

Веществата във Вселената и на Земята

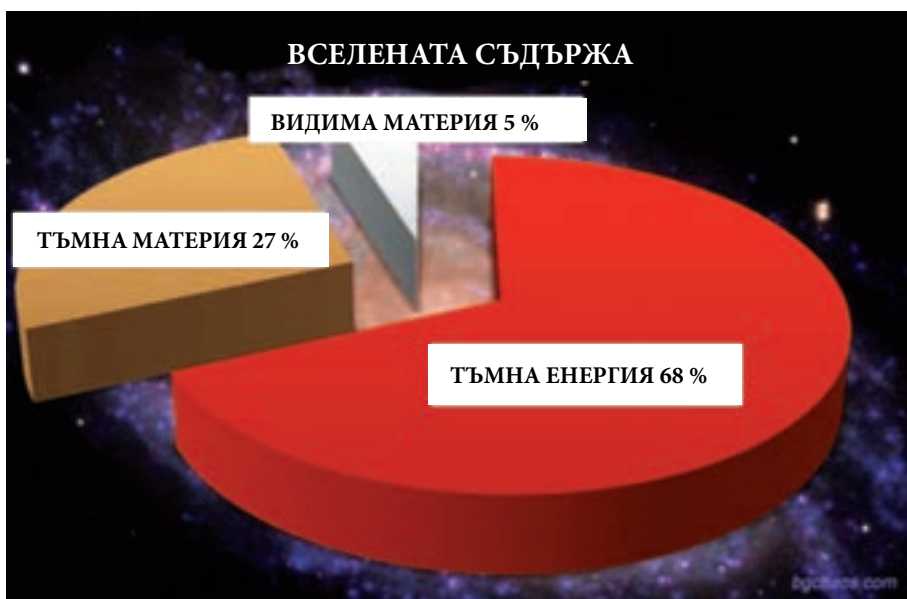
Иван Лалов, Невена Кожухарова

Съществуват надежди сред учените, че бихме могли да установим нейния строеж, независимо че тя почти не взаимодейства с протоните, неутроните, електроните и др. Останалите около 70 % от материята във Вселената е т.нар. тъмна енергия, предсказана не много смело

Според съвременните схващания за Вселената целият видим свят, наблюдаван и изследван много векове, включва едва 5 % от цялата материя. Около 25 % е т.нар. тъмна материя, която се проявява чрез своето гравитационно привличане.

от Айнщайн. Тя се смята от около 20 години за основен фактор за наблюдаваното от астрофизиците ускорено разширяване на Вселената, причинено от отблъскване на тъмната енергия.

Тук ще се интересуваме от въпросните пет процента, които изграждат всичко



Разпределение на материята във Вселената

около нас на Земята, в Галактиката и в далечните извънгалактични простори. Като оставим настрана подробностите за различните елементарни частици, подредени в т.нар. стандартен модел, ние ще опишем моделите на ансамбли от голям брой атоми, молекули, йони, електрони, които съставят веществата на звездите, газовете в междוזвездните пространства и веществата на планетата Земя. Грубо казано, ще смятаме споменатите обекти – атоми, молекули и др. – за стабилни „тухлички“, които изграждат света на веществата във Вселената и на Земята.

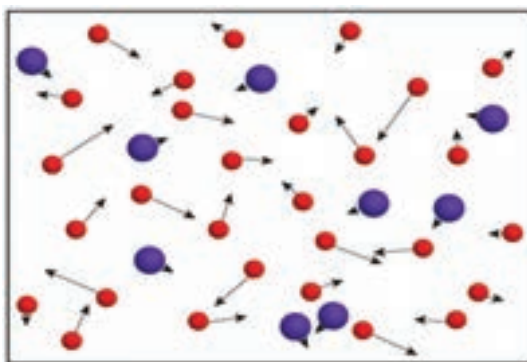
Веднага ще споменем, че основните сили, които определят структурата и свойствата на веществата, са електромагнитните. Силното и слабо взаимодействие определят явленията в микросвета (при разстояния 10^{-14} m и по-малки, които са повече от десет хиляди пъти по-кратки от размерите на атомите). Гравитационните сили се проявяват при масивни обекти (звезди, планети, черни дупки и др.). Именно електромагнитните сили, добре изучени през XIX в., са достатъчно интензивни, далекостигащи и създават взаимодействия между атоми, молекули, йони, свободни електрони.

