

За вакуума, или има ли безплатен обяд?

Иля Петров

За древногръцките философи Левкип и Демокрит, чиято школа процъфтява около IV в. пр.Хр., вакуумът е присъщ на природата, тъй като той осигурява свободното пространство, в което атомите – дискретните частици, от които е съставена материята, се движат, взаимодействат и в крайна сметка формират Вселената. Малко по-късно обаче Аристотел, след като отхвърля възможността за движение с безкрайна скорост, стига до извода, че вакуум няма и постулира прочутата догма *horror vacui*, заменена през Средновековието с по-меката ѝ форма „природата не търпи празно“.

Учението му, признато от християни и мюсюлмани, властва повече от две хилядолетия, преди Евангелиста Торичели (Torricelli, 1608 – 1647), Блез Паскал (Pascal, 1623 – 1662) и Ото фон Герике (von Guericke, 1602 – 1686) да убедят църквата и обществото, че имплозията, т.е. бързото взривоподобно засмукване на въздух, се дължи на атмосферното налягане, а не на някакъв

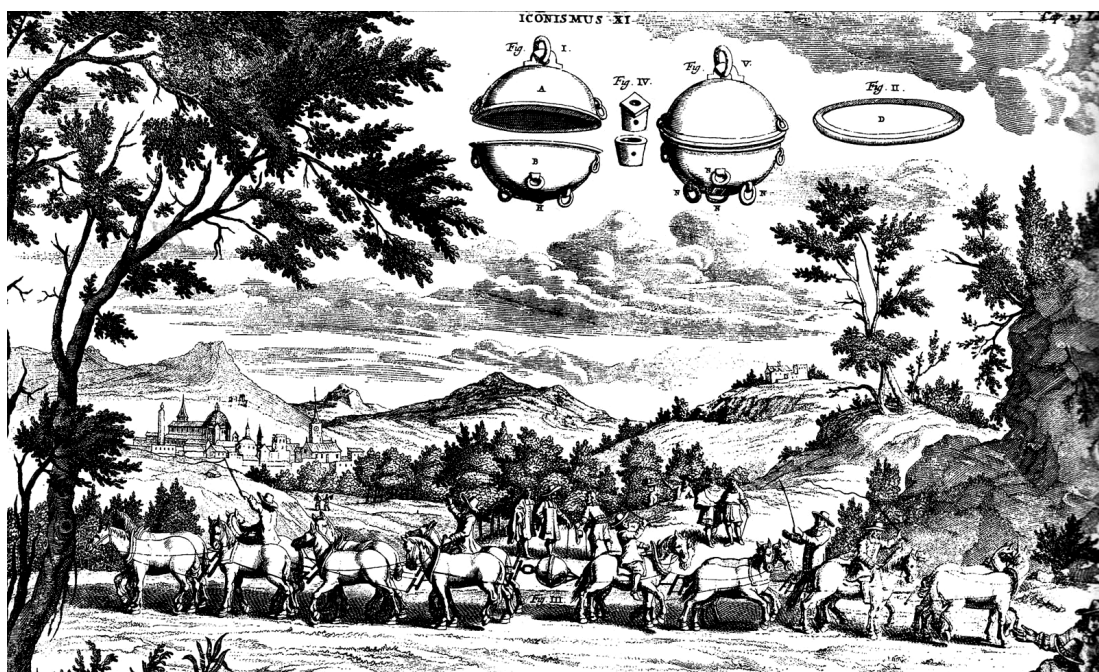
Има ли абсолютна пустота, т.е. вакуум? Отговорът на този въпрос е не само крайъгълен камък за всяка религиозна, философска или научна космология, но и загадва могата в представите ни за света.

