

# Нанотехнологиите – основни принципи и приложение

Пламен Савов

**Да започнем с въпроса: „Защо нано-“?**

В своето историческо развитие, за да улеснят живота си, хората първоначално са започнали да използват уреди и сечива, изработвани от кости, камъни и различни метали, чиито размери са били съизмерими с размерите на човека. Едва в средата на миналия век започва да се говори за миниатюризация на голяма част от електрическите модули, служещи като градивни елементи на много уреди и машини. Особено силно проце-

Напоследък все повече се говори за бурното развитие на нанотехнологиите и приложението на наноматериалите във всички области от човешкия живот. А какво всъщност представляват нанотехнологиите и с какво са толкова полезни? Целта на тази статия е да запознае любознателния читател с основните дефиниции и принципи на нанотехнологиите и приложението на наноматериалите в различните области на човешкото битие. Преди да започнем да говорим за спецификата в нанотехнологиите ние трябва да въведем яснота в някои от основните понятия и дефиниции.

съм на миниатюризация се развива след откриването на транзистора и интегралните схеми. Започва да се говори за „микроелектроника“. Това означава, че градивните елементи в схемите са с размери от порядъка на микрометър

(микрон). Това е една милионна от метъра или записано със степен на десетката  $10^{-6}$  m.

Но учените и инженерите не спират дотук. Търсенето на все по-бързи и малки електронни уреди и най-вече широкото

разпространение на персоналните компютри доведе до още по-висока степен на миниатюризация. Така в началото на XXI век основните градивни елементи в схемите, наречени вече „чипове“, достигат размери милиардна част от метъра ( $10^{-9}$  m), наречен още *нанометър*. Благодарение на тази миниатюризация, която позволи честотата на работа на процесорите да надхвърли 3 GHz, компютрите достигнаха огромна изчислителна скорост. Десетилетие по-късно се появиха и смартфоните – телефони с възможности на компютър, но събрани в обем колкото човешка длан.

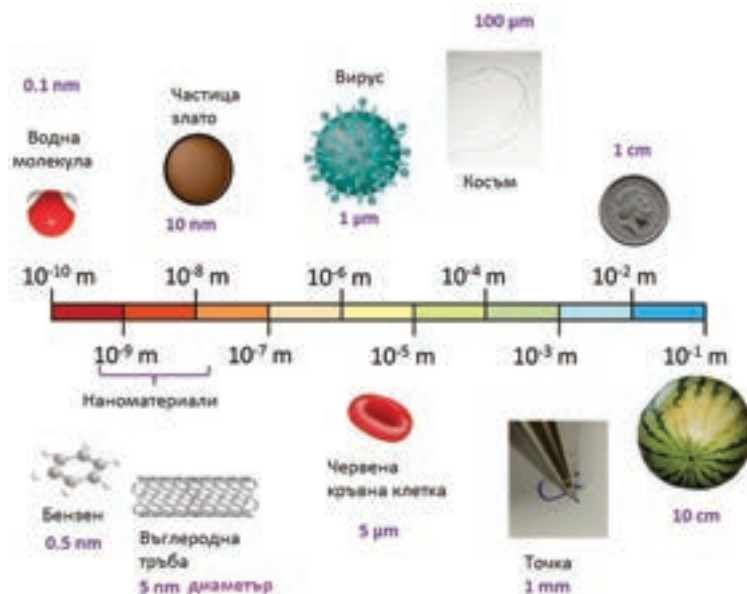
Така започна интензивното развитие на човешката дейност в нанообластта, която бе наречена „нанотехнология“. Наноелектрониката, която е фундамент на дискутираните по-горе процесори е част от огромния океан на нанотехнологиите. Малка част от хората са запознати с останалата, не по-малко

важна част от света на нанотехнологиите, свързана с конструирането и прилагането на различни наноматериали в различните области на живота – като се започне от козметиката, медицината, транспорта, строителството, хранителната промишленост и се завърши с военното дело.

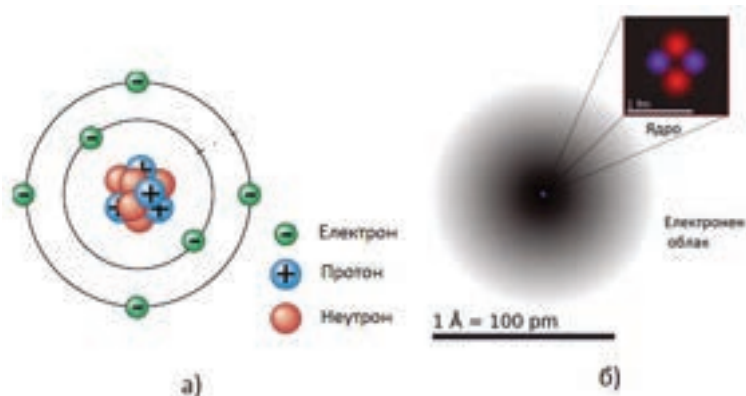
За да има изграждане на някакви материали, трябва да има и градивни елементи. „Тухличките“ при нанотехнологията са самите елементарни частици (протони, електрони и неутрони). От тях се изграждат по-големи структури като молекули, конгломерати от молекули и накрая – изграждане на макрообект.

Нека накратко да си припомним някои основни моменти от историята на откриването и свойствата на елементарните частици.

През 1897 г. Дж. Дж. Томпсън (J. J. Thomson) открива отрицателно заредени частици при своите опити да пропу-



Обекти от различни мащаби



Модел на атома: а) планетарен модел; б) съвременна представа

ска ток в стъклена тръба от която е изтеглен въздухът. По-късно тази тръба е наречена електроннолъчева тръба. Томпсън установява, че всички химични елементи съдържат тези миниатюрни частички, наречени *електрони*. По-късно се установява, че електронът има заряд  $1,6 \cdot 10^{-19}$  С и маса  $9,1 \cdot 10^{-31}$  кг. През 1906 г. Дж. Дж. Томпсън получава Нобелова награда по физика „В знак на признателност за заслугите в областта на теоретичните и експериментални изследвания на електропроводимостта в газове“.