Всъщност основните модели на веществата са три: газове, плазма, кондензирана материя. Твърдите и течните тела представляват различни агрегатни състояния, но те са форми на кондензирани среди. Именно тези три модела ще опишем накратко по-нататък.

Газове

Газовете се състоят от електронейтрални атоми или молекули, разположени на значителни средни разстояния помежду си. Атомите и молекулите имат среден радиус от няколко ангстрьома (10^{-10} m), докато при температура $t = 0^\circ\text{C}$ и налягане 1 атмосфера средното разстояние между тях е 10 – 20 пъти по-голямо от техните размери. Атомите и молекулите взаимодействат помежду си предимно по време

на удари. На по-големи разстояния те си взаимодействат като електрични диполи (с общ електричен заряд нула), а между диполите електричните сили бързо намаляват с разстоянието. Ударите между атомите и молекулите на газовете са еластични, каквито са ударите например между две футболни топки. Ударите са много чести – при споменатите по-горе условия – 0°C и 1 атмосфера – се сблъскват с другите атоми или молекули средно пет милиарда пъти всяка секунда. Същите еластични удари със стените на съда, в който се намира газът, създават неговото налягане.



Модел на газ, съставен от два вида гравитивни частици

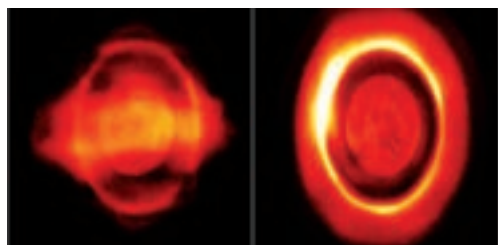
Поради сравнително простия модел на газовете, в който са важни еластичните удари между молекулите, газовете са изучени най-рано от всички вещества – известните от гимназиалния курс закони за идеалните газове на Бойл – Мариот, Гей – Люсак, Клапейрон и др. са установени през XVII – XIX в. На Земята най-яркият и важен пример за газова среда е земната атмосфера.

Плазма

Плазмата съдържа положителни и отрицателни заряди, най-често положителни йони и електрони. Тяхното разпределение в обема на плазмата е хаотично, но като цяло те взаимно се компенсират. Затова казваме, че плазмата представлява йонизиран квазиутрален газ. Свободните елек-

трични заряди взаимодействат помежду си със сили, описани от закона на Кулон, които намаляват сравнително бавно с разстоянието между зарядите. Плазмата може да съдържа само йони и електрони и тогава говорим за напълно йонизирана плазма. Възможно е само част от атомите да са йонизирани, а останалите са електрично неутрални, както в газовете. При дефиницията на плазмата като състояние на веществото канадският учен Лангмюр (Irving Langmuir) през 20-те години на XX в. включва т.нар. радиус на Дебай, който според всеобщо възприетото разбиране трябва да е значително по-малък от обема, заеман от плазмата.

В цялата Вселена около 99 % от веществото е в състояние на плазма. В звездните недра температурата е десетки милиони градуса и атомите са напълно йонизирани. В междוזвездното пространство атомите са с много малка концентрация, а температурите са много ниски. Но под действие на електромагнитни вълни (светлина, ултравиолетови лъчи, рентгенови лъчи и др.), а също при удари помежду им или с други частици атомите се йонизират. Обратният процес на рекомбинация на йони и електрони, при който те се свързват в неутрални атоми, е силно затруднен поради малкия брой частици в единица обем. По тези причини



Плазма на звездите



Светкавица



Плазма в реактор за управление термоядрен синтез

Макар електроните да са много по-леки и подвижни от положителните йони, не е възможно електронният газ да се отдели пространствено поради силното привличане от йоните. Възможни са локални нарушения на електронеутралността, които се компенсират от натрупване на електрични заряди, противоположни по знак на заряда нарушител в сфера с радиуса на Дебай. В плазмата могат да протичат електрични токове при движение на свободните електрони и йони, като много по-съществен е електронният ток. В плазмата могат да се разпространяват електромагнитни вълни, както във вакуум и газове, но с честота по-голяма от т.нар. плазмена (тя зависи от броя на свободните електрони и йони в единица обем на плазмата).

