



Молекулните машини донесоха Нобеловата награда за химия през 2016 г.

Стефан Манев

През последните 50 – 80 години откритията най-често са резултат на работата на няколко учени, често от различни страни, а данните се натрупват в продължение на години. Затова и най-престижните награди – Нобеловите, обикновено се присъждат на групи от няколко учени, за резултати, които са получени преди години. До голяма степен времето на учените самотници е минало. За 2016 г. Нобеловата награда по химия беше присъдена на трима учени за изследвания, свързани с „разработването и синтеза на молекулни машини“. Под машина в този случай трябва да разбираме устройство с движещи се части, което може да се използва за определени цели.

Историята започва през 1983 г. с изследванията на Жан-Пиер Соваж (Jean-Pierre Sauvage) в областта на фотохимията, една модерна за онова време област. Изследват се молекулни комплекси, които съхраняват енергията, съдържаща се в слънчевите лъчи, и която след това се използва за различни цели. (Така например по това време у нас се използваха фотохимични реак-

Изследванията в областта на природните науки позволяват да се надникне все по-дълбоко в тайните на природата, като резултатите обхващат както космическите явления, така и микросвета и живите организми.

ции за създаване на лъчепротекторни средства.) При създаването на модели на фотоактивните комплекси Жан-Пиер Соваж забелязва тяхното сходство с мо-

лекулна верига. По този начин молекулите се оказват свързани по механичен начин, без да се използват химични връзки.

Изследванията на Жан-Пиер Соваж се насочват към конструиране на механична верига от пръстеновидни молекули с помощта на медни йони, нещо неизвестно до този момент. С помощта на метални йони молекулите се сглобяват във все по-сложни структури от дълги вериги до сложни възли. Новият клас молекули – молекулните вериги, са наречени катенани (от латинската дума за верига, catena).

Жан-Пиер Соваж скоро стига до идеята, че молекулните вериги са не само нов клас молекули, но и че те са първата стъпка към конструирането на молекулна машина. Разбира се, във всяка машина трябва да има движещи се една спрямо друга части. През 1994 г. изследователската група на Жан-Пиер Соваж получава катенани, при които едното колело се завърта около другото

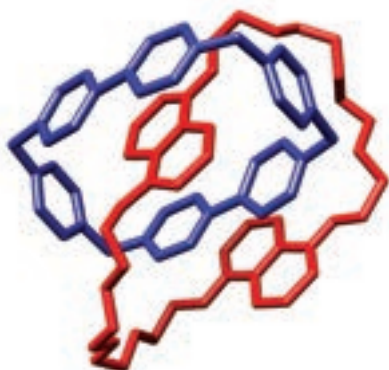
коело по контролиран начин, когато му се добави енергия. Така се конструира първата молекулна небиеологична машина, в която химичните връзки не участват директно. С това първата стъпка е завършена.

Следващата стъпка към създаването на двигател с молекулни размери е направена от Фрейзър Стодарт (Fraser Stoddart), който нанизва молекулен пръстен на молекулна ос. През 1991 г. неговата изследователска група изгражда молекулен пръстен и дълга молекулна ос, която има богати на електронни структури на двата края. С подходящи операции в разтвор той успява да постави пръстена върху оста и след това да я затвори, така че пръстенът остава нанизан върху оста, без да може да излезе от нея. Така се появяват ротаксаните (rotaxane): молекула с форма на пръстен, която механично е нанизана на ос. Съществува възможност пръстенът сам да се движи от единия до другия край между двете богати на електрони области. През 1994 г. Фрейзър Стодарт контролира напълно това движение с помощта на топлинна енергия. Той не спира дотук. Оказва се, че могат да се конструират различни ротаксани – движещи се между краищата на няколко оси, осите да са с различна дължина и насоченост в пространството и т.н. Това дава възможност на изследователската група на Стодарт от 1994 г. да използва различни ротаксани, за