През 1911 г. Ърнест Ръдърфорд (Ernest Rutherford), ученик на Дж. Дж. Томпсън, открива структурата на атома. По време на своите експерименти Ръдърфорд облъчва тънка златна пластинка с алфа частици (това са частици, състоящи се от два протона и два неутрона – хелиево ядро), излъчени от уранова руда. При този експеримент, той заедно със своя ученик Ханс Гайгер (Hans Geiger, получил световна известност за откритието на брояча на Гайгер), откриват, че почти 99% от частиците преминават през златната пластинка и само около 1 на 8000 частици се отклонява, сякаш

се блъска в тежко ядро, заредено положително.

През 1908 г. Ръдърфорд получава Нобелова награда по химия „За проведените изследвания в областта на разпада на елементите в химията на радиоактивните вещества“.

На схемата е представен т. нар. *планетарен модел на атома* – така, както си го е представял и Ръдърфорд. В центъра се намира тежко положително ядро, а около него електроните обикалят по орбити, както планетите в слънчевата система обикалят около Слънцето.

По-късно се е установило, че електроните не обикалят по орбити, а са размазани в пространството около ядрото. Тази конфигурация учените нарекли *електронен облак*.

Когато сравнили масата на ядрото със сумата от масите на изграждащите го протони, учените установили съществен недостиг – ядрото било около 2 пъти по-тежко. Така те открили и следващата елементарна частица – *неутрона*. Тази частица е с маса приблизително с масата на протона, но няма електричен заряд.

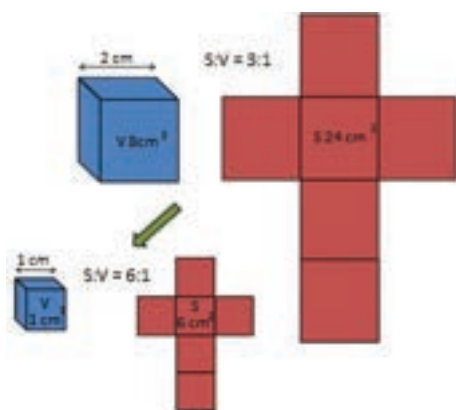
Това са основните градивни тухлички в микросвета – протони и неутрони, наречени *нуклони* и електрони. Следващата структура, за която често ще се говори по-долу е молекулата. Това е комбинация от два или повече атома, свързана с химическа връзка.

*Молекулата* е най-простата структурна единица, от която се изграждат елементите или веществата. Една от най-простите, но жизнено важна е молекулата на водата, състояща се от два водородни и един кислороден атом  $H_2O$ . Тази молекула е толкова малка (размер около 0,3 nm), че ако всички молекули от една капка вода се подредят една до друга, ще стигнат 2 пъти от Земята до Слънцето!

**На какво се дължат изключителните предимства на наноматериалите?** Нека разгледаме въпроса за отношението на обема спрямо площта на две еднакви тела, но с различни размери. Като най-прост пример да вземем два куба – единият с дължина на ръба 1 cm, а другият – 2 cm. Техните площи са  $6\text{ cm}^2$  и



**Проф. д-р Пламен Савов** е роден през 1969 г. в гр. Свищов. Завършва Физическия факултет на Софийския университет „Св. Климент Охридски“ със специалност „Метеорология“. През 2000 г. успешно защитава докторска степен. От 2001 г. е асистент, а от 2003 г. – главен асистент в катедра „Физика“ на Минно-геоложкия университет „Св. Иван Рилски“. През 2010 г. е избран за доцент, а през 2020 г. – за професор. От 2014 е и ръководител на катедрата.



**Отношение на площта към обема при различни размери на телата**

$24\text{ cm}^2$ , съответно. Отношението на лицето на кубовете към техния обем е 6:1 и 3:1, съответно. От този пример ясно се вижда, че с намаляване на размерите отношението площ към обем бързо нараства (в дадения пример – два пъти). С какво е ценно за практиката това свойство? За да се филтрира по-добре едно вещество (обикновено газ или течност) е необходима колкото се може по-голяма контактна повърхност с филтриращия материал. Ето защо филтрите на противогазите, на колите и на заводските комини се изработват от материали с много голяма активна площ. Доскоро



Основни типове наноматериали

като филтри и абсорбатори се използва класически вещества като въглероден прах (активен въглен), минерали от групата на зеолитите и др. С развитието на нанотехнологиите и наноматериалите са получени вещества с много по-голяма активна повърхност за единица обем и маса.

Друго важно предимство на наноматериалите е че те са много здрави и леки. Установено е, че тръбата има якост на огъване и усукване близка до тази на пътен прът от същия материал, но е много по-лека от него. Ето защо природата е избрала костите да са кухи – печели се тегло за сметка на малко намаляване на здравината.

Нанотехнологиите позволяват изработването на т. нар. въглеродни нанотръби, изградени от подходящо свързани въглеродни атоми. Тези нанотръби се отличават с голяма здравина и много малко тегло, което позволява изработване на леки самолети, кораби, автомобили и велосипеди. Освен това те лесно проникват през клетъчната мембрана, което позволява по-лесното третиране на раковите клетки. Електрическото съпротивление на тръбите силно се променя, когато други молекули се докоснат до тръбата. Това дава

възможност за изработване на химични детектори.

Изброените свойства на въглеродните нанотръби определят и тяхното широко приложение при изработването на леки материали и машини, на чипове с висока честота на работа, на оптични кабели със слабо затихване и широка честотна лента, на слънчеви панели с висок КПД и дълъг живот. Върхово постижение при олекотяването на материалите имаме при т. нар. *аерогелове* – материали с много малка плътност ( $1 \text{ g/m}^3$ ). Те се състоят от около 98% въздух, което ги прави изключително добри термоизолатори.

