



Зондирование электронной динамики в веществе с аттосекундным временным разрешением

к.ф.-м.н. Михаил Юрьевич Рябикин

Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН, Н. Новгород

Нобелевская премия 2023 года по физике была присуждена трём учёным-экспериментаторам, внесшим решающий вклад в «создание экспериментальных методов генерации аттосекундных импульсов света для исследования динамики электронов в веществе». Благодаря разработкам, отмеченным этой премией, в распоряжении экспериментаторов теперь имеются компактные источники импульсов электромагнитного излучения вакуумного ультрафиолетового и рентгеновского излучения беспрецедентно короткой – аттосекундной – длительности (одна аттосекунда – это чрезвычайно короткий интервал времени длительностью всего в 10^{-18} секунд). Говоря точнее, длительность наиболее коротких получаемых сегодня импульсов составляет менее сорока аттосекунд, что примерно в пять раз меньше периода обращения электрона вокруг протона по наименьшей круговой орбите в боровской модели атома водорода. Это означает, что стало принципиально возможным с использованием столь коротких световых импