

**С. Николаев**

## **"Оптический пинцет" откроет со временем перспективу безотходных нанотехнологий**

---

*Рассказываем об одной из работ физиков, получивших Нобелевскую премию, и почему среди них не оказалось российских ученых.*

### **"Аркан" для наномира**

Исследователи давно уже научились управлять потоками электронов, ионов и других заряженных частиц с помощью электромагнитного поля. Притягивая частицы, словно арканом, полями противоположного знака или отталкивая одноименными, можно направлять их куда угодно. Так работают ускорители, электронные микроскопы и подобные им устройства и приборы.

Однако мир в основном состоит из нейтральных частиц - молекул, атомов, нейтронов, внешне никак свой заряд не проявляющих. А как было бы неплохо и ими управлять "поштучно". Вспомните, мы писали, что именно на таком принципе отбора нужных атомов и молекул можно было бы создать "скатерть-самобранку", а говоря проще - безотходное производство. Но как осуществить монтаж на наноуровне, на какие силы опереться?

Между тем вспомним, еще в 1899 году российский физик П.Н.Лебедев экспериментально измерил световое давление на твердые тела, а потом и на газы. Стало быть, в принципе на нейтральные частицы можно воздействовать, к примеру, лазерными штучками. В 1968 году наш соотечественник, доктор физико-математических наук В.С.Летохов рассчитал теоретически, какими именно они должны быть, чтобы с их помощью можно было перемещать атомы. И спустя 10 лет американский физик А.Эшкин предложил принципиальную конструкцию лазерной ловушки для нейтральных частиц, где их можно удерживать, сколько требуется.

Однако вскоре исследователи поняли: чтобы такие устройства работали надежно, надо притормозить бег частиц, замедлить их. Наиболее простой способ - замораживание, охлаждение до сверхнизких температур.

На первом этапе температуру частиц понижают, помещая их в криостат со сжиженным газом. Воспринимая температуру окружающей среды, они могут быть охлаждены примерно до 1К или  $-272,16^{\circ}\text{C}$ . При этом они резко снижают скорость своего движения. Ведь из теории известно, что при температуре абсолютного нуля всякое тепловое перемещение прекращается.

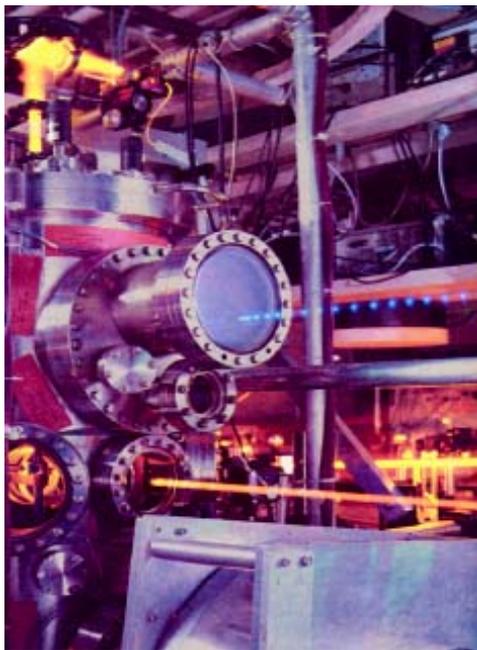
Теперь успокоившиеся частицы можно направить лазерным лучом в нужном направлении, подобно тому как бильярдный кий посылает шар в лузу.

## Атомный "бильярд"

Однако атом - все-таки шар весьма своеобразный. Тесно прижавшиеся друг к другу в центре протоны и нейтроны словно бы бронированы, окружены многослойной электронной оболочкой. И передать импульс движения атому лазерный пучок, согласно законам квантовой физики, может лишь в том случае, когда тот поглотит фотон. Частица света как бы пробьет броню.

Электрон, поглотивший фотон, перескакивает на другую, более высокую, орбиту, держится там определенное время, а потом возвращается назад, отдавая полученную энергию опять-таки в виде кванта. Стало быть, атом должен остановиться, подобно тому как останавливается шар на сукне бильярдного стола из-за трения или натолкнувшись на другой шар. Но поскольку и поглощение и испускание фотона - процессы очень быстротечные и разнонаправленные, мы можем и не заметить, сдвинулся ли стол с места. Сколько бы ни атаковали его квантами света, он бы компенсировал полученный импульс выбросом такого же количества энергии в противоположную сторону.