Други основни наноеlementи с широко приложение са т. нар. *нанопръти*. Това са нанообекти с размери в диапазона 1 – 100 nm. Те могат да бъдат синтезирани от метали или полупроводници. Тези пръти намират приложение в мониторите и дисплеите на електронните устройства. Там се използва тяхното свойство, че интензитетът и цветът на отразената светлина зависи от ориентацията на нанопрътите, а тя от своя страна – от интензитета на електрично поле. Намират широко приложение и в микромеханичните устройства (като наноботите).





### Приложения на нанотехнологиите в човешката дейност

Друг широкоизползван наноматериал е графенът. Той представлява структура, изградена от въглеродни атоми с дебелина на стените един атомен слой. Поради тази причина той е едновременно и изключително здрав (около 100 пъти по-здрав от стоманата) и много лек и прозрачен. Освен това графенът провежда топлината и електрическия ток с много висока ефективност.

прави се диференциация на въздействието, което е голям проблем при прилагането на съвременната химиотерапия.

Напоследък все по-усилено се разработват прототипи на нанороботи, наречени *наноботи*. Тяхната задача е да се използват като монтажници – за поправка на повредени нанообекти в човешкото тяло и дори за реконструкция на ДНК-веригата в клетките. Освен това те могат да служат и като страж на човешкия организъм при атака от различни

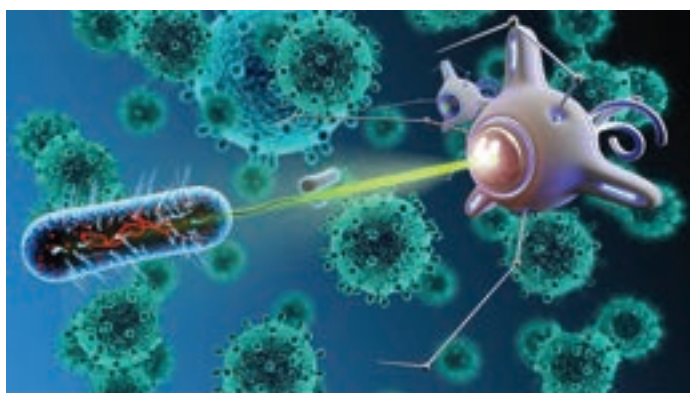


Наноробот, реконструиращ повреден участък от ДНК

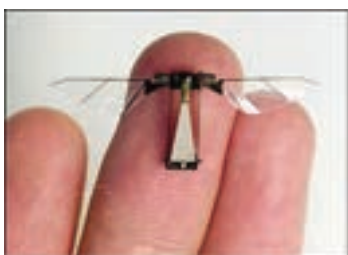
### Приложения на нанотехнологиите:

#### В медицината

Учените разработват наночастици способни да проникват през клетъчните мембрани само на болните и заразени клетки в човешкия организъм без да засягат здравите клетки, т. е.



Наноробот унищожава чужда за организма биоструктура



Дрон с размерите на насекомо

вируси и бактерии и заедно с имунната система да създадат един по-сигурен и сигурен щит срещу микровраговете на човешкото тяло.

### В електрониката

Разработването на наноматериали за електрониката позволява да се повиши плътността на разположение на електронните елементи на единица площ, като при това се намали енергоконсумацията. Тези два ефекта ще позволят от една старна да се повиши бързодействието на чиповете и от друга – да се намали загарването при работа на процесора. Разработват се свръхтънки (от порядъка на няколко десетки атомни слоя) транзистори и сензори, бързи и малки по обем памети.

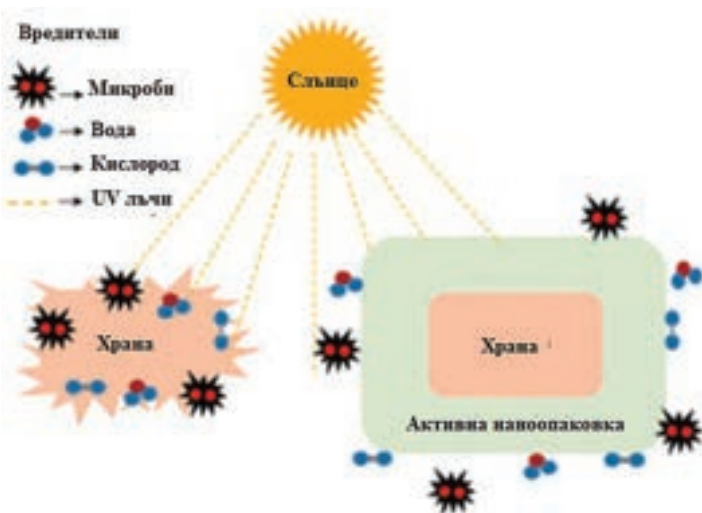
### В машиностроенето

От наноматериалите се изработват леки и тънки детайли и елементи за маши-

ните. Разработват се и технологии за защита от корозия и износване на машините и за термозащита на турбините и двигателите. Създават се самопочистващи се стъкла и покрития с висока пропускателна способност и висока механична и термична издръжливост, които се използват за покритие на фотоволтаичните панели.

### В хранителната промишленост

Нанотехнологиите и наноматериалите се внедряват в целия процес на отглеждане, преработка и съхранение на продуктите. Това става благодарение на съответните биосензори за следене на растежа на зеленчуците и плодовете, подобряване на технологиите за обработка на суровините и изработване на по-добри материали за опаковане и съхраняване на продуктите, позволяващи едновременно по-продължително и качествено съхранение и по-малко замърсяване на околната среда.



Опаковане на храните с активни покрития

### *В слънчевите панели*

Компаниите, използващи нанотехнологии за изработка на слънчеви панели, са постигнали по-висока ефективност на трансформация на слънчевата енергия, като същевременно са понижили и цената на единица площ от панела.

### *В горивните клетки*

Учените разработват по-ефикасни нанопилтри за отделяне на водородните молекули от другите съставни газове, което позволява повишаване на качеството на работа на горивните клетки и намаляване на техните размери и тегло.

