример за книга, предназначена за студентите, в която са изложени основите на динамиката. Написана просто, без жаргонен език, тя може да бъде използвана от всеки, който е има сравнително добри познания по математика от гимназията, без прекалено опростяване, като от читателя се изисква да мисли. Целта е истинско разбиране, а не просто помагало да се издържи изпит.

Максуел вижда напред в бъдещето, като предугажда теорията на хаоса, която чака още 100 години преди да бъде развита. Той прави следното забележително изявление:

Ако състоянието на нещата е такова, че безкрайно малко изменение на моментното състояние води само до безкрайно малко изменение на състоянието в някакъв бъдещ момент, то казваме, че състоянието на системата, независимо в покой или в движение, е стабилно; но ако една безкрайно малка промяна в настоящото състояние може да доведе до крайно изменение в състоянието на системата за крайно време, казваме, че състоянието на системата е нестабилно. Очевидно е, че съществуването на нестабилни условия прави невъзможно прогнозирането на бъдещи събития, ако нашите познания за сегашното състояние не са точни, а само приблизителни“.

Максуел се занимава и с лабораторни изследвания. Съпругата му Катрин

Дюър (*Kathrine Dewer*) е негов постоянен помощник при провеждането на различни експерименти.

Максуел подкрепя всяка експериментална инициатива. Кавендишката лаборатория, която той проектира и стартира, става мястото на много открития, включително на електрона и структурата на ДНК. Без особено преувеличение може да се каже, че ако проследим всички пътища на съвременните физични изследвания до началната им точка, ще се окажем именно пред Максвел.

Невероятната дълбочина на неговите изследвания и обхватът на неговото влияние са наистина забележителни. Възниква въпросът, защо остава неизвестен за широката публика. Могат да се очертаят различни причини, но може би основната е, че много от идеите му са силно изпреварили времето си. Това най-добре се илюстрира от неговата електромагнитна теория. През 70-те години на XX в. тя среща слаба подкрепа във Великобритания извън малка група в Кеймбридж. Това е такъв нов тип теория, така че повечето хора са просто объркани. Дори тези, които могат да следват цялата математика, не вярват на теорията, защото тя не се свежда до механични обяснения. Сред тях е и приятелят на Максвел, Уилям Томсън, който е най-влиятелният физик във Великобритания по това време. Теорията е приета на сериозно от Херман Хелмхолц (*Hermann von Helmholtz*) от Университета в Берлин. Неговият знаменит ученик Хайнрих Херц (*Heinrich Hertz*), професор в Университета в Карлсруе, поема предизвикателството и 8 години след смъртта на Максвел дава блестящо доказателство на теорията чрез откриването на електромагнитните вълни.

Следващите поколения вече израстват с уравненията на Максвел и се чувстват уютно в една вселена, изградена от полёта.

Още по-малко известен е Максвел като поет. Той съчинява поеми по всякакъв повод с хумор и лека ирония – преподаватели са написали учебник, студент е изпълнил труден експеримент, колега е получил портрет от известен художник. Ето една кратка поема в оригиналния ѝ вид и в доста свободен превод на български език:

Molecular Evolution

At quite uncertain times and places,
The atoms left their heavenly path,
And by fortuitous embraces,
Engendered all that being hath.
And though they seem to cling together,
And form "associations" here,
Yet, soon or late, they burst their tether,
And through the depths of space career.

Играта на молекулите

Незнайно кога, незнайно къде,
атомите напуснаха своя небесен път,
прегръщаха се по волята на случая.
И така възникна всичко.
Макар че вкопчени изглеждаха
да се държат в здрава връзка,
откъсваха се атомите рано или късно,
отлитайки в космическата шир.

Джеймс Максвел може най-добре да бъде определен чрез заглавието на една биография за него от 2003 г.: „Човекът, който промени всичко“.

Още за живота и творчеството на Джеймс Максвел можете да прочетете на страницата на „Светът на физиката“ от 2003 г., четиво с продължение, „*Martin Goldman, The demon in the aether: the story of James Clerk Maxwell*“, Подбор и превод: Михаил Бушев.