На наше счастье, на практике дело обстоит не столь безнадежно. Атаковать атом-шар мы можем, обстреливая его из лазерной "пушки" с определенной позиции. Испускание же фотона происходит в случайном направлении, поскольку электроны беспорядочно вращаются по своим орбитам. И множество фотонов, осыпая, словно из пулемета, движущийся, предположим, им навстречу атомный шар, способны притормозить его движение.



*На таких вот установках ведутся эксперименты по лазерному удержанию охлажденных атомов.*

## Стрельба по движущейся цели

Итак, задача вроде бы решена. Осталось ответить на вопрос, каким образом выбрать из множества атомов тот единственный, который движется строго навстречу лучу, сосредоточить фотонный поток именно на нем? Реально ведь ни один снайпер не смог бы поймать атом на прицел.

Однако еще Летохов и его коллеги выяснили, что "стрелять" по атомному шару имеет смысл лишь световым излучением строго определенной длины волны или частоты, попадающим в резонанс с собственными колебаниями электронов на своих ор-

битах. Иначе фотоны не будут поглощаться электронами, а значит, атом и не получит импульсов торможения. Причем спектральный резонанс заодно способен обеспечить и надежное прицеливание по тем из атомов, которые движутся строго навстречу лазерному пучку. Поможет здесь и эффект Доплера.

Последний, как вы помните, в простейшем случае заключается в следующем. Гудок стоящего локомотива, движущегося нам навстречу или удаляющегося от нас, будет казаться нам разной высоты, или частоты. А коли так, значит, и частоту лазерного пучка можно подобрать с таким расчетом, что испускаемые фотоны будут восприниматься, поглощаться лишь атомами, движущимися строго навстречу. И никакими другими!

На этой остроумной догадке в 1975 году американскими физиками и была построена лазерная ловушка для нейтральных атомов. Они поставили попарно шесть лазеров, расположив их по трем взаимно перпендикулярным осям, и притормозили таким образом сразу множество атомов, движущихся в разные стороны.

А еще 10 лет спустя, усовершенствовав подобную систему, А.Эшкин, Л.Холлберг, Дж.Бьорхольм, А.Кейбл и С.Чу выяснили, что атомы натрия в эксперименте охлаждаются до 0,00024К! Причем в ловушке образовывалась среда, работавшая как своеобразный клей - атомы вязли в ней, словно мухи в сахарном сиропе, или, как называли ученые, - в "оптической патоке".

### От "патоки" к "пинцету"

Однако такая "патока", как вскоре выяснилось, оказалась не очень хорошим "клеем" - атомы-шары задерживались в ловушке-лузе не дольше, чем на 0,5 с. Пришлось продолжить работу. За дело взялись ученые разных стран. Вскоре, например, У.Филлипс и его коллеги обнаружили, что при определенных условиях "оптическую патоку" можно использовать для охлаждения атомов до температур почти абсолютного нуля.

Такое открытие, в свою очередь, побудило группу К.Коэн-Таннуджи из французского коллежа и группу С.Чу из Станфорда создать новую теорию лазерного охлаждения, основанную на еще более сложной взаимосвязи между атомами и их взаимодействием со световыми полями. А это опять-таки позволило усовершенствовать ловушку, снизив к 1995 году температуру в ней до 2 - 3 микрокельвинов.

Остановленные в своем беге атомы стали настолько чувствительны к световому давлению, что теперь лазерными пучками можно действовать словно щипцами, подвигая микрообъекты, что называется, поштучно. На рисунке, например, вы можете увидеть схему "оптического пинцета" - установки, позволяющей перемещать микробы, даже отдельные части внутри живой клетки, не разрушая ее!

Кроме того, новые методы оказались весьма перспективны для создания уникальных атомных интерферометров, особо точных атомных часов, гироскопических датчиков нового поколения для космической навигации...

За все это Нобелевский комитет и присудил премию Стивену Чу из Станфордского университета, Уильяму Филлипсу из Мерилендского национального института стандартов и технологий, а также Клоду Коэн-Таннуджи из Коллеж де Франс.