### *В батериите и акумулаторите*

Внедряването на наноматериали в конструкцията на батериите се очаква да увеличи техния живот (по-голям брой цикли на разреждане и заряд), да осигури по-висок заряден ток, което означава по-малко време за зареждане, по-висока плътност на енергията на единица маса и обем и не на последно място – по-малко замърсяване на околната среда при производство и рециклиране.

### *В космоса*

Едно от основните свойства на наноматериалите е, че те са значително по-леки при еднакви и дори по-добри други показатели. Това е

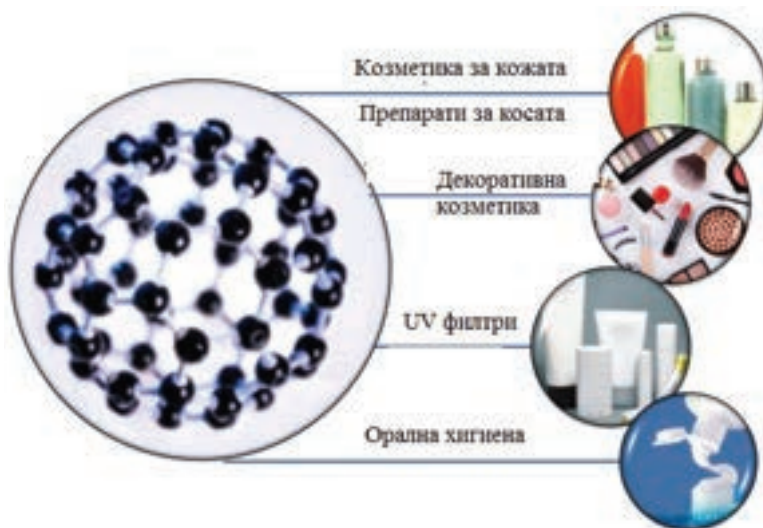
от особена важност за изработването на елементи и инсталации за работа в космоса, понеже теглото е от решаващо значение. Обсъждат се и варианти за построяване на космически асансьор, които би бил възможен единствено с изграждане от наноматериали – леки и здрави конструкции.

### *В сензорите*

Изработват се малки, здрави и чувствителни сензорни елементи, които могат да се инсталират в агресивни среди, като детектират много малки концентрации на веществата в средата и имат много ниска инертност при реакция.

### *В козметичната промишленост*

Изработват се нови видове подхранващи и регенериращи кремове. Нови и по-добри слънцезащитни гелове и подхранващи млека.



*Приложение на нанотехнологиите в козметичната промишленост*





**Приложение на нанотехнологиите и наоматериали в текстилната промишленост**

### **В текстилната промишленост**

Обработката на текстила с нанотехнологии позволява да се създават изделия с повишени механични, термични и биологични свойства. Облеклата стават по-издръжливи на износване, водонепромокаеми, трудно се мачкат,

запазват цветовете и са по-комфортни за носене и почистване.

### **При опазване на околната среда**

Свойството, че наноматериалите имат много голяма повърхност на единица обем намира най-широко приложение при опазване на околната среда. Както беше споменато по-горе, наличието на голяма активна повърхност е много важно при създаването на различни видове филтри и системи за пречистване на замърсен въздух, води и почви. Използват се различни химични реакции и различни активни вещества, за да се постигне оптимален ефект

на пречистване при минимални загуби на суровини и материали.

### **Във Военната промишленост**

Наноматериалите позволяват изработването на леки и здрави бронези-



**Приложение на нанотехнологиите при опазване на околната среда**



*Използване на въглеродни слоеве за изработване на все по-здрави бронезилетки*

летки и каски. Униформите се правят с много високи термо- и влагоизолиращи качества. Оръжията се правят по-леки, по-точни и с по-добро охлаждане при продължителна стрелба.

Както всяко изобретение и откритие, така и нанотехнологиите имат както положителни качества, така и немалко отрицателни. Тяхното все по-широко приложение създава материали и уреди, които струват по-малко и са по-издръжливи. Това неминуемо ще до-

веде до съкращаване на работни места. Освен това не е ясно в дългосрочен план как би се отразило тяхното приложение в областта на козметиката, хранителната промишленост и най-вече в медицината. Не е ясно как би реагирал човешкият организъм на новите вещества и лекарства. И вече в по-далечно бъдеще, все още в областта на научната фантастика, не е ясно доколко армията от наноботи ще ни бъде вярна и сигурна.

Разбира се, в крайна сметка всичко е в ръцете на човека, създава тези нови технологии с основна цел да подобри начина си на живот, но в ръцете на човека, те могат да станат и опасни. Ако хората не са достатъчно благоразумни и мъдри, то всяко тяхно откритие може да отприщи лавина от нещастия, които ще се стоварят върху тях самите. Както вече се е случвало с някои епохални научни открития и технически изобретения. ■



Стефан Плачков:

# Законите на физиката обединяват елементарните частици с огромната Вселена

Проф. Стефан Плачков следва физика и математика в Париж, където защитава докторска дисертация по ядрена физика. Работи към ускорителя на електрони във Френския център по ядрени изследвания. Участва в експерименти, проведени на ускорителя на частици към Масачузетския технологичен институт, на протонния суперсинхротрон в ЦЕРН и на новопостроения ускорител на електрони към Националната лаборатория Джеферсън, в САЩ. В последните 15 години работи по теми, свързани със свойствата на композитните нуклони и интерпретацията им с елементарните кварки. Автор е на 190 научни публикации.



**Проф. Плачков, Вие сте българин по произход. Как станахте френски учен?**

След като завърших 21-ва гимназия в София, заминах за Франция. Записах се във факултет по физика в Париж. Последната година се ориентирах към ядрена физика. След успешна защита на докторска дисертация започнах работа

към един от най-добрите в света по това време ускорители на електрони. Задълбоченото изследване на един специфичен проблем поражда интерес към съседните тематики, а новите идеи идват с работата по старите. И за някои идеи са необходими мощни ускорители. Затова и участвах в експерименти в ЦЕРН.

