

КОРОЛЕВСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ИНФОРМАЦИОННАЯ СПРАВКА
Русскоязычная электронная версия

ПЕСНЬ МОЛЕКУЛ

За последние годы физики из Института ядерной физики Макса Планка и Канзасского университета провели ряд уникальных высокоточных измерений микромира при помощи лазера. В частности, они впервые детально измерили резонанс, возникающий в молекуле дейтерия (тяжелого водорода).

Молекулу дейтерия, как и молекулу водорода, образуют два атома, соответственно, она имеет два ядра (каждое состоит из протона и нейтрона) и два электрона. Фактически физики работали с ионом дейтерия - молекулой, лишенной одного электрона.

Оба ядра колеблются с некоторой частотой (которая может меняться, например, при искусственном воздействии на молекулу). При определенных частотах в системе может возникать резонанс. Исследователи сравнивают его с музыкальным аккордом, который возникает из сочетания определенных нот (акустических волн фиксированной частоты).

Целью последней работы немецко-американской группы было изучить именно явление молекулярного резонанса: при каких частотах оно возникает, каких амплитуд могут при этом достигать колебания ядер, можно ли на систему влиять искусственно. Следуя метафоре музыкального аккорда, физики даже создали аудио представление своего исследования - можно послушать песнь молекул.

Как и многое другое в микромире, частота колебаний частицы квантована, т.е. может принимать не любое значение на непрерывной шкале, а ограниченное количество фиксированных значений (квант - неделимая порция). Соответственно, квантована и частота, при которой возникает молекулярный резонанс. Каждое значение частоты соответствует квантовому состоянию системы.

Чтобы представить себе это свойство, можно сравнить молекулу с музыкальным инструментом, который способен играть только на нескольких фиксированных частотах без промежуточных вариантов.

Увидеть колебания молекулы, длящиеся ничтожные доли секунды, невозможно даже в электронный микроскоп. Для наблюдения использовалась специальная технология, разработанная в институте Макса Планка: два сверхкоротких лазерных импульса, первый возбуждает молекулу и вызывает движение ядер, второй "фотографирует" систему.

Результат анализа молекулы дейтерия этим методом представлен на иллюстрации: по оси абсцисс отложено время между двумя импульсами (то есть фактически время проведения измерения), по оси ординат - расстояние между ядрами. Поскольку в микромире положение частицы, как правило, описывается вероятностными методами, на графике присутствует третье измерение: цвет, который обозначает вероятность того, что ядра находятся именно на таком расстоянии.

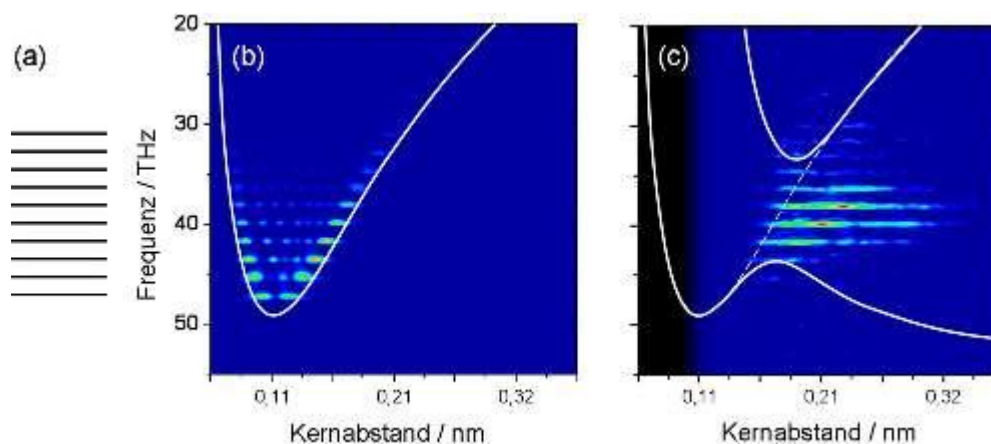
Получив эти данные, ученые смогли проанализировать "вклад" каждой частоты в общую картину (подобно тому, как музыкант может расслышать отдельные ноты в аккорде). Специальный математический аппарат - преобразования Фурье - позволяет разложить спектр на частоты и понять, что происходит на каждой частоте.

Результаты анализа представлены на схемах (a), (b) и (c).

На схеме (a) изображены частоты тех квантовых состояний, в которых возникает резонанс.

На схеме (b) приведен модельный расчет для случая, когда система не подвергается лазерному воздействию и ведет себя естественным образом.

На схеме (c) даны результаты эксперимента: ион находился в электромагнитном поле лазера.



На схемах (b) и (c) по оси абсцисс отложено расстояние между ядрами, по оси ординат - частота (чем ниже точка, тем больше частота). Цветные полосы показывают характеристическое распределение расстояния между ядрами в соответствующем квантовом состоянии - то есть те значения расстояния, которые, скорее всего, имеют место. Белая сплошная линия - потенциальная кривая, теоретический предел амплитуды (если расстояние между ядрами превысит предел, молекула распадется).

Как можно видеть на схеме (b), ядра с наибольшей вероятностью находятся либо на минимально возможном, либо на максимально возможном расстоянии друг от друга. Максимальная амплитуда зависит от квантового состояния: чем выше частота, тем уже область, в которой возможны колебания, тем меньше энергии нужно, чтобы разорвать молекулу на атомы.

Схема (c) показывает, что лазерные импульсы существенно влияют на систему. На определенных частотах колебания "выходят" за потенциальную кривую. Это означает, что первый импульс может вызвать резонанс, который разрушит молекулу. В таком случае второй импульс либо не обнаруживал ядер вообще, либо фиксировал распад молекулы.

Результаты анализа исследователи "озвучили". Частота звука "аудио иллюстрации" зависит от частоты колебаний молекулы, а громкость - от расстояния между ядрами.

Ничего удивительного физики не открыли, но они впервые осуществили настолько точные измерения подобных процессов, разработали новую технологию исследования микромира, подробно описали явление молекулярного резонанса, выяснили, какие квантовые состояния присущи молекуле дейтерия. Кроме того, они уточнили, какое влияние на молекулу оказывает лазер и при каких именно условиях она распадается - что потенциально может пригодиться для управления химическими реакциями.