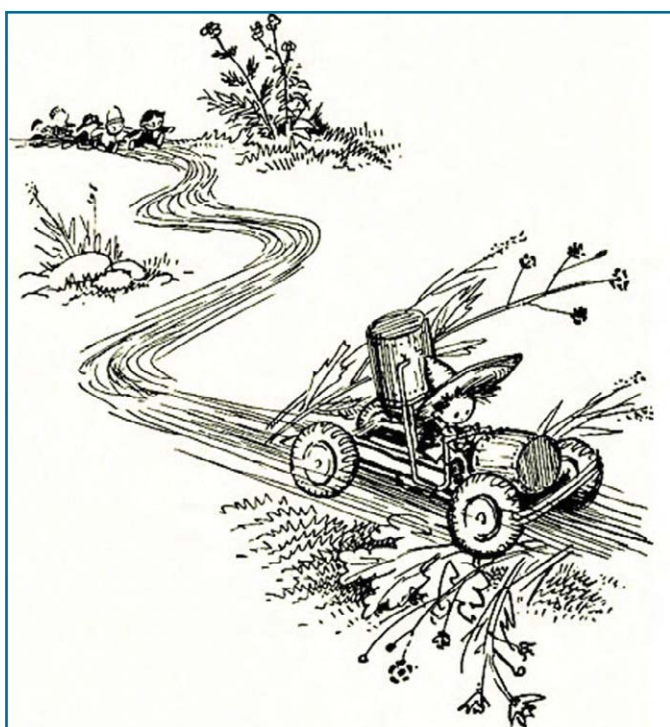


## НАНОМАШИНЫ (Nanocars)

*Как мир меняется, и как я сам меняюсь –  
Лишь именем одним я называюсь.*

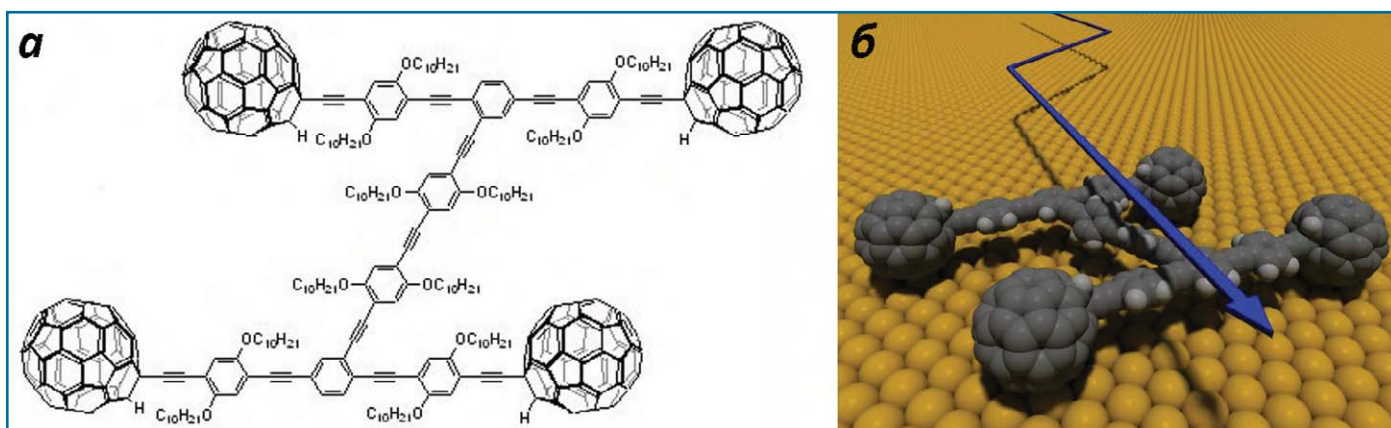
*М. Заболоцкий*



«Однажды Винтик и Шпунтик никому ничего не сказали, закрылись у себя в мастерской и стали что-то мастерить. Целый месяц они пилили, строгали, клепали, паяли и никому ничего не показывали, а когда месяц прошел, то оказалось, что они сделали автомобиль. Этот автомобиль работал на газированной воде с сиропом...» Так известный детский писатель Николай Носов описывал автомобиль Винтика и Шпунтика из сказки «Приключения Незнайки и его друзей». Еще недавно это было, пожалуй, самое маленькое четырехколесное средство передвижения, известное человечеству. Мог ли Н. Носов представить себе, что спустя полстолетия группа исследователей из американского университета

Райса (Rice University) под руководством профессора Джеймса Тура (James M. Tour) создаст автомобили, которые будут как минимум в 10 000 000 раз меньше машины Винтика и Шпунтика! Размер наноавтомобилей составляет всего 3–4 нанометра. Они настолько малы, что на площади размером всего 1×1 мм можно устроить стоянку на 10 000 000 000 таких транспортных средств! В отличие от сказочного автомобиля Винтика и Шпунтика наномашин профессора Тура существуют на самом деле, передвигаются под действием температуры или света и не потребляют газированную воду с сиропом. Но если корышки справились с созданием газированного автомобиля за месяц, то группа профессора Тура работала над проектом по созданию наномашин около десяти лет.

Работа по созданию наноавтомобиля, а точнее его составных частей – нанодвигателей, шестеренок, подшипников, переключателей и проч. (см. *Наноактюаторы* и *Наноэлектромеханические* системы) началась уже довольно давно. Однако в большинстве ранних работ речь шла об ансамблях органических молекул в растворе, за поведением которых ученые наблюдали спектроскопическими методами. Впрочем, в некоторых случаях исследуемые молекулы, такие как бензол, порфирины и др., удавалось перенести из раствора на твердую подложку и вручную подвигать по ней с помощью иглы сканирующего зондового микроскопа. В связи с этим огромным достижением группы из университета Райса стало создание наноавтомобиля, который действительно бы катился (не скользил, а именно ездил!)