### Кое ви „запали“ да станете физик?

Бих казал няколко неща, първо – някои книги от юношеските ми години за приключенията и живота на известни учени и изследователи, като например за гения Джеймс Кларк Максуел (James Clerk Maxwell), обединител на електричеството и магнетизма през XIX век. Освен това, в университета попаднах на добри преподаватели, които с перфектно подготвени лекции създават допълнителен интерес. И накрая – някои от мистериозните въпроси, които си поставях за света като цяло.

### Има ли разлика между ядрената физика и физиката, която наричат „физика на елементарните частици“?

Ако става дума за физиката от първата половина на XX век, отговорът би бил съвсем ясен: не. Дотогава елементарните частици се наричаха електрон, протон, неутрон. И учениците знаеха, че това са основните градивни елементи на атома и на неговото ядро. Тук искам да направя малко уточнение за разликата между атом и ядро. Всеки атом се състои от електрони, които обикалят около атомното ядро, но те са доста далече от него. Ако ядрото е с размери на футболна топка, поставена пред Народното събрание в София, електроните би трябвало, при спазени пропорции, да обикалят по Околовръстното шосе! Протоните и неутроните (за по-кратко специалистите ги наричат общо нуклони) са част от ядрото, затова ядрената физика е физиката, която изучава свойствата и характеристиките на атомното ядро, както и взаимодействията между нуклоните в него.

Разликата между ядрена физика и физиката на елементарните частици се на-

лага постепенно в 50-те и 60-те години на миналия век. Това разделяне започва с откриването на нови частици – повечето от които съвсем неочаквано – в потока от лъчи, достигащи Земята от космоса. Някои от тях са толкова различни, че учените ги наричат „странни“. В този период започва и изучаването на частици с първите ускорители. Близко двете десетилетия по-късно се установи, че протоните и неутроните в атомното ядро не са елементарни. Стигна се до разделяне (но не и развод) между тези два клона на физиката.

### Какво точно означава „елементарна“ частица. Защо някои са елементарни, а други не?

Когато става дума за частица, качествено прилагателно „елементарна“ означава, че частицата е фундаментална, тоест не е комбинация от частици, още по-елементарни от нея. Електронът остава елементарна частица, докато протонът – не. Преди вече 5 десетилетия се разбира, че всеки протон (както и всеки неутрон) се състои от три кварки, които са елементарни. По същата научна логика, или по-точно теория, нито една от „странните“ частици, открити през миналия век, не е елементарна. Елементарността обаче не е променливо с времето понятие. Тя е резултат на няколко десетилетия постепенно изграждане на съвременната теоретична конструкция на физиката на елементарните частици, наричаща се „Стандартен модел“. Според тази теория, съществуват 12 елементарни частици (материя) още толкова античастици (антиматерия), общо 24.

Към тях трябва да прибавим и частиците, чрез които стават взаимодействията между първите 24. Носителите

на взаимодействия, или както физиците ги наричат „силови носители“ или „калибровъчни бозони“, са още 12.

### Колко взаимодействия съществуват? Каква е разликата между тях?

Светът около нас е обясним с помощта на четири взаимодействия. Най-познато от тях е гравитационното. Всички предмети, оставени свободно, падат надолу, привлечени от земното претегляне. Благодарение на Исаак Нютон знаем, че Слънцето привлича Земята и затова тя обикаля около него. Гравитацията е универсална, или както всички физически закони – валидна навсякъде из Вселената.

Добре познато е и електромагнитното взаимодействие – между предмети или частици, които притежават електрически товар. Нарича се електромагнитно, а не просто електрическо, откакто през XIX век Джеймс Максвел доказва, че електричеството и магнетизмът са два различни аспекта на едно и също явление. Познатият на всички

фотон е носител на електромагнитното взаимодействие между елементарните частици.

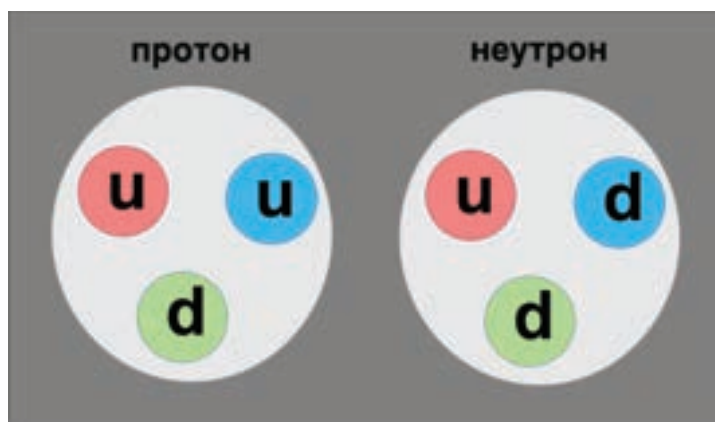
Третото е така нареченото „слабо“ взаимодействие, отговорно за радиоактивния разпад и познато от самото начало на XX век. Теоретичната база е предложена за пръв път от италианския физик Енрико Ферми (Enrico Fermi) през 30-те години. Теорията за слабото взаимодействие, обединена с електромагнитното на обща математическа база е завършена няколко десетилетия по-късно от Стивън Уайнберг (Steven Weinberg), Абдус Салам (Abdus Salam) и Шелдън Глаشو (Sheldon Lee Glashow). Слабото взаимодействие има три силови носителя, тоест частици, които се разменят като топки по време на игра.

Четвъртото и последно взаимодействие е „силното“ или ядрено. То свързва неутроните и протоните в атомните ядра. Първите признаци за това извънредно силно взаимодействие се откриват в 20-те години от миналия век. Необходими са обаче около 5 десетилетия, докато теорията на това

взаимодействие напълно се оформи през 70-те години на миналия век.