почти цялото междוזвездно пространство е изпълнено с плазма.

На Земята плазмата е рядко срещана – в газовите разряди и светкавицата, в йоносферата на височина 180 км и повече от земната повърхност. Особен вид плазма представлява електронният газ в металите.

Макар газовите разряди да се изучават от края на XIX в., физиката на плазмата е рожба на XX в. Интересът към това състояние на веществото се определя от интереса към явленията в астрономията и от надеждата да се реализира управление термоядрен синтез. При него най-вероятно ще са необходими познания за напълно йонизираната плазма при стотици милиони градуса в термоядрения реактор.

Кондензирани среди

Земята е един остров във Вселената, вероятно не единствен, на който доминират кондензираните среди – метали, скали, вода, биологични структури, геофизични среди от земната кора до центъра на Земята. Всичко, което виждаме на Земята, представлява кондензирана материя, освен въздуха (който пък е невидим).

В кондензираните среди съставните частици – атоми или молекули или йони (плюс електрони) са разположени много близко една до друга. Те почти се допират с най-външните си електрони, които в някои среди стават общи за съседите. Както вече споменахме в началото, основните сили, които определят структурата и свойствата на кондензираните среди, са електромагнитните сили между йоните в йонни кристали или между електрични диполи, които съществуват или възникват в атомите или молекулите в останалите типове кондензирани среди. Но кондензираните среди проявяват други две важни характеристики.

Съставните частици в тях са подредени. Във всички кондензирани среди връзките между външните електрони на съседните атоми, молекули или йони изискват определено пространствено разположение на съседите на дадена частица. Така във водната молекула двата водородни атома заемат определено положение спрямо кислородния атом. В течната вода, съставена от множество молекули, разположението на всеки съсед на дадена молекула не е произволно, а ограничено до няколко градуса в пространството около нея. Такова подреждане на съседите съществува във всички кондензирани среди и се нарича близко подреждане. В кристалите, в някои спирални биополимери и в други среди съществува далечно подреждане. При него не само близките съседи, но и по-далечните съставни частици са подредени правилно, периодично разположени и строго ориентирани в трите посоки на пространството. При кристалите разположението на централите на атомите или



Проф. Иван Лалов е доктор на физическите науки, преподавател във Физическия факултет на Софийския университет „Св. Климент Охридски“ (1961 – 2010 г.), професор по физика на електромагнитните явления и оптика, Председател на националната подпрограма „Оптиката и науката за светлината в Годишната на светлината“.



Невена Кожухарова е преподавател в Техническия университет – София от 2006 г. Завършила е Физическия факултет на Софийския университет „Св. Климент Охридски“ със специалност „Оптика и спектроскопия“.

на молекулите може да се опише геометрично с примерна пространствена решетка от точки, наречена кристална решетка.

Другата важна характеристика на кондензираните среди е тяхната квантова

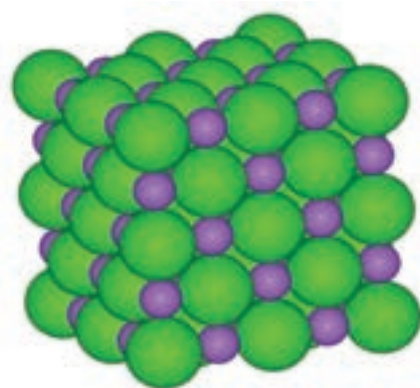
природа. Атомите и електроните не са точкови заряди, които си взаимодействат по закона на Кулон. В класическата електродинамика се показва, че в система, в която действат само Кулонови сили, не може да съществува стабилно равновесие. А кондензираните са много стабилни. Причината за това е, че електричните заряди не са заредени топчета, а квантови обекти. Така във водородния атом действа именно силата на привличане между противоположно заредените електрон и протон. Но той е стабилна „постройка“, тъй като се подчинява на законите на квантовата механика. Кондензираните среди са съставени от много атоми и молекули и тяхната устойчивост е обусловена от квантовата физика. Явленията в много кондензирани среди не могат да бъдат разбрани, описани и използвани, без да развием квантово-механични възгледи за тях. Съвременната физика е квантова физика!