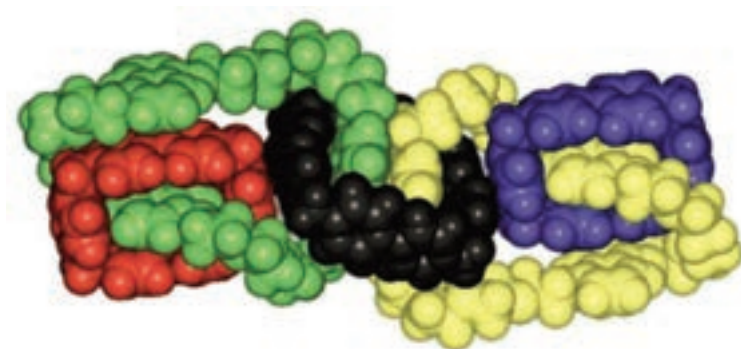


Доц. г-р Стефан Манев е завършил Химическия факултет на СУ „Св. Кл. Охридски“. В последните години интересите му са насочени към въпросите на обучението по химия и опазване на околната среда в средното училище. Бил е зам.-декан на Химическия факултет на СУ и Природоматематическия факултет на ЮЗУ „Неофит Рилски“.

да изгради множество молекулярни машини. Това са асансьор (2004), който може да се издигне на 0,7 нанометра, и изкуствен мускул (2005), който огъва много тънка златна пластина. В партньорство с други изследователи Фрейзър Стодарт разработва също



Модел на две пръстеновидни молекули, свързани по механичен начин – преминават една през друга и образуват верига. Това е показано по-ясно на схемата до молекулите



Жан-Пьер Соваж и Дж. Фрейзър са лидери в областта на синтеза на катенани. В техните изследователски групи са създали дори молекулярни версии във форма на вериги и на някои символи (например олимпийските кръгове)

и базиран на ротаксани компютърен чип с памет 20 КБ. Изследователите смятат, че молекулярните компютърни чипове може да направят революция в компютърните технологии също така, както навремето това направиха силициевите транзистори. С това е завършена и втората стъпка, водеща към молекулните мотори.

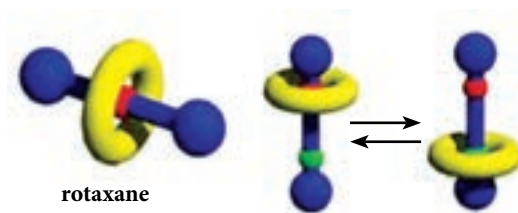
Началото на конструиране на истински молекулни двигатели е поставено от Фрейзър Стодарт, който успява да създаде пръстен на ротаксан, въртящ се последователно в различни посоки. Производството на истински двигатели, които непрекъснато се въртят в една и съща посока, е постигна-

то за пръв път от холандеца Бернард (Бен) Феринга (Bernard Lucas Feringa).

Молекулата, която представлява неговият двигател, се състои от нещо, което може да се оприличи на две малки роторни перки (две плоски химически структури, които са съединени с двойна връзка между два въглеродни атома). Една метилова група е прикрепена към всяка роторна перка. Тези групи, както и части от роторната перка, принуждават молекулата да се върти в една и съща посока. Когато на молекулата се въздейства с импулс от ултравиолетова светлина, едната от роторните перки отскача на 180 градуса около централ-



Схема на първата механична машина, създадена на молекулно ниво през 1994 г. от групата на Жан-Пьер Соваж – всяка от молекулите може да се движи независимо при приемане на определена енергия



Модел на молекулата, наречена ротаксан, в която пръстенът може да се придвижва от единия край на оста до другия с помощта на топлинна енергия

ната двойна връзка. Със следващия светлинен импулс роторната перка отскача с още 180 градуса. И така се осъществява въртене в една и съща посока. Първият мотор не е много бърз, но групата на Феринга го оптимизира. През 2014 г. моторът се върти със скорост от 12 милиона оборота в секунда. Използвайки конструирания от него двигател, Феринга успява да завърти стъклен цилиндър, близо 10 000 пъти по-голям от двигателя.