„божи закон“. Последва откриването на барометъра, а с него и на факта: атмосферното налягане намалява с височината – наблюдение, навеждащо на мисълта, че над

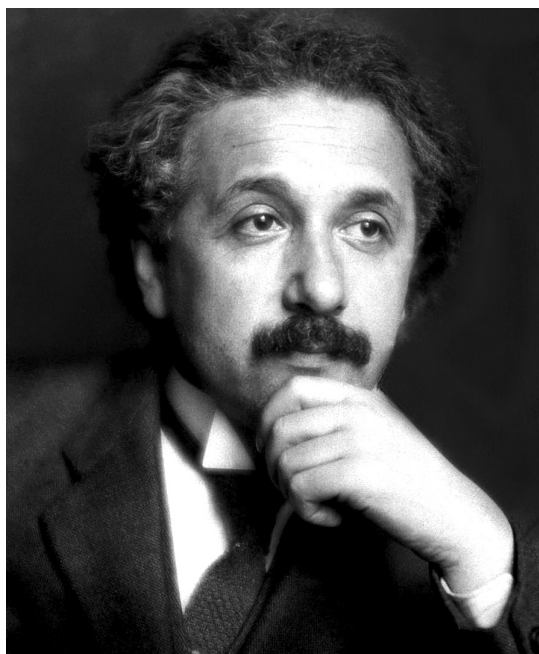
атмосферата пространството е празно. Авторитетът на Аристотел бил поставен под съмнение. В края на XVII в., когато хората говорили за „нищото“, те разбирали идеален вакуум, т.е. пространство без материя, а светът съгласно с класическата механика (в интерпретацията на Лаплас¹) е изграден от материални корпускули, които създават и върху които действат различните сили в пустото, изпразнено от всякаква материя пространство.

Средата на XIX в. бележи поредния обрат в представите за света – магнитните силови линии на Фарадей (Faraday, 1791 – 1867) и най-вече електромагнитната теория на Максвел (Maxwell, 1831 – 1879) възстановяват Аристотеловата *horror vacui*, предполагайки наличието на всепроникваща еластична среда, наречена „етер“, в която

¹ Нютон е вярвал, че пространството е запълнено с непрекъсната среда, в която се движат „корпускулите на светлината“, но тя не участва по никакъв начин в неговите уравнения на движение.



Прочутият експеримент на Ото фон Герике с две полусфери, въздухът от които е изпомпан и които не могат да бъдат разделени от два впряга по осем коня (Магдебург, 1657 г.)



Айнщайн е бил убеден, че понятията пространство и етер са идентични и се отнасят едновременно за материалните тела и електромагнитното поле. В лекцията си от 1930 г., изнесена в Университета на Нотингъм, той казва: „През последното десетилетие пространството погълна етера и времето и, изглежда, ще погълне полетата и корпускулите така, че да остане единствената реална среда“



Привърженик на класическата термодинамика, в която няма място за вероятности, Планк вярвал в продължение на много години, че дискретността е особеност на осцилаторите, а не на самата обмяна на енергия. Едва през 1909 г. той пише в писмо до Лоренц, че „обмяната на енергия между електроните и свободния етер става само на цели числа кванти $h\nu$ “

светлината се разпространява с крайна скорост. Търсенето на тази среда, както и ревизията на Нютоновата гравитация са едни от най-вълнуващите саги в историята на физиката. Духовите се поуспокояват, когато Айнщайн (Einstein, 1879 – 1955) създава специалната теория на относителността (1905) и елиминира необходимостта от етер. Аристотел е развенчан – природата търпи празното, „нищото“ съществува.