Литература

James Clerk Maxwell, „A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field“, Royal Society Transactions **155** 459 (1865)

William Thomson, Peter Guthrie Tait, „Treatise on Natural Philosophy“, Oxford University Press (1867)

https://de.wikipedia.org/wiki/Geschichte_der_Physik#Klassische_Physik

<https://www.technologie.news/wer-war-james-clerk-maxwell-der-groesste-physiker-von-dem-sie-wahrscheinlich-noch-nie-gehoert-haben/>

<https://www.lindahall.org/james-clerk-maxwell/>

M. Longair, Phil. Trans. R. Soc., **A 373** 20140473 (2015)

R. Flood, J. Phys.: Conf. Ser., **158** 012001 (2009)

<https://nvhrbiblio.nl/biblio/boek/Flood%20-%20James%20Clerk%20Maxwell.pdf>

R. M. Evans, The Journal of Photographic Science, **9** 243 (1961)

William H. Cropper, American Journal of Physics, **55** 120 (1987)

B. Mahon, „The Mman who Changed Everything, The Life of James Clerk Maxwell“, John Wiley & Sons Ltd (2003)

JAMES CLERK MAXWELL – PHYSICIST, POET, AUTHOR OF THE FIRST COLOR PHOTOGRAPH

Sashka Alexandrova

James Clerk Maxwell was one of the most influential scientists of the nineteenth century. His theoretical work on electromagnetism and light largely determined the direction that physics would take in the 20th century. With one set of equations Maxwell united three great realms of physics: electricity, magnetism and optics. Although almost everyone has heard of Newton and Einstein, Maxwell is almost unknown outside professional circles. The main reason is that many of his ideas were ahead of their time. He also constructed one of the first “color wheels” and presented the world's first demonstration of color photography by this principle of three-colour analysis and synthesis. Maxwell also enjoyed writing poetry, much of it with a scientific bent.

80-ГОДИШЕН ЮБИЛЕЙ НА АКАДЕМИК АНГЕЛ ПОПОВ



Почетният член и заместник-председател на Съюза на физиците в България акад. Ангел Сашев Попов, изявен преподавател и учен, навърши на 4 март 80 години.

Роден е в Габрово. Потомък (седмо поколение) е на габровския родолюбец и благотворител, радетел за българското образование, Радион Умников.

Завършва висшето си образование с магистърска степен по физика на полупроводници и диелектрици в Електрофизическия факултет на Държавния электротехнически университет „А. С. Попов“ в Ленинград със специалност „Физика на полупроводници и диелектрици“, където защитава и кандидатска дисертация (1968). Същата година с конкурс постъпва на работа във Физическия факултет на СУ „Св. Климент Охридски“, където преминава последователно през научните звания н.с. III – I ст., ст.н.с. II ст., доцент и професор. През 1990 г. защитава дисертация за научна степен „доктор на физическите науки“. В продължение на десет години проф. Ангел Попов е бил ръководител на катедра „Физика на полупроводниците“ (1992 – 2002). Чел е над 10 лекционни курсове в областта на научните области, в които е фокусирана научноизследователската му дейност: технология и изследване на полупроводникови материали. Бил е ръководител на повече от 50 дипломанти и 3 докторанти. От 1990 до 1993 г. е бил директор и зам.-директор на Института по физика и техника на полупроводниците при СУ „Св. Климент Охридски“. От 2008 г. е назначен като професор в Института по металознание на БАН. Бил е член на ОС на БАН като представител на този институт.

По време на мандата си като зам.-ректор по научноизследователската и административната дейност на СУ „Св. Климент Охридски“ (1999 – 2003) проф. А. Попов полага големи усилия за установяване на успешни работни контакти между БАН и нашата Алма Матер, за което е награден с почетния знак „За заслуги към БАН“.