1. Когато молекулните двигатели се излагат на светлина, светлинната енергия се съхранява в молекулите и ако се намери метод за извличане на тази енергия, е възможно да се разработят нов вид батерии.

2. Разбира се, система от молекулни двигатели може да се използва за разработване на сензори, които реагират на светлина. Можем само да гадаем какви други приложения на молекулните двигатели ще бъдат открити.



При получаването и на катенаните, и на ротаксаните е необходимо пръстеновидна молекула да бъде поставена на ос. От тази система след определени операции се получават двете молекули. Това позволява конструирането на сложни системи

През 2011 г. изследователската група изгражда наноавтомобил на четири колела. Върху молекулното шаси са поставени четири двигателя, които функционират като колела. Когато колелата се завъртат, колата се придвижва напред по повърхността.

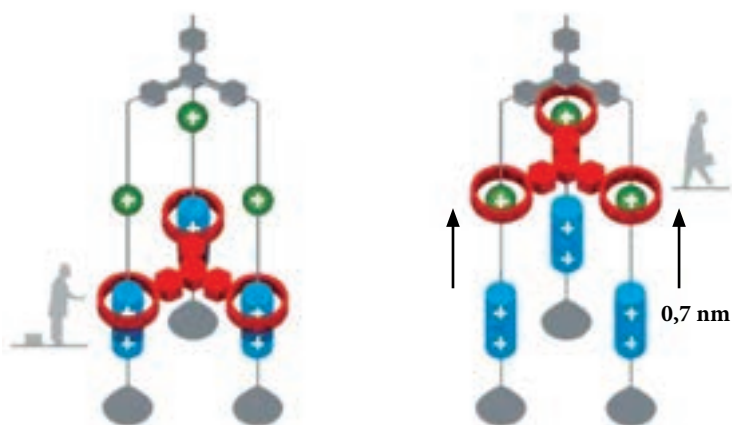
Молекулният инструментариум, чиито първи стъпки са направени от Жан-Пиер Соваж, сър Фрейзър Стогарт и Бернард Феринга с разработваните от тях молекулни машини, сега се използва от изследователи по целия свят, за да се изграждат все по-модерни системи. За пример може да се използва молекулният робот, построен през 2013 г. от ротаксани, който свързва аминокиселини. Други изследователи свързват молекулните двигатели в дълги полимери, така че да образуват сложна мрежа. Работата в тази насока е интензивна и в скоро време се очакват съобщения за нови по-усъвършенствани и приложими в практиката наномашини.

Някои от свойствата на наномашините могат да намерат приложение в следните случаи:

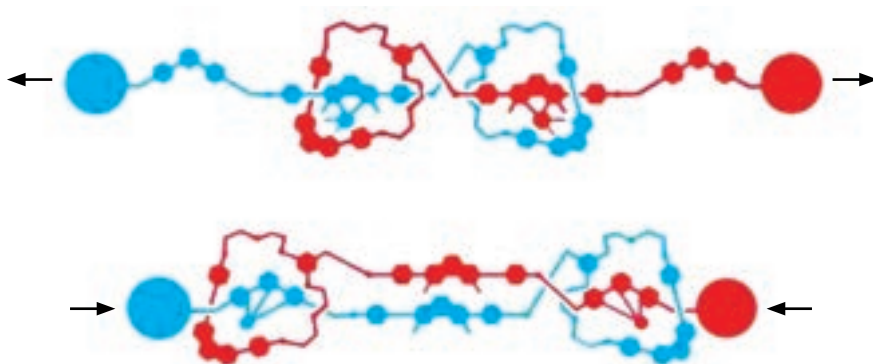
Читателят може да остане с впечатление, че разработването на молекулните машини е сравнително лесно. Това далеч не е така. Работата е сложна, изисква много умения и хрумвания. Явно системите трябва и могат да бъдат усъвършенствани и усложнени.

В това отношение може да помогне природата. Оказва се, че подобни двигатели съществуват в природата. Отдавна е известно, че някои видове бактерии и други микроорганизми имат опашки, наречени флагелум, с помощта на които се движат. Доскоро обаче не бяха ясни всички детайли за това, което довежда в движение тези части от тялото на бактериите. Камшичетата, с които се движат микроорганизмите, се въртят около оста си (подобно на тирбушони) благодарение на много по-сложни микроскопични биодвигатели.