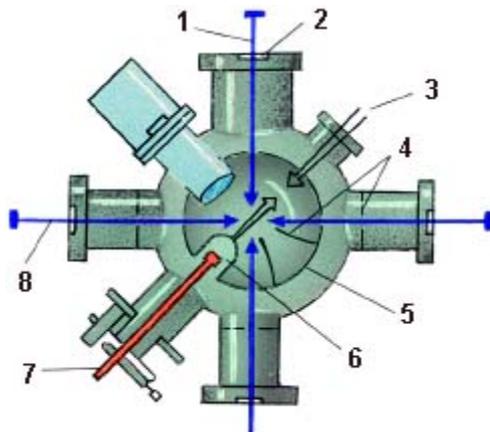


Схема эксперимента по лазерному удержанию атомов.

Цифрами обозначены: 1 и 8 - зеркала; 2 - окно для проникновения лазерного луча; 3 - подача предварительно охлажденного газа; 4 - световые барьеры; 5 - теплоизоляционная оболочка; 6 - "оптический пинцет"; 7 - манипулятор управления.

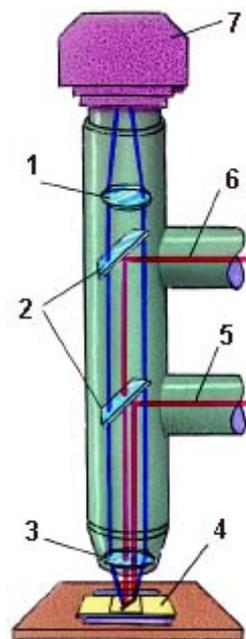


Схема "оптического пинцета": 1 и 3 - линзы; 2 - зеркала; 4 - исследуемый образец; 5 - освещающий пучок; 6 - захватывающий пучок; 7 - видеокамера.

## У разбитого корыта?

Казалось бы, все нормально. Работа оценена по достоинству. Однако вот что обидно: нашим специалистам удалось заметить указанные эффекты значительно раньше зарубежных ученых.

Ведь первые шаги были сделаны сотрудниками Института спектроскопии во главе с Владиленом Летоховым еще в 1968 году. Причем была не только сформулирована проблема теоретически; Виктор Балыкин провел и первые эксперименты в этой области... В любой научной библиотеке есть журналы с описаниями этих работ. Более того, в 1994 году в Институте спектроскопии был выпущен сборник трудов, посвященный данному научному направлению. Им был отмечен своеобразный юбилей - четверть века с момента начала работ по лазерному охлаждению. Чуть позднее опубликована монография Летохова и Миногина сначала на русском, а потом и на английском языках. Так как же можно было не заметить работы российских исследователей?

## Заглянем в летописи

Обида россиян понятна. Ни для кого также не секрет, что Нобелевский комитет по тем или иным причинам зачастую оказывает предпочтение заокеанским исследователям. Скажем, за последние 5 лет премии по физике получили 10 американцев и только двое, представляющие весь остальной мир.

Но давайте все-таки попробуем разобраться, насколько обоснованы наши претен-

зии?

Мы не поленились и достали из "Интернета" справку Нобелевского комитета, где подробно перечисляются все, кто так или иначе имел отношение к данному достижению. Первым в ней значится... Иоганн Кеплер! Именно он еще в 1619 году обратил внимание, что хвосты комет отклоняются, и сумел понять почему - из-за светового давления Солнца. Правда, в этом почетном списке почему-то пропущен П.Н.Лебедев, зато имеется полтора десятка других славных имен, среди которых значится и В.С.Летохов.

Однако Нобелевский комитет не имеет привычки растягивать списки лауреатов до бесконечности. Число лауреатов по каждой номинации строго ограничено. Не более трех. И точка. Отсев идет жесткий. При этом далеко не всегда, как показывает практика, премии получают лучшие из лучших. Многое зависит от экспертов, от авторитета тех, кто представляет того или иного лауреата, и множества других нюансов. Но нас в данном случае это не касается. Потому как заявка от России вообще не была представлена в Нобелевский комитет. И обижаться, выходит, надо не на шведских академиков, а на российских чиновников от науки, которые не удосужились подать ее в срок и по установленной форме.