И тогава се появява квантовата механика

Всичко започва през 1901 г., когато Макс Планк (Planck, 1858 – 1947) извежда математически израз, описващ експериментално получената зависимост на спектъра на излъчване на абсолютно черно тяло, т.е. на електромагнитно лъчение в равновесие с материята. Водещата хипотеза е, че точковите осцилатори излъчват енергия на порции (кванти) $h\nu$, където h е нова фундаментална константа, а ν – честотата на излъчване. Десет години по-късно Планк формулира т.нар. втора теория. В новия израз за средната енергия на трептене с определена честота се появява допълнителен, независещ от температурата член ($\frac{1}{2}h\nu$). Тази остатъчна енергия, според гумите на Планк, не може да се загуби, тъй като е по-малка от кванта на излъчване на осцилатора. Докато първата формула на Планк описва кухня, която е абсолютно празна при температура, равна на абсолютната нула, втората отчита и флуктуациите на електромагнитното поле. Ако се сумират енергиите за всички честоти при нулева температура, се получава безкрайна плътност на енергията. Дори да се въведе някаква горна граница за честотата, плътността на енергията остава много по-голяма от стойността, предсказвана от гравитационните явления. Тази „вакуумна катастрофа“ накара известни физици просто да отрекат реалността на вакуумните флуктуации. Например Волфганг Паули (Pauli, 1900 – 1958) в учебника си по въннова механика от 1933 г. пише: „... за разлика от случая с материалния осцилатор, по-разумно е да не се отчита енергията на основното



Гл.ас. д-р Илия Петров е преподавател във Физическия факултет на СУ „Св. Климент Охридски“. Работи в областта на теоретичната физика, интересите му през последните години са главно в сферата на историята и философията на физичното познание. Той е основател и главен редактор на издателство за специализирана научна литература „Херон прес“.

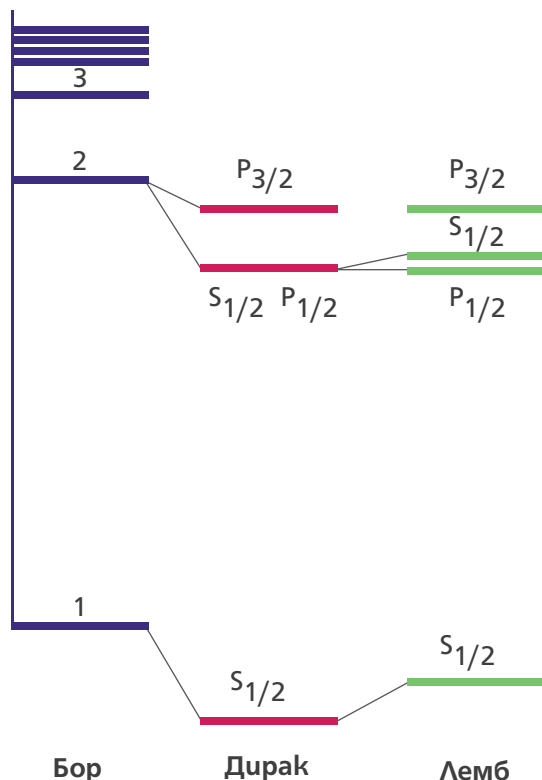
състояние $\frac{1}{2}h\nu$ за всяка степен на свобода. От една страна, последната ще доведе до безкрайно голяма енергия за единица обем, тъй като броят на степените на свобода е безкраен, а от друга страна, тя ще бъде по принцип ненаблюдаема, тъй като нито може да се излъчва, поглъща или разсейва, нито, както се вижда от опита, ще породи каквото и да е гравитационно поле“. Наистина, средната енергия на вакуума няма принос към гравитацията, но същото не може да се каже за флуктуациите $\dot{u}$: те ще взаимодействат с материалните обекти.

Картината стана още по-интригуваща, когато Пол Дирак (Dirac, 1902 – 1984) в опита си да построи релативистка теория на микросвета предсказа съществуването на електрони с отрицателна енергия (позитрони). Поведението на подобна частица в електромагнитно поле е аналогично на „нормален“ електрон, носещ обаче положителен електричен заряд. Самото вакуумно състояние става „море“ от състояния с