С помощта на специална техника и електронни микроскопи строежът на молекулните двигатели на бактериите беше изяснен. При технологията „електронна



Модел на молекула ротаксан, използвана като наноасансьор за преместване на молекули от едно място на друго. Може да се прецени, че в този случай движещата се молекула има три пръстена, а осите, по които се движи, също са три. По този начин асансьорът има по-голяма товароподемност

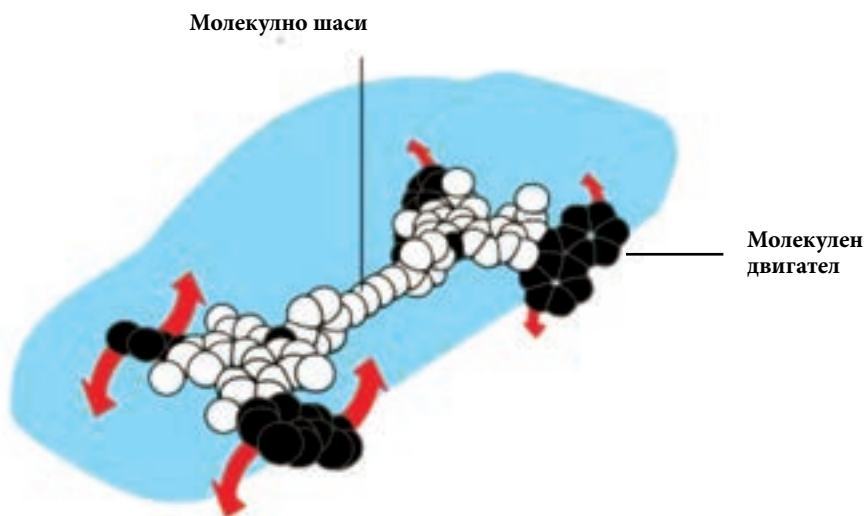


Модел на по-сложна система от комбиниране на две молекули ротаксан, която може да се свива и разпуска и по този начин да се използва като наномускул. Съществуват и други възможности за моделиране на наномускули

криотомография" охлажданите до ниска температура проби се поставят под фокуса, закрепена на електронен микроскоп. Неподвижността на молекулната структура при тази температура позволява да се направят снимки от различни ъгли и да се създаде на тяхна основа 3D модел на структурата на молекула.

В изследванията се показва, че всеки вид бактерия има биологичен двигател. За вся-

ка бактерия този двигател е уникален и се различава от двигателите на другите бактерии по форма, големина, сложност, мощност, стойност на въртящия момент, скорост и други параметри. Единствената обща черта на всички биологични двигатели е системата от неподвижни молекулярни пръстени, един вид еквивалент на статора на обикновен електромотор. Този молекулярен „статор“ позволява на



Модел на наноколата на Бен Феринга. Четирите колела представляват молекулни двигатели, а шасито е конструирано от органични молекули. Когато колелата се завъртат, колата се придвижва напред по повърхността



3D модели на молекулни двигатели на бактерии, създадени с помощта на електронно микроскопски снимки. В интернет могат да се намерят клипове, които показват как работят тези двигатели и как ги използват бактериите

двигателя да произвежда въртящ се момент, който се предава на въртящите се органи на бактериите – витла, които ги тласкат напред.

Благодарение на получаването на информацията за структурата на биологичните двигатели и постиженията на новите Нобелови лауреати, изследователите в областта на нанороботиката ще имат импулс за създаване на нови, собствени би-

одвигатели с нужните размери, скорост, мощност и други параметри и да ги използват за различни цели.

Накрая може да се обобщи, че много често нашите открития са копия на използвани в природата устройства и системи. Надяваме се, че молекулните устройства и двигатели ще се усъвършенстват и ще позволят достигането на нови възможности за управление на жизнените процеси. ■