Споменахте, че има и частици, наречени кварки. Какви са те?

С постоянния прогрес във физиката броят на новооткрити частици нараства. В края на 50-те години техният брой необяснимо се увеличава. Има известна прилика



Протон, неутрон и съставните им кварки. Електрическият заряд на кварк  $u$  е  $+2/3$ , а този на кварк  $d$   $-1/3$ . Замяната на един кварк  $u$  с кварк  $d$  превръща протона в неутрон и променя електрическия му заряд от 1 на 0. Схема: Стефан Плачков



с периода, в който Дмитрий Менделеев работи върху познатите през XIX век химически елементи и стига до всеизвестната таблица. След подобни класификации и използвайки добре познатата от математиците теория на групите, американците Мъри Гел-Ман (Murray Gell-Mann) и Джордж Цвайг (George Zweig) доказват, че с малки изключения десетките частици, открити до 1963 г., са съставени от три елементарни кварки и техните античастици, наречени, разбира се, антикварки. Така например един протон съдържа два „горни“ кварка (*up* или *u*) и един „долен“ кварк (*down* или *d*). Необходимо е да сменим само един от горните кварки с долен, за да превърнем протона в неутрон. Тази минимална промяна е резултат от фундаментална симетрия, в основата на която лежат кварките. Носителите на взаимодействие между кварките се наричат глюони, те са осем на брой.

**Какви са размерите на тези елементарни частици, има ли между тях частица, по малка от всички групи?**

Размерите на футболните топки за състезания (гуаметър, тегло) са определени с правилник, съставен през 1937 год. Размерите на елементарните частици не идват от правилник, а от законите на физиката, описани в Стандартния модел. За разлика от топките, при елементарните частици не можем и да говорим за гуаметър. Всички те са точкови, тоест без никакъв пространствен размер. Липсата на гуаметър остава непонятна за класическата физика, но е напълно разбираема за квантовата теория на полето. За разлика от елементарните, композитните частици, както и атомните ядра, имат гуаметър. Диаметърът на един протон е малко пове-

че от една хилядна от една милиардна част на един милиметър, или както се казва по математически,  $1.6 \times 10^{-13}$  см.

Частиците нямат гуаметър, но всички имат тегло или по-точно маса, с изключение на фотона. Някои са много леки, с почти нулева маса, като например частичката, наречена неутрино, докато други са изключително тежки. Най-тежката елементарна частица е кваркът „топ“; той е близо двеста пъти по-тежък от композитния протон. Освен маса, елементарните частици имат, разбира се и електрически заряд – положителен, отрицателен или нулев. Електрическият заряд на кварките е грубо число със знаменател 3:  $2/3$ ,  $1/3$ ,  $-1/3$  или  $-2/3$ .

**Все още работите в ЦЕРН, където е построен най-мощният ускорител на частици в света. Какво представлява той?**

Да, най-мощният ускорител в света, Large Hadron Collider (LHC) или Големият андронен колайдер (ГАК) е построен от Европейския център за ядрени изследвания, ЦЕРН (от CERN, *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*). Ускорителят е уникално технологическо съоръжение, настанено в тунел под швейцарска и френска територия, окръжност с дължина 27 км. В тунела са разположени близо 10 000 свръхпроводящи електромагнити, чиито силни магнитни полета постоянно коригират траекториите на два снопа от протони, движещи се в насрещни посоки. Работната температура на ускорителя е  $-271.3^{\circ}\text{C}$ , само два градуса по-висока от абсолютната нула. След като двата снопа придобият максималната енергия (6.8 тераелектронволта или 6800 милиарда еВ), те се пресичат на четири места, около



Част от тунела на Големия адронен колайдер.  
Снимка ЦЕРН, <https://home.cern/>

които са построени четирите основни детектори на частици. Интересно е да се отбележи, че в момента на пресичането им диаметърът на всеки сноп е само 16 микрона, стойност, която е около 4 пъти по-ниска от диаметъра на човешки косъм. Близко 200 милиарда протони се пресичат почти едновременно в това малко пространство. Само няколко десетки от тях се сблъскват и пораждаат най-различни други елементарни частици.

**Елементарни частици са безкрайно малки. Защо е необходимо да се строят големи и мощни ускорители с толкова високи енергии?**

Причините са няколко. Ще се спра на две от тях, които лично аз считам за основни. Първата е, че почти всички елементарни частици са нестабилни. Няма ги във всекидневния живот. Те могат да бъдат създадени само изкуствено, ако им се достави необходимата енергия. Тук се използва прочутото уравнение на Айнщайн от 1905 година  $E=mc^2$ , което уравнива енергията  $E$  и масата  $m$ , умножена със скоростта на светлината  $c$  на квадрат. Това означава, че за да се образува нова частица с маса  $m$ , задължително е да ѝ се достави поне енергията  $E$ . Тази стойност трябва да се умножи по две поради законите за запазване, например на електрическия заряд, който изисква всяка частица да

бъде съпроводена от нейната античастица. Високата енергия на двата снопа е необходима за образуване на всички частици от Стандартния модел, както и на хипотетични по-тежки частици, непознати досега. Втората причина е свързана с температурата по време на сблъскването на двата снопа. При фронтално сблъскване на йони от олово (ядрото на оловото е особено полезно за изследвания, защото съдържа не само един протон, а 208 нуклона) температурата между съставните им кварки и глюони става невероятно висока, близо 100 000 пъти по-висока от температурата в центъра на Слънцето. Достигат се условията, в които се е намирала материята веднага след Големия взрив. Изучаването на взаимодействията при тези екстремни условия е прозорец към историята на Вселената – законите на физиката свързват безкрайно голямото пространство и безкрайно малките частици.

### Какво донесоха изследванията в ЦЕРН?

Изследванията в ЦЕРН са дело на хора от десетки страни в света. Ако посетите ЦЕРН – ще видите хора и ще чуете езици от всички континенти. В лабораториите на ЦЕРН се разработват много и различни технологии, някои от които успешно преминават в индустрията. Глобалната интернет мрежа е до голяма степен рожба на компютърни инженери от ЦЕРН, с цел мигновено споделяне на голямо количество информация между лабораториите по физика в света.