отрицателна енергия, които трябва да са изцяло заети, така че преходът от състояние с положителна в състояние с отрицателна енергия да е забранен. Но квантовата механика ни предлага още една изненада: енергията не се запазва, а варира около средната си стойност, като флуктуациите ѝ са толкова по-големи, колкото по-точно се стараем да я измерим. Това означава, че за ефимерно малки времена в морето с отрицателна енергия постоянно възникват ваканции (дупки), които се проявяват в нашия материален свят като античастици със същата маса, но с противоположен заряд. От гледна точка на позитрона картината е огледална – вакуумът е „море“ от електрони, и като цяло електрическите заряди се компенсират. С други думи, „нищото“ не само е гигантски резервоар, съдържащ безкрайно много частици и античастици, които непрекъснато се раждат и аниhilират по двойки, но има неограничена енергия и структура.

Вакуумът в действие

Новата представа за „нищото“, което вече не е пасивен наблюдател на ставащото в света, получи първото си потвърждение през 1947 г., когато Уилис Лемб (Lamb, 1913 – 2008) откри, че енергетичният спектър на водорода не следва точно теоретичните оценки. Онова, което бяха забравили Хенрик Бор (Bohr, 1885 – 1962) и Дирак, бе вакуумът. Разсейването на електрона от вакуумните флуктуации води до размиване на неговия заряд – от точка той се превръща в малко „облаче“ и ядрото го привлича по-слабо. Ефектът е по-силен за по-симетричните състояния, което води до увеличаване на енергията на S-ниво. От друга страна, вакуумът в околност на протона се поляризира² така, че енергията на свързване на електрона намалява. Двата ефекта се конкурират, но приносът на виртуалните фотони е много много по-голям. Точният теоретичен анализ, отчитащ вакуумните

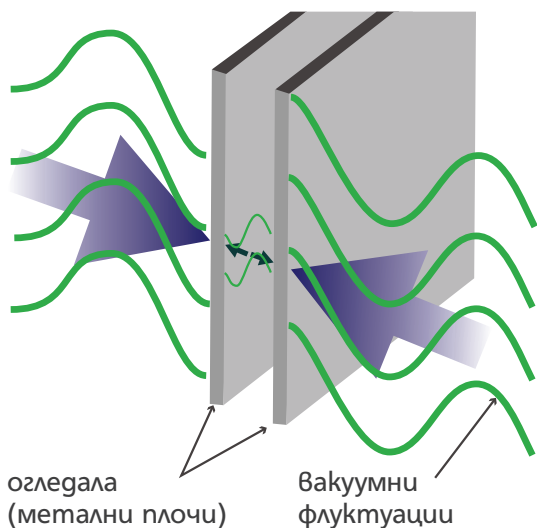


Енергетичен спектър на водороден атом съгласно с теорията на: Бор (вляво); Дирак (център); и Лемб (вдясно)

флуктуации на всички полета, води до стойности, напълно съвпадащи с експеримента. Това обяснение се превърна в триумф на новата теория – квантовата електродинамика, а Лемб стана първият човек, показал експериментално, че вакуумът не е празен.

Последва друго, не по-малко странно за здравия разум предсказание, направено от Хендрик Казимир (Casimir, 1909 – 2000) през 1948 г. Какво ще стане, ако две метални плочи са поставени една срещу друга в среда, от която са изпомпани всички материални частици, т.е. в идеален вакуум при температура, равна на абсолютната нула? Стандартният отговор е „нищо“. Истината обаче е, че на плочите действа сила на

² Двойките електрон-позитрон, родени от „морето на Дирак“, имат различно поведение спрямо протона. Виртуалните електрони се привличат от него, позитроните се отблъскват. В резултат зарядът на протона е частично екраниран.