**Рис. 1.** Химическая формула первого наноавтомобиля (а) и его графическое представление на поверхности золота (б)

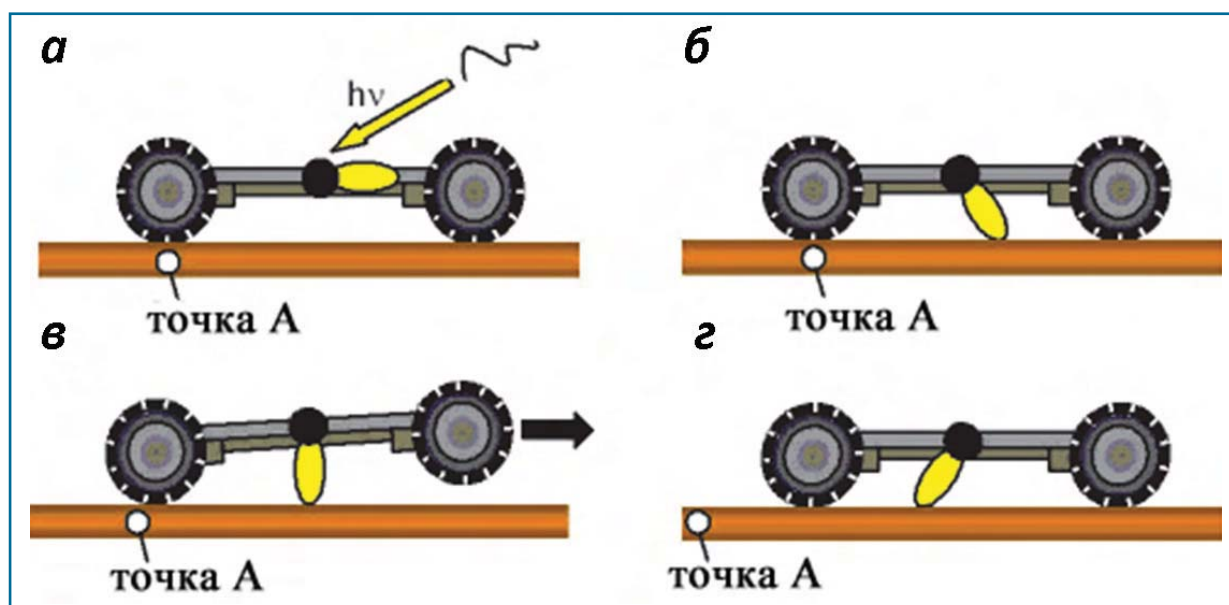
по поверхности так же, как катятся на колесах автомобиля.

Схема первого наноавтомобиля, способного ездить по поверхности золота, показана на рис. 1. Хорошо видно, что это большая органическая молекула, состоящая из почти 300 атомов трех видов – углерода, кислорода и водорода. В качестве колес использованы четыре молекулы **фуллерена**  $C_{60}$ , которые связаны химическими связями с каркасом машины. У первого наноавтомобиля именно уникальная сферическая формула молекул фуллерена позволила обеспечить настоящее вращение колес наноавтомобиля вокруг собственной оси.

Первоначально движение наномашин осуществлялось обычным нагреванием всей систе-

мы до  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что вызвало вращение фуллеренов на химических связях, соединяющих их с «рамой машины». От вращения четырех молекул наносистема пришла в движение и смогла катиться по плоской золотой поверхности. Однако таким автомобилем оказалось совсем нелегко управлять, на «автодроме» от нагрева ездил все машины, сталкиваясь и образуя «пробки». А ведь именно управление машиной необходимо при организации молекулярных конвейеров и транспортных линий, осуществляющих перемещение промежуточных продуктов на нанофабриках будущего.

Для решения этой проблемы ученые решили поставить на каждую машину «молекулярный мотор» – **наноактюатор**. Среди разнообразных конструкций молекулярных моторов выбор был



**Рис. 2.** Принцип работы молекулярного мотора

сделан в пользу модели, разработанной голландским инженером Беном Феринга (Ben L. Feringa). Принцип работы такого мотора изображен на рис. 2. Он представляет собой подвижную лопасть, установленную в центре рамы наноавтомобиля. Под действием излучения (использовался свет с длиной волны 365 нм) лопасть начинает вращаться и, отталкиваясь от золотой подложки, приводит наномашину в движение.

При установке молекулярного мотора возникли дополнительные сложности. В частности, выяснилось, что мотор Феринга не работает в присутствии фуллеренов. Поэтому колеса наноавтомобиля пришлось заменить на молекулы р-карборанов, содержащие атомы углерода, водорода и бора. В соответствии с этим конструкцию

рамы автомобиля также пришлось несколько видоизменить.

Эксперименты показали, что полученные таким образом наноавтомобили действительно могут ездить под действием света, что является огромным достижением нанотехнологии. Впрочем, созданные наномашинки все еще требуют усовершенствования. В частности, «лопастной нанодвигатель» может вращаться только в одну сторону, поэтому пока наномашинки умеют ездить только вперед.

В 2006 г. профессор Тур был назван «Исследователем года» по версии авторитетного издания *Small Times Magazine*, поскольку до этого момента никому не удавалось создать движущуюся наносистему такой сложности.

#### Литература:

1. Shirai Y., Osgood A.J., Zhao Y., Kelly K.F., Tour J.M. Directional control in thermally driven single-molecule nanocars. *Nano Letters*. 2005. Vol. 5(11). P. 2330–2334.
2. Morin J.F., Shirai Y., Tour J.M. En route to a motorized nanocar // *Organic Letters*. 2006. Vol. 8(8). P. 1713–1716.