Но да се върнем на науката. Целта на експериментите в ЦЕРН е изучаването на свойствата на елементарните частици и начина, по който те взау-



*Айнщайн през 1905 г. За него тази година се нарича „чудотворна“, защото на 25-годишна възраст, тогава начинаещ чиновник трета класа в Швейцарското патентно ведомство, той публикува четири различни революционни идеи за физиката, всяка една от които заслужава Нобелова награда.  
Снимка Wikipedia*

модействат. Получените данни се интерпретират според теоретичната база, с която разполагаме днес – Стандартния модел. Особено забележително в тази насока беше откритието на бозона на Хигс в 2012 година, почти половин век след теоретичното му предсказване. Една година след това Питър Хигс (Peter Ware Higgs) и Франсоа Англер (François Englert) получиха Нобелова награда за откритието на механизъм, който допринася за разбирането на произхода на масата на елементарните частици.



*Питър Хигс (вдясно) и Франсоа Англер в ЦЕРН, на празника по-случай откриването на бозона на Хигс, на 4-ти юли 2012 г.  
Снимка ЦЕРН, <https://home.cern/>*

### Какви групи изследвания се правят в ЦЕРН?

Експериментите в ЦЕРН издирват и непознати досега частици и взаимодействия. Няколко от тях търсят следи или доказателства за така наречената „тъмна материя“. Открита преди повече от 80 години от родения във Варна швейцарско-американски астроном Фриц Цвики (Fritz Zwicky), тъмната материя остава все още загадка за науката. Тя е абсолютно необходима, за да обясни структурата и разпределението на материята във Вселената. Масата на тъмната материя във Вселената е около пет пъти повече от тази на обикновената материя, тази, в която живе-

ем всички ние. Нарича се тъмна, тъй като не излъчва никакви лъчи. По-точно казано, нейното влияние върху обикновената материя се измерва само чрез гравитационно взаимодействие.

Още по-загадъчна и съвсем различна от тъмната материя е „тъмната енергия“. Нейното съществуване се предлага като единствено обяснение на изненадващото откритие от 1998 г., според което разширяването на Вселената, познато от близо вече век, не е равномерно, както се смяташе дотогава, а постоянно се ускорява. Това обяснение означава, че тъмната енергия е разпространена навсякъде във Вселената. Тя е вечният мотор на това ускоряващо се разширение.



**Защо това откритие, бозона на Хигс, е интересно? Не е ли една елементарна частица, както всички останали?**

Откритието не е само интересно, бих го нарекъл капитално. То коронясва Стандартния модел като теоретична база на заобикалящия ни свят и отговаря на един съществен въпрос: откъде идват масите на елементарните частици. Бозонът на Хигс е неоспорвано доказателство за отговор, предложен близо пет десетилетия по-рано. Любопитна е историята на този бозон. Всичко започва през петдесетте години на миналия век, с първите опити за обобщаване на теорията за новооткритите частици и на взаимодействията между тях. За малко повече от

десетилетие се появяват теории, които обясняват, че частиците на материята, както и носителите на взаимодействия между тях са последицие от фундаментални симетрии. Въпреки потенциалната им привлекателност, тези теории (специалистите ги наричат „калибровъчни теории“) нямаха веднага успех. Масите на всички предсказвани от тях частици оставаха с нулева стойност. А колкото и да изглежда привлекателна, една теория не може да бъде приета, ако не отговоря на реалността. За да обяснят масата, Питър Хигс, както и няколко групи физици, предложиха през 1964 г. допълнителен ефект, наречен „спонтанно нарушение на симетрията“ с ново квантово поле, „полето на Хигс“.



*Къщата във Варна, на кръстовището на „Иван Драсов“ и „Братя Маладинови“, където през 1898 г. е роден Фриц Цвики. Баща му е швейцарски предприемач, а майка му е чехкиня. Той работи в (САЩ) и е автор на важни космологични теории, които оформят представите ни за Вселената и днес. Участвал е и в разработването на първите реактивни двигатели.  
Снимка Wikipedia*



Приблизително казано, някои частици реагират силно с полето на Хигс и получават големи маси. Други реагират слабо и получават малка маса. Откриването на бозона на Хигс така доказва хипотезата за ново квантово поле и блестящо потвърждава, близо половин век по-късно, теориите, заложили в Стандартния модел. Противно на интуицията ни, масата губи качеството си на присъща величина. Частиците се раждат безкрайно леки, придобивайки тежлото си след взаимодействие с полето на Хигс.

### От къде идва това поле на Хигс ?

Според теорията за развитието на Вселената, полето на Хигс се появява в първите частички от секундата след Големия взрив (Big Bang). В този период (или космическа „ера“) електромагнитното, лекото и силното взаимодействие са напълно обединени. Температурата е изключително висока и елементарни частици не съществуват. По-късно (по наши разбирания), но все още преди първата секунда, температурата намалява, трите взаимодействия възприемат различни характеристики, появяват се и частиците на Стандартния модел. Сблъскват се с полето на Хигс и възприемат познатите им маси.

### Каква е връзката между елементарните частици и безкрайно огромната Вселена?

Може да се отговори бързо и лаконично с две думи – законите на физиката. Основен принцип, според който светът съществува, е че тези закони са едни и същи и в квартал Лозенец и в звездите на галактиката Андромеда. Те са валидни както днес, така и преди или след

милиарди години. Казано на научен език, законите са инвариантни в пространството и във времето. Затова четирите фундаментални взаимодействия, познати на Земята, определят състоянието на всички видими масивни тела във Вселената, както и на празното пространство между тях.