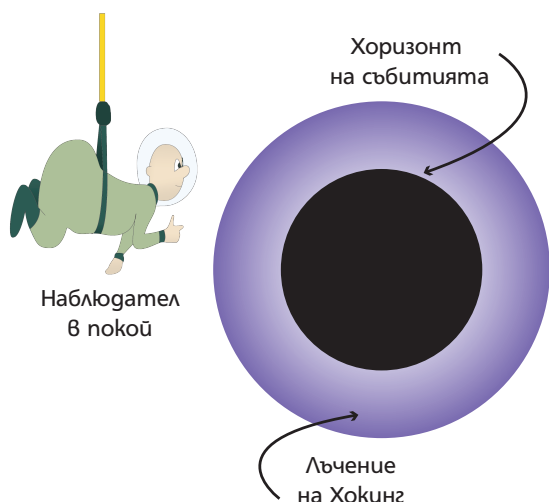
Налягането на вакуумните флуктуации между плочите е по-малко от това извън тях. Този ефект, предсказан от холандския физик Хендрик Казимир, ще промени разбирането ни както за наносвета, така и за възникването на Вселената

привличане. Онова, което хората обикновено забравят, са флуктуациите на вакуума. Тъй като плочите са проводящи, електричната компонента на електромагнитната вълна се нулира върху тях и в кухнята могат да съществуват само вълни, чиято дължина е по-малка от разстоянието между плочите. Това ограничение важи и за виртуалните фотони, които възникват и изчезват вследствие на флуктуациите на вакуумното състояние. С други думи, броят на трептенията (моделите) в кухнята е по-малък от броя им в свободното пространство. За да раздалечим плочите, ще трябва да извършим работа, компенсираща нарастването на плътността на енергията в кухнята от включването на флуктуации с по-дълги вълни. Силата, родена от „нищото“, е пропорционална на A/d^4 , където A е площта на плочите, а d – разстоянието между тях. Например, ако разстоянието между плочи с площ 1 cm^2 е $0,5 \text{ nm}$, тази сила е еквивалентна на тегло от $0,2 \text{ mg}$ – стойности, напълно в обсега на съвременната апаратура. В края на миналия век (януари 1997 г.) Стив Ламоро

(Lamoreaux) показва експериментално, че тези оценки са верни с точност от 5 %, а малко по-късно (ноември 1998 г.) Умар Мохиидин (Mohidiin) и Анушри Роу (Roy) от Калифорнийския университет ги потвърдиха с точност до 1 %. В продължение на много години този ефект, носещ името на Казимир, стоеше някъде по ъглите на „голямата“ наука и, ако случайно се споменеше, то бе в духа на куриозите, които предлага квантовата механика.

Етерът отново на сцената

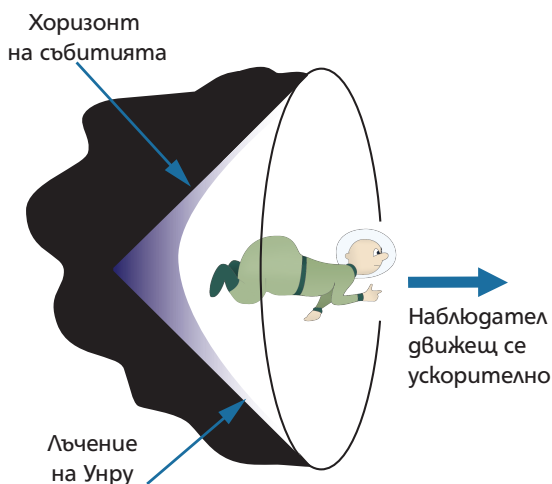
През 70-те години на XX в. физиците осъзнаха, че поведението на вакуума зависи от геометрията или топологията на областта, в която се реализира, а това означава, че „нищото“ може да генерира реални частици, ако внезапно променим граничните условия. Последваха теоретични работи, чиито резултати на пръв поглед граничат с фантастиката. Сахаров – създателят на съветската термоядрена бомба, предложи теория (1967) на т.нар. индуцирана гравитация, в която степените на свобода на вакуумното състояние се променят не от присъствието на огледални граници, а от самата кривина на пространство-времето. В рамките на тази теория гравитационната константа се изразява чрез параметрите на квантовите полета, а гравитацията се явява аналог на силите на Ван-дер-Ваалс (Van der Waals, 1837 – 1923). Идеята на Сахаров не стана общоприета, но тя загатна за фундаменталната роля, която може да играе вакуумът в природата. Днес мнозинството физици теоретици все още предпочитат да разглеждат гравитационното поле не като резултат, а като фундаментално и автономно, като закривено пространство-време, населено с различни квантови полета. Така поставена обаче задачата изисква доста сложен математичен апарат. Наистина, за линейни полета (например електромагнитното) вакуумните състояния са добре дефинирани, но в общия случай това не е така – положение, което изисква използване на евристични подходи. Спасителният изход се оказа реабилитаци-