Кондензираните среди могат да се разделят на три големи групи:

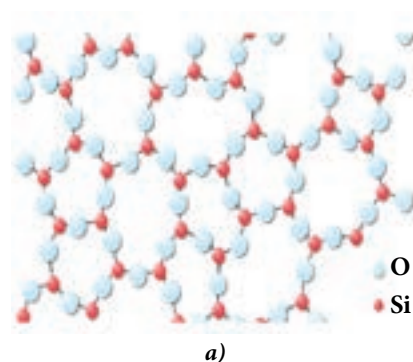
- твърди тела, вкл. кристали, стъкла, сплави;
- течности – класически и квантови;
- мека кондензирана материя – течни кристали, полимери, колоидни разтвори и биологични структури.

Твърди тела

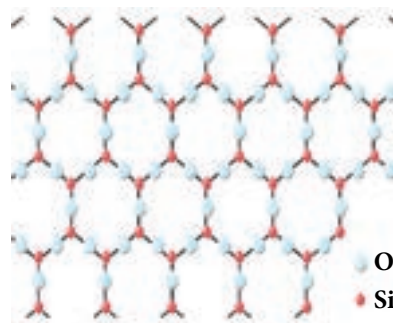
Най-дълбоко и най-продължително са изследвани твърдите тела, особено кристалите, за които има развити методи за изследване на структурата им и теоретични модели за техните механични, електрични, магнитни и гр. свойства. Наличието на галечно подреждане на атоми, молекули или йони е много благоприятно за изучаването им. Показано е, че кристалното състояние под температурата на топене е равновесно, т.е. с най-малка енергия. По тази причина след достатъчно дълъг интервал от време веществата, които се намират под тази температура на топене, кристализират. Много от природните материали, които цели геологични епохи са били при по-ниски температури, са в кристално състояние.



Кристална решетка на NaCl



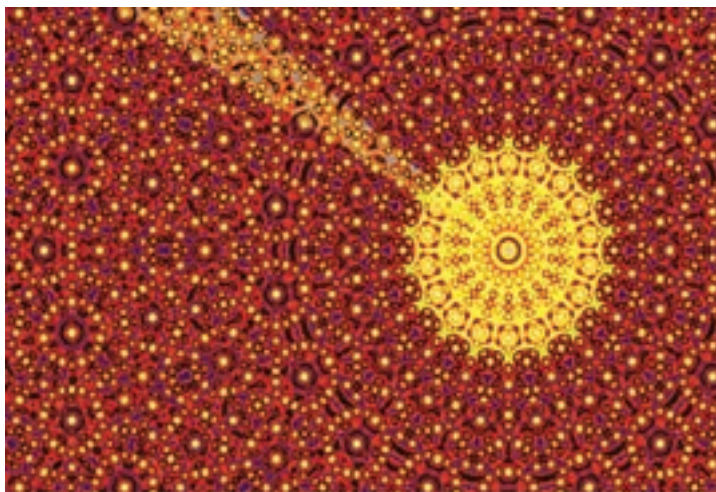
a)



б)

Подреждане на атомите: а) стъкло (аморфно с близко подреждане) б) кварц (кристална решетка – далечно подреждане)

Стъклата и металните сплави са друг тип твърди тела, наречени аморфни. При тях съществува само близко подреждане, а времето за кристализиране се измерва с милиони години (и по-дълго). Аморфните



Квазикристал

твърди тела са квазиравновесни (почти равновесни) и в рамките на нашия живот можем да ги смятаме за „вечни“ структури.

Затова интензивно се използват уреди и машини от метални сплави, оптични стъкла и др. аморфни материали. Технологиите на тяхното производство, при това с желаните от нас свойства на материалите, са добре разработени. От твърдите тела без кристална структура, синтезирани и изследвани в последните три десетилетия, ще споменем квазикристалите и възлерогните наноструктури.