Многогранна е изявата на акад. Ангел Попов като изследовател и учен, като създател на уникална физична технология на полупроводникови кристали и епитаксиални слоеве в областта на оптоелектрониката и приложението ѝ в прибори, намерили място в космическата програма „Шипка“. Впечатляващо е съучастието му в подготовката и провеждането на експерименталната програма на втория български космонавт Александър Александров, в която под ръководството на акад. Попов на орбиталната станция „Мир“ е осъществен

първият успешен експеримент за получаване на суперйонни кристали в условия на микрогравитация, наречен „Климент-Рубидий“. От особена важност е работата на акад. А. Попов като ръководител на широкомащабна програма за изследване на деградационни процеси в електронните и контакторни елементи и в изолационни материали в АЕЦ „Козлодуй“, а създадената методика е внедрена в експлоатацията на централата. Участвал е в проекти по 5-та, 6-та и 7-ма рамкова програма на ЕС.

Акад. Попов е автор на над 200 научни публикации, предимно в международни издания, 5 монографии и е съавтор в 10 монографии по актуални проблеми на физиката и на 35 научноприложни разработки. Има над 200 директни цитирания в престижни международни списания. Оценка за научната и публикационната му активност са международното признание, както и признанието му у нас, получено при избора му за чл.-кореспондент (2008) и действителен член (академик) на БАН (2015), връчването на Почетния знак „Марин Дринов“ на лента на Академията и Почетния знак „Св. Климент Охридски“ със синя лента на СУ „Св. Климент Охридски“.

Акад. А. Попов е член на Американската физикотехническа асоциация. Бил е член на Националната комисия за ЮНЕСКО, СНС по радиофизика и квантова електроника към ВАК, зам.-председател на Научната комисия по електротехнически науки, електроника и автоматика на ВАК, член и зам.-председател на Комисията по природни науки и на НЕК по физика към Националния фонд „Научни изследвания“, Националния съвет по метрология, на Консултативния съвет към АЕЦ „Козлодуй“, на Националния съвет по наука и иновации и др.

Специално внимание заслужава обществената дейност на акад. А. Попов в неправителствени научни организации. За дългогодишната му всеотдайна и ползотворна дейност като председател на Софийския клон и член на УС на Съюза на физиците в България (1993 – 2002) и за изключителните му заслуги към общността на физиците в нашата страна е избран за Почетен член на СФБ, а от 2020 г. е зам.-председател на Съюза. Основател и Почетен председател е на Софийския клуб на физика. За активната му съюзна дейност като дългогодишен член на Съюза на учените в България и като негов зам.-председател (2002 – 2012) е избран за Почетен член на професионалната организация на българските учени.

В интервю за НаукаOFFNews по повод представянето на 27 септември 2017 г. на последната му монография, издадена на английски език, със заглавие: „*Functional semiconductor structures with heterostructural transition region*“ („Функционални полупроводникови структури с хетеропреходни съгласуващи области“), акад. Ангел Попов прави следната равностметка на жизнения си път: „Цял живот съм се занимавал с това, на което съм се посветил – образование,

живот и развитие, и намерих удовлетворение, реализирах се от най-ниското стъпало до най-високото“.

Изказвайки своята признателност на акад. Ангел Попов за ползотворната му неуморима и всеотдайна дейност в сферата на науката и образованието, а също така и като дългогодишен активен член на СФБ, му пожелаваме здраве, бодър дух, сили и неотслабваща енергия, за да намира все така удовлетворение в творческата си дейност!

Управителен съвет на Съюза на физиците в България

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.

Банкова сметка: Първа Инвестиционна Банка

IBAN: BG91FINV91501215737609; BIC: FINVBGSF

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

МОЕТО БЪДЕЩЕ НА СПЕЦИАЛИСТ – МЕЧТИ, ПЛАНОВЕ И РЕАЛНОСТ¹

Огнян Петков

„Разполагах с примитивна апаратура, но имах собствена идея. А това е най-важното. Защото може да имаш скъпи уреди, най-модерна апаратура, но нямаш ли собствена идея, откритие няма да направиш“.

Акад. Георги Наджаков

Прогресът е резултат на стремежа. Отговор на въпрос. В основите на физиката лежат задаването на въпроси и търсенето на отговори на база експерименти и неща, които са обозрими. Това е наука, която въпреки популярното мнение, че не е достъпна за всеки, е вградена в нас именно поради несъзнателния стремеж към експериментиране. За мен изборът на физиката като област, в която да се развивам, бе продиктуван именно от този изследователски хъс.