Всичко останало идва от съзнанието на човека и постоянното му желание да разбере света, в който живее. Дълбоко вписано във всички култури, това търсене е в основата както на религиите, така и на науката. Неслучайно Библията не пропуска да разкаже за създаването на света. Археологията и антропологията ни пренасят хиляди, десетки и стотици хиляди години назад, разкривайки удивителни факти за началото на човешкия род. Познаването на законите, които управляват света, ни пренася не с милиони, а с милиарди години назад, в периода на ранното развитие на Вселената.

### Може ли да се каже, че във Вселената материя и енергия се сливат?

Слънчевите лъчи, които достигат до Земята, пренасят всеки ден енергията, необходима на всичко живо. Нямайки маса, слънчевите лъчи са енергия, но не са материя. Излъчвайки енергия чрез постоянните ядрените процеси, които се осъществяват в него, слънцето губи част от материята си. Изключително малка част, разбира се. Затова материята и енергията са свързани. С подобна логика в статията от само три страници, публикувана през 1905 година, Айнщайн стига до равенството  $E=mc^2$ , което вече споменахме. Това равенство не би съществувало, ако скоростта на светлината зависеше от мястото на измерение. Айнщайн пръв доказва, че

скоростта на светлината е константна величина, която не зависи от отправната система на наблюдателя. Тя е една и съща независимо кой и къде я измерва, от прозореца в къщи, от реактивен самолет или от Халеевата комета. Оттогава, когато се говори за Вселената, материя и енергия остават едно и също.

### Ако е така, какво следва от това?

Последиците от еквивалентността на масата и на енергията са огромни. Равенството се използва всекидневно във всички клонове на физиката. В Големия андронен колайдер на ЦЕРН, например, се сблъскват насрещно два протона като всеки един от тях има висока енергия, но сравнително малка маса. След сблъсъка им се появяват най-различни частици, като някои от тях са стотици пъти по масивни. Можем да направим малко сравнение с всекидневния живот – все едно сблъскване на два мотоциклета с много висока скорост да води до поява на две леки коли. Първоначалната енергия се запазва, но се превръща в маса.

Равенството енергия-маса има и базово значение за Вселената. След дългогодишен и изтощителен труд през 1915 г. Айнщайн обобщава гравитацията и така нареченото пространство-време в общата теория на относителността. За първи път тази теория дава възможност да се състави уравнение, което свързва пространство-времето във Вселената с масата и енергията в нея. Това уравнение е базата на съвременната космология и води до открития на фундаментални за нея явления, като например черни дупки или неутронни звезди. През 2016 г., един век след предсказването им, гравитационните вълни, които са последицие от Общата теория на относителността, бяха измерени за първи път и донесоха го нобелова премия по физика за Райнер Уайс (Rainer Weiss), Бари Бариш (Barry Barish) и Кип Торн (Kip Thorne) само една година след това. Гравитационните вълни са последното доказателство за валидността на теорията на относителността, както и за недостижимия досега гений на Айнщайн. ■

*Интервюто взе: Николай Спасов*

## ЛЮБОПИТНО

### Гигантски охлюв нашественик отново атакува САЩ



*Achatina fullica* – тотален изглед на активен екземпляр

В началото на 2022 година американски научнопопулярни списания съобщиха тревожната новина, че един африкански силно инвазивен вид охлюв отново се е появил и е нападал земеделски култури в южния щат Флорида. Става дума за вида *Achatina fullica*, който е познат и като Гигантски африкански сухоземен охлюв и е включен от Международния съюз за защита на природата (IUCN) в списъка на „100-те най-инвазивни видове в света“. Родина на този гигант между съвременните сухоземни охлюви е Източна Африка, където е открит и описан за първи

път през галечната 1822 г. Неговите размери наистина са впечатляващи – достига обща дължина на черупката и тялото до 20 см, а теглото му често надминава 250 гр! Крие месестото си тяло в голяма кафеникава черупка със 7 – 8 спирални извивки и няколко по-тъмни надлъжни ивици. Активен е главно през нощта, а през деня се укрива в дупки в почвата, под камъни, в горската шума.

Това е третият опит на този упорит нашественик да проникне на територията на южния американски щат. Първият успешен опит е бил

още през 1969 г. когато той е внесен с търговски стоки в САЩ и скоро се проявява като ненаситен вредител на земеделските култури в щата Флорида, където условията за съществуването му са най-благоприятни. След почти 10-годишна борба и успешни ограничителни мерки популацията му е силно намалена и той се счита за премахнат от 1975 г. През 2011 г. обаче той отново прониква неизвестно по какви пътища във Флорида и бързо се размножава. И отново бързи мерки за премахването му довеждат до унищожаването на последния жив екземпляр, уловен в Маями през 2017 г. Успехът и този път е кратък и от началото на 2022 г. той отново атакува американския континент и отново от Флорида!

Гигантската *Ахатина фулика* се оказва един ненаситен и почти всеяден растителнояден вредител, който използва за храна не само листата, но и стъблата и плодовете на широк кръг диви и културни тревисти растения и зеленчуци. Изследванията показали още, че той е изключително плодовит хермафродит, който достига полава зрялост само след 6 – 10 месеца

след излюпването си и снася до 4 – 5 пъти годишно по 200 – 300 яйца! Като се има предвид, че възрастните живеят до 10 години, може да се изчисли, че поколението само на един охлюв за тези 10 години теоретично може да надмине над 20 000 екземпляра! Оказало се още, че при възможност за допир и контакти с човек и животни *Ахатина фулика* може да поеме и ролята на гостоприемник и източник за заразяването им с такива опасни паразити като тении, ангиостронгилиди – причинители на менингити, шистозоматоза и др.

Борбата срещу „новия стар“ нашественик в щата Флорида за окончателното му ликвидиране вече се води активно, включително и чрез използването на химически пестициди, които по принцип са забранени в страната. За целта е било получено и специално разрешение от Американската агенция за защита на околната среда (US EPA), защото наистина в случая се касае за изключително опасен нашественик, един от „100-те най-инвазивни видове в света“ (IUCN).

*По Treehugger*