Течности

Течностите са кондензирани среди само с близко подреждане, равновесни в температурния интервал между точката на топене и точката на изпарение. Независимо от широкото им разпространение и важността на водата за живота върху Земята, структурата на течностите е моделирана правилно малко преди средата на XX в. Всяка молекула на течността се намира в равновесно положение, което представлява потенциален минимум, определен от съседните молекули. Но в обема на течността няколко процента от равновесните минимума са незаети и в тях се извършват скокове на съседни

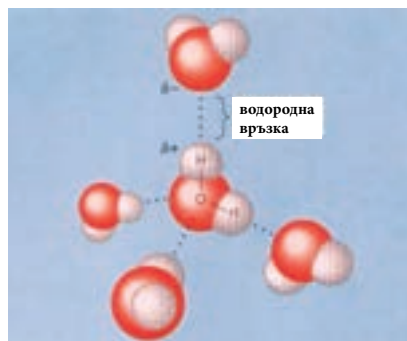
молекули, които освобождават своите досегашни местоположения. За разлика от твърдите тела, в течностите се извършват непрекъснати скокове на молекулата след престояване за някакво време в равновесно положение. Ако скоковете в една посока, например под действие на силата на тежестта по наклонена повърхност, са по-вероятни, отколкото в обратната посока, течността „тече“. Докато кристалите проявяват различни физични свойства в различните посоки (анизотропия), течностите са изотропни – с едни и същи характеристики в трите посоки на пространството. Чистите течности най-често са диелектрици и не провеждат електричен ток. Но съществуват течни метали, например живак при стайна температура или другите метали над точката на топене, които са много добри проводници на електричния ток и на топлината.

Особено ще подчертаем интересните свойства и структура на водата, която определя самата възможност за съществуване на живота върху Земята (това е отделна тема).

От свойствата на квантовите течности, съставени от изотопите на хелия – ^3He и ^4He , ще споменем най-интересна-



Молекула на вода



Връзки между молекули на водата

та – свръхфлуидността. Под определена температура, която е само няколко градуса над абсолютната нула, квантовата течност тече без триене от стените на тръбичката, изкачва се по стените на съда и др.

Мека кондензирана материя

Първите изучавани форми на меката материя са течните кристали, открити през 1888 г. от германския ботаник Райницер (Friedrich Reinitzer). Но самият термин „мека кондензирана материя“ е сравнително нов (1992 г.) и означава структури, много податливи на хлъзгане и твърдги при натиск. Течните кристали нямат галечно подреждане както твърдите кристали. Техните молекули обикновено имат формата на пръчка, много по-дълги в една посока, с асиметрично разположение на атомите. В определен температурен интервал равновесно е ориентирането на тези молекули пръчки в една посока. Така възниква т.нар. ориентационно подреждане, което прави веществото анизотропно и по което то наподобява кристал. Докато в нематичните течни кристали отделните молекули са само преимуществено ориентирани в една посока, без да са пространствено подредени, в смектичните и в холестеричните кристали молекулите са подредени по слоеве с една и съща посока на ориентация във всеки слой. Но вътре в тези слоеве молекулите могат да се „хлъзгат“, т.е. могат да променят своите

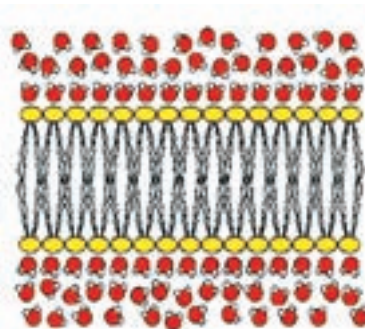
места. Ориентацията на молекулите в течно-кристална фаза и възможността да променяме тази ориентация от външни фактори, например електрично и магнитно поле, са в основата на техните многобройни приложения в електрониката и оптиката (т.нар. LCD).

Освен споменатите термотропни течни кристали съществуват и лиотропни кристали, в които подреждането – ориентационно или частично далечно подреждане на пръчковидните молекули – зависи от разтворителя. При това техните молекули имат различни групи атоми на двата края. Ако такива молекули се разтворят във вода, то едната група атоми е хидрофилна, т.е. насочва се към водните молекули, докато групата атоми от другия край на молекулата е хидрофобна и се





а) Сферичен мицел



б) Двоен слой

отблъсква от водните молекули. При не-големи концентрации на анизотропните молекули те образуват сферичен мицел, в който хидрофилните части на молекулите са разположени по сферичната повърхнина и контактуват с водните молекули, докато хидрофобните опашки са насочени към вътрешността на сферата. При по-големи концентрации тези молекули образуват двоен слой, като хидрофилните части контактуват с водните молекули от двете страни на слоя, а хидрофобните са насочени към вътрешността на слоя. Такива двойни слоеве са основа на клетъчните мембрани, които имат важна роля за структурата и функционирането на живите клетки.