Бидейки втори курс магистър в СУ „Св. Климент Охридски“ в експерименталната специалност „Оптика и спектроскопия“, ми предстои дипломиране. През последната година се потопих в широката област на спектроскопията с помощта на моя преподавател проф. д.фз.н. Асен Пашов. Развих теоретичните и експерименталните си познания в областта на атомната, молекулната и плазмената физика, както и разширих практичните си умения, нужни на всеки млад учен.

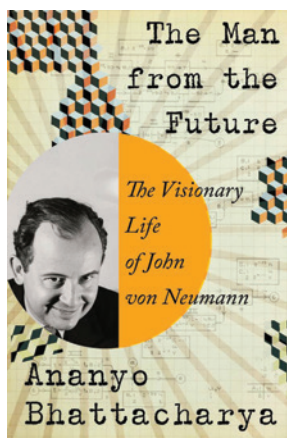
От вече 2 години и половина имам удоволствието да работя и в Института по физика на твърдото тяло „Акад. Георги Наджаков“ на БАН. Там съвместната работа с двамата ми ръководители доведе до полагане на основите и развитието ми в науката по две отделни тематик: липидни мембрани и техните свойства и свръхпроводящи керамични добавки към цинкови електроди. Чрез участия в конференции имах възможността да се запозная с много опитни учени и да разширя погледа си над науката.

Така съчетанието на университетското следване с научна работа и доскоро преподаване на физика в училище ми позволиха да се отдам и трупам знания в една и съща област, в която искам да се реализирам. Мечтата ми продължава да бъде да се занимавам с наука. За целта след дипломирането като магистър пред мен ще има трудни за отговор въпроси. Дали да продължа с докторантура в Софийския университет, в БАН или в чужбина? Дали отново ще намеря време да преподавам и популяризирам физиката сред учениците? Макар да не мога да дам отговор на тези въпроси в настоящето, сигурен съм, че независимо какво ще избира, физиката е моето бъдеще.

¹ Носител на стипендията на фондация „Еврика“ за постижения в овладяването на знания в областта на физиката на името на акад. Георги Наджаков за уч. 2021/2022 г.

ЧОВЕКЪТ ОТ БЪДЕЩЕТО: ВИЗИОНЕРСКИЯТ ЖИВОТ НА ДЖОН ФОН НОЙМАН

(The Man from the Future: The Visionary Life of John von Neumann)



В началото на годината в издателство *Amazon* излезе книга под горното заглавие с автор Ананьо Бхатачаря (*Ananyo Bhattacharya*), писател с диплома по физика и докторска степен, работил за *Economist* и *Nature*. Това е увлекателна биография на един от най-необикновените учени на XX век и разказ за света, който той създаде.

Смартфоните в ръцете ни и компютрите като мозъци, капризите на теорията на игрите и еволюционната биология, ядрени оръжия и самовъзпроизвеждащи се космически кораби, всички те носят следите на един забележителен, но до голяма степен пренебрегван учен: Джон фон Нойман.

Роден в Будапеща в началото на XX век, фон Нойман е един от най-влиятелните учени, живели някога. Още в гимназията прави трайни приноси към математиката. В Германия, където участва при изграждането на основите на квантовата механика, а по-късно и в Принстън, колегите му, всички до един, вярват, че той има най-бързия мозък на планетата. Фон Нойман играе важна роля в проекта „Манхатън“ и проектирането на атомната бомба; способства за формулирането на основите на геополитиката от Студената война и съвременната икономическа теория; създава първия програмируем цифров компютър; предсказва потенциала на нанотехнологиите. Дори от смъртното си легло той работи относно границите на мозъците и компютрите и как те могат да бъдат преодоляни.

Отвеждайки ни на удивително пътешествие, Бхатачаря изследва как комбинация от гениалност и уникални исторически обстоятелства позволяват на фон Нойман да премине през зашеметяващо разнообразни области, предизвиквайки революции, с каквото и да се заеме. „Човекът от бъдещето“ е проникателна и вълнуваща интелектуална биография на един визионерски мислител.