Наблюдател в покой извън черната дупка ще вижда частиците, родени от лъчението на Хокинг

ята на „етера“, т.е. пространство-времето се разглежда като запълнено с някакъв невидим вискозен флуид, в който се раждат, изчезват и разпространяват вълничките на вакуумните флуктуации.

И както в края на XIX в. фундаменталният въпрос на физиката бе „как вискозитетът на етера влияе върху разпространението на електромагнитните вълни“, така сто години по-късно въпросът е почти същият, преформулиран в „как се проявява квантовият етер“. Едни от най-интересните ефекти са свързани с черните дупки. Всяка въртяща се черна дупка съгласно с теорията на Айнщайн привлича съседните тела, като ги принуждава да се въртят заедно с нея. Вакуумният етер също ще бъде увлечен в подобно движение, но тъй като ефектът намалява с разстоянието, той ще се разслои и в резултат на променената геометрия ще се генерират кванти. Теорията на това ротационно лъчение бе разработена от Старобински (1973 г.) и Унру (Unruh) (1974 г.). Скоро след това Стивън Хокинг (Hawking) публикува прочутата си хипотеза, че и невъртящата се черна дупка излъчва частици със спектър, аналогичен на абсолютно черно тяло, но с температура, обратнопропорционална на масата ѝ (1975 г.). Процесът е с отрицателен топлинен капацитет – черната дупка губи маса и едновременно с това температурата ѝ расте, т.е. тя не само не е черна, но и се изпарява. Последва още по-необичайно предсказание (Пол Дейвис (Davis) 1975 г.;



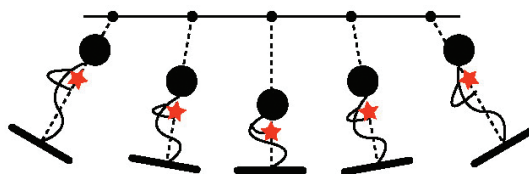
Наблюдател, движещ се ускорително в празното пространство, ще се чувства както в баня, затоплена от лъчението на Унру

Бил Унру 1976 г.): наблюдател, движещ се с постоянно ускорение във вакуум, ще изпитва топлинно лъчение с температура, пропорционална на ускорението. Оттук следва неочаквана връзка между гравитацията (координатна система, движеща се с постоянно ускорение, е еквивалентна на инерциална координатна система, в която присъства постоянно гравитационно поле) и термодинамиката. Наличието на хоризонт на видимост (тъй като наблюдателят се движи ускорително, достатъчно голям брой частици никога няма да го настигнат, дори и за безкрайно дълго време) означава, че движещият се наблюдател губи част от информацията, достъпна за наблюдателя в покой. Вакуумните им състояния са различни и възниква ентропия, отразяваща незнанието ни за физиката зад хоризонта, т.е. вторият закон на термодинамиката (студено тяло не може да предаде топлина на по-топло) придобива нов смисъл: необходими са закривено пространство-време и населяващи го квантови полета.

Да има фотони

През 1970 г. Джералд Мур (Moore) публикува статия, в която изследва поведението на електромагнитен вакуум в едномерна кухня с променлива дължина. Мур предсказа, че в подобна система може да се наблюдава параметричен резонанс, при който вакуумните флуктуации се усилват толкова много, че генерацията на реални фотони става възможна. Броят на генерираните фотони обаче е

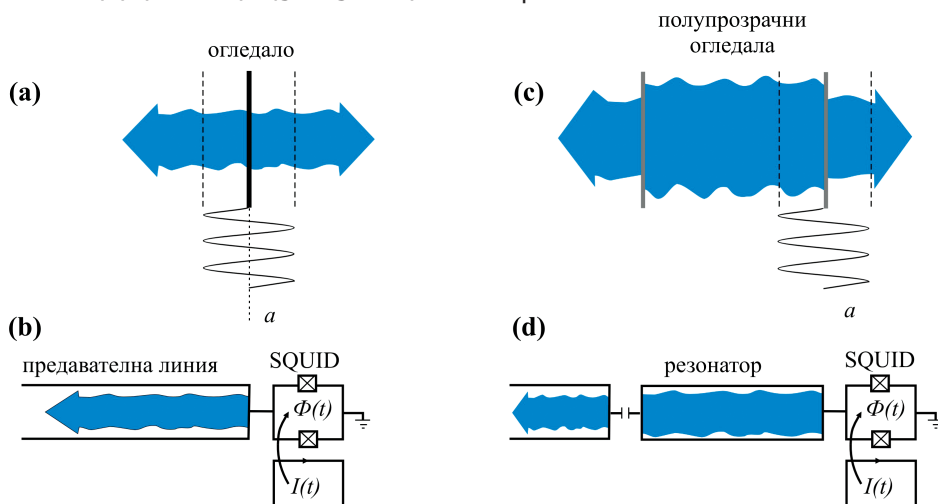
пропорционален на $(v/c)^2$, където v е максималната скорост на отместване на огледалото, а c – скоростта на светлината във вакуум. С други думи, ефектът би бил видим, ако трептенето става с релативистки скорости. Превръщането на виртуалните фотони на вакуумното състояние в реални кванти бе наречено динамичен Казимир ефект. В края на миналия век възможността за усилване на вакуумните флуктуации заинтересува много учени. Разбира се, механична установка, възпроизвеждаща схемата на Мур, не е по силите на съвременните технологии, но в научната литература многократно се обсъждаха различни възможности за експериментално наблюдение на този ефект и в началото на века физиците, работещи в областта, вече вярваха, че гумите Господни „Да бъде светлина!“ са напълно осъществими. Първите положителни резултати бяха публикувани в средата на миналата година от екип, работещ в Технологичния университет Чалмерс, Гьотеборг, под ръководството на Кристофър Уилсън (Wilson). Ролята на кухня играе копланарна предавателна линия (позволяваща да се работи в микровълновата област), а трептящото отразяващо огледало е реализирано чрез свръхпроводящ квантов интерферометър (два джозефсо-



Параметричен резонанс. Дете периодично прикляква, променяйки центъра на масата си, т.е. дължината на еквивалентното махало. Ако това движение се извършва с честота, два пъти по-голяма от собствената честота на люлката-махало, настъпва резонанс, при който ъгълът на отклонение нараства експоненциално

новски тунелни прехода, свързани паралелно в затворен контур), който модулира индуктивността на вълновода с честота, по-голяма от 10 GHz. Получената ефективна скорост на „огледалото“ е около 5 % от скоростта на светлината, а производството на фотони за 1 s е около един милион.

Изглежда ще се сбъднат гумите на Никола Тесла (1856 – 1943), казани през 1891 г.: „Пространството е пълно с енергия. Статична или кинетична е? Ако е статична, надеждите ни са позребани; ако е кинетична и я опознаем, тогава е само въпрос на време хората да качат своите машини към истинското колело на Природата. Ще минат много поколения, но в един момент машините ни ще черпят енергия от всяка точка на Вселената“.