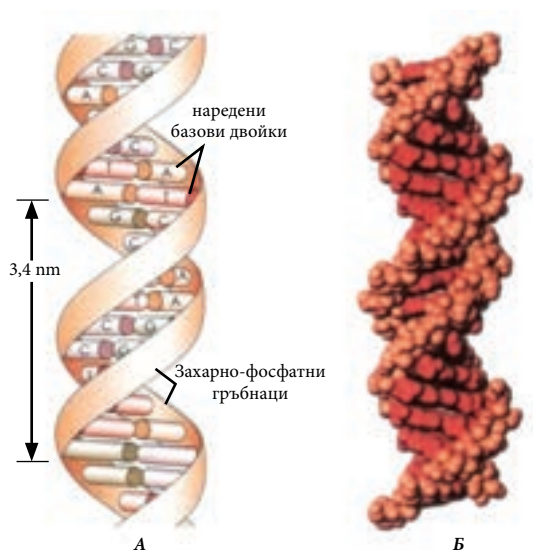
Биологични среди

Биологичните структури са особен вид мека кондензирана материя. Те могат да изпълняват определени функции, съставени са от комплексни течности и могат да съдържат образувания от атоми и групи от атоми с размери, които превишават стотици или хиляди пъти размерите на атомите. Близкото подреждане, а в някои от биологичните среди – и далечното подреждане, се реализира чрез индивидуалност и разнообразие на подредени атоми или групи в съставните единици. Великият физик Шрьодингер (Erwin Schrödinger) говори за апериодичен кристал.

Съставът и пространствената структура на тези единици осигуряват тяхното функциониране. Ще споменем, че основните единици на биологичните среди могат да се групират в три големи групи – белтъци, нуклеинови киселини и липидни мембрани. Функциите, които изпълняват различните биологични среди, осигуряват съществуването на клетките и органите на многоклетъчните организми, а също – възпроизвеждането на отделните клетки и организми. Структурата на отделните клетки и организми се възпроизвежда чрез предаване на информацията, натрупана при еволюцията. Биологичните среди имат йерархична структура на подреждането



Ервин Шрьодингер
(1887– 1961)



Модел на молекула на ДНК

на атоми или групи от атоми, като при белтъците са установени четири нива на иерархия.

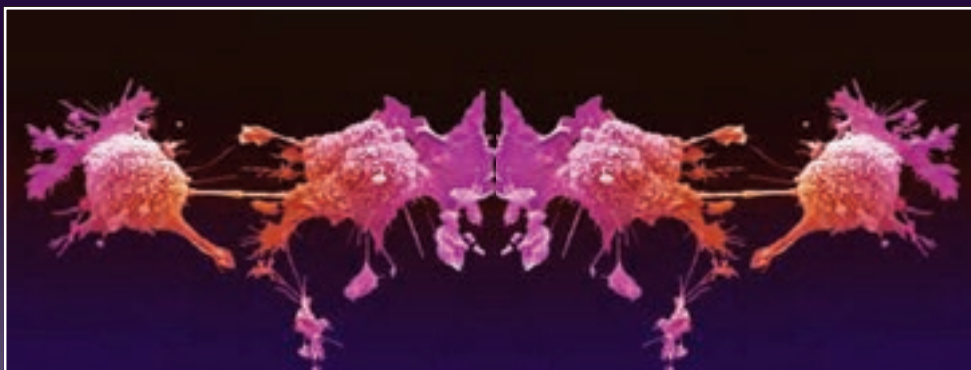
В биологичните среди се реализират физични явления като поглъщане на светлината, електронен и йонен транспорт и др. За разлика от останалите типове кондензирани среди, явленията в биологичните структури се осъществяват в условия далеч от термодинамично равновесие, затова процесите са бързи. Кристалите, стъклата, течностите слабо взаимодействат с околната среда и оставени при определени условия (температура, налягане) могат да съществуват „вечно“ или за много дълги времена. Биологичните среди като част от функциониращ организъм са отворени системи, непрекъснато обменят енергия с околната среда и внасят неподреденост в нея. Когато този процес на обмен се прекъсне или затрудни, организмите престават да живеят, а кондензираните среди, от които са съставени, бързо деградираат.