„Научният принос, направен от фон Нойман в средата на XX-ти век, изглежда все по-заstraшително пророчески с всяка изминала година“, пише Бхатачаря. „Неговият начин на мислене е толкова свързан с предизвикателствата, пред които сме изправени днес, че е изкушаващо да се питаме дали той е пътешественик във времето, който незабелязано посява идеи, за които е знаел, че ще са необходими за оформянето на бъдещето на Земята“.

НА ВНИМАНИЕТО НА БЪДЕЩИТЕ ВЕЛИКОДУШНИ И ЩЕДРИ
СПОМОЩЕСТВОВАТЕЛИ НА „СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА“

Банкова сметка на СФБ:
IBAN: BG91FINV91501215737609
BIC: FINVBGSF
ПЪРВА ИНВЕСТИЦИОННА БАНКА

Корица: Сондата „Паркър“ докосва слънцето, фото колаж – Б. Жеков

НАШИТЕ АВТОРИ:

Сашка Александрова – проф. д.т.н., Технически университет, София;
Радостина Ташева – гл. ас. д-р, Технически университет, София;
Петко Б. Кръстев – гл. ас. д-р, Институт за ядрени изследвания и ядрена
енергетика, Българска академия на науките;
Деница Алуани – гл. ас. д-р, Медицински университет – София;
Динко Динев – доц. д-р, Институт за ядрени изследвания и ядрена
енергетика, Българска академия на науките;
Васил Големански – акад., Институт по биоразнообразие и екосистемни
изследвания, Българска академия на науките;
Огнян Петков – студент, Физически факултет, Софийски университет
„Св. Климент Охридски“.

СВЕТЪТ НА ФИЗИКАТА 1'2022 СЪДЪРЖАНИЕ

РЕДАКЦИОННО

НАУКА

- Р. Ташева – Нобеловата награда по физика 2021 – за моделиране на климатичните промени
- П. Б. Кръстев – Възможности на физичния метод за изследване, основан върху физичния ефект ядрен гама-резонанс и приложения на Мьосбауеровата спектроскопия
- Д. Алуани – *In vitro* методи за оценка на токсичния потенциал на наночастиците
- Д. Динев – Някои от най-важните постижения във физиката през 2021 година

НАУЧНИ ПРОЕКТИ

- Иновативен метод за получаване на тънки слоеве и композитни наноструктури е най-доброто научно постижение на Института по електроника

ИСТОРИЯ

- В. Големански – За академик Степан Юринич България е втора родина!

ГОДИШНИНА

- С. Александрова – Джеймс Максвел, физик, поет, автор на първата цветна фотография

ЮБИЛЕЙ

- 80-годишен юбилей на академик Ангел Попов

МЛАДИ ИЗСЛЕДОВАТЕЛИ

- О. Петков – Моето бъдеще на специалист – мечти, планове и реалност

КНИГОПИС

- Човекът от бъдещето: Визионерският живот на Джон фон Нойман

THE WORLD OF PHYSICS 1'2022 CONTENTS

EDITORIAL 1

SCIENCE

- R. Tasheva – The Nobel Prize in Physics 2021 – for modelling of the climate changes..... 3
- P. B. Krastev – Possibilities of the Physical Method of Research Based on the Physical Effect Nuclear Gamma Resonance and Applications of Mössbauer Spectroscopy 10
- D. Aluani – *In vitro* Methods for Evaluation the Toxic Potential of Nanoparticles 23
- D. Dinev – Some of the Most Important Achievements in Physics in 2021 34

SCIENTIFIC PROJECTS

- An Innovative Method for Obtaining Thin Films and Composite Nanostructures is the best scientific achievement of the Institute of Electronics..... 51

HISTORY

- V. Golemanski – Bulgaria is a Second Homeland for Academician Stefan Jurinich 54

ANNIVERSARY

- C. Aleksandrova – James Maxwell – Physicist, Poet, Author of the First Color Photograph 59

JUBILEE

- 80 years Jubilee for Academician Angel Popov..... 68

YOUNG RESEARCHERS

- O. Petkov – My Future as a Specialist – Dreams, Plans and Reality... 71

BIBLIOGRAPHY

- The Man from the Future: The Visionary Life of John von Neumann..... 72