Схематична илюстрация на динамичния ефект на Казимир: (а) огледало осцилира в празно пространство; (с) кухня, едната страна на която осцилира. И в двата случая фотоните се генерират благодарение на резонанс на вакуумните флуктуации с променящите се във времето гранични условия, наложени от осцилиращите огледала. Две възможни експериментални реализации са показани съответно (b) и (d). Квантовите интерферометри (SQUID) променят индуктивността на веригата така, че да се симулира трептяща огледална граница

Елемент № 112 получава името „копернеций“

Преди 14 години в научния център „Хелмхолц“ за изследване на тежки йони беше открит най-тежкия познат досега химичен елемент с атомен номер 112. Центърът „Хелмхолц“, чието седалище е в Дармицат, немската федерална провинция Хесен, е международно признат със своите изследвания върху получаването и изучаването на тежки йони. Сега, по решение на Международния съюз за чиста и приложна химия (IUPAC), новооткритият елемент получава името „копернеций“ (Copernicium) и ще се означава със символа Cn. Преди да се спрат на този символ, учените са избирали между няколко различни обозначения (например Sr), за да не се стигне до объркване с някои вече използвани символи. При „кръщаването“ на елемент 112 IUPAC се е съобразил с предложението на откривателите на елемента. Колективът от учени, ръководен от Зигурд Хофман (Hofmann), включва 21 изследователи от Германия, Финландия, Русия и Словакия.

Елементът копернеций беше открит на 9 февруари 1996 г. при обстрелването на оловно фолио с цинкови йони. Атомите на новия елемент са стабилни само за части от секундата. Копернецийт е по-тежък от водорода 277 пъти. Откритието на №112 беше потвърдено впоследствие от няколко други независими изследователски групи.

Копернеций получава името си в чест на великия полски астроном и природоизпитател Николай Коперник (1473 – 1543). С това се продължава възприетата от Международния съюз за чиста и приложна химия традиция новооткритите химични елементи да се наименоват на видни учени, допринесли особено много за развитието на науката. Например сред откритите в последно време елементи този с номер 107 се нарича борий, с номер 108 – хасий, с номер 111 – рентгений и т.н.

По scinexx.de

Лекарства от потънал преди 2000 години кораб

Край бреговете на Италия е бил открит потънал преди около 2100 години кораб. Корабът е пътувал от Източното Средиземноморие към етруския град Популония, Тоскана. В трюма на плавателния съд археолози са открили безценна спореда гумите им находка. В останките на гървен сандък са се намирали много ценни за сегашната наука предмети с медицинско предназначение. Тук имало аптекарско хаванче, медицински инструменти и множество калаени капсули, съдържащи хапчета с размери от по няколко сантиметра.

Изследването на химичния състав на намерените хапчета, проведено с помощта на рентгеноструктурен анализ и други модерни аналитични методи, показало, че се касае до лекарствено средство, прилагано при очни заболявания. С изучаването на находката се заел екип от Археологичната служба във Флоренция под ръководството на г-р Гуаичи (Giachi). Било доказано, че намереното лекарство съдържало цинкови соли. Използването на цинкови съединения при лечението на някои заболявания,

например кожни и очни болести, е известно още от древността, а такива препарати се прилагат дори и в наше време. Намерените в потъналият кораб таблетки съдържали също пчелен восък, нишесте, смоли от излолистни растения, растителни масла и други съставки.

Находката на г-р Гуаичи и сътрудници хвърлят нова светлина върху фармацевтичната практика на древните народи. Учените предполагат, че намерените таблетки са били разтваряни във вода и полученият разтвор се нанасял на болното място. В Античността използваните за очни болести мехлеми и разтвори се наричали „колириум“ (Kollyrium). Гуаичи подчертава в научното съобщение, публикувано в авторитетното списание *Proceedings of the National Academy of Sciences*, че „...в археологията намирането на стари медикаменти е изключително рядко, поради което ние знаем за техния химически състав твърде малко“.

По Bild der Wissenschaft, 2013