Без да разглеждаме структурата и функционирането на основните биологични среди, ще споменем, че най-голямата и вероятно най-важната известна молекула е тази на ДНК, която се намира във всяка клетка на организма и съдържа информацията за структурата на всички белтъци в организма и на организма като цяло. Тя самата представлява миниатюрен „аперодиичен кристал“.

Разбира се, в една статия не може да се обхване цялото многообразие и свойства на веществата във Вселената и на Земята. Извън нашето внимание останали много интересните и практически важни електрични и магнитни свойства на материалите. Защо някои вещества провеждат електричния ток, например металите, а други са изолатори? И кои са най-важните особености на полупроводниците, които ги правят толкова ценни? (Само ще споменем, че в полупроводниците може сравнително лесно да се контролира и променя чрез външни фактори концентрацията на свободни електрични заряди в тях – отрицателни и положителни).

Веществата, които описахме дотук, изграждат нашия свят – с междинни размери – той е различен от микросвета на елементарните частици, атомните ядра и дори атомите, но и от безкрайния макросвят на звездите и галактиките. Като изучаваме в дълбочина веществата, ние по-добре разбираме своето място и дори своята еволюция. Нещо повече, именно науката за веществата и материалите е достигнала до знанието, какви среди са важни за техниката, науката и бита и как можем да произведем необходимите ни устройства и уреди (например лазери, компютри, мобилни устройства). Напредъкът в познанията за материалите е толкова бърз, че осигурява технически революции през няколко десетилетия. ■

Нови данни за разсейването на раковите клетки



Известно е, че раковите клетки се придвижват в тялото на човека и животните обикновено по кръвен път на малки групички (кълстери). От първичния тумор, по време на нарастването му, периодично се откъсват отделни групички от клетки, които чрез кръвоносните съдове се пренасят в нови тъкани и органи и дават начало на нови метастази. В тези малки групички клетките са свързани една с друга със своите клетъчни стени. Установени са и единични, наричани „блуждаещи“ клетки, които също попадат в кръвоносните съдове, пренасят се на нови места и също могат да образуват вторични метастази.

Екип от американски изследователи от Харвардския медицински университет решили да проверят способни ли са раковите клетки, които се придвижват на групички, да преминават и през най-тънките капиляри, или се спират и образуват метастази само около по-големите кръвоносни съдове. За целта те извършили експерименти, по време на които вкарвали в капиляри с малък диаметър различно големи групички от ракови клетки, взети както от болни, така и от лабораторни клетъчни култури. За целта експериментирали с кръвни капиляри, които се стеснявали по дължината си и достигали едва 7 микрона в диаметър, т.е. почти с диаметъра на раковите клетки. Очакванията, че групите от клет-

ки ще спрат придвижването си на мястото на стесняването на по-широките капиляри не се оправдали. Оказало се, раковите клетки се нареждали преди стеснението една след друга подобно на „индийска нишка“ и така преминавали и в най-тънките участъци на малките капиляри. Но при това подреждане и преминаване те не прекъсвали връзките си с другите клетки от „кълстера“, а се придвижвали поединично, свързани една с друга.

За проверка на своето откритие те направили същия експеримент и с групички от ракови клетки, вкарвани в тесни капиляри на рибата *Danio rerio*, която има близко кръвно налягане с човека и стесняващи се капиляри. И в този експеримент се потвърдило, че групичката от ракови клетки се превръщала в удължена верижка от свързани клетки, които една след друга преминавали стеснените участъци на капилярите и отново формирали своята „групичка“ след преминаването на всички клетки от кълстера.

Получените резултати хвърлят нова светлина не само върху биологията и поведението на раковите клетки при разсейването им в организма на болните, но и върху способността им за проникване и локализация в най-неочаквани нови тъкани и органи.

По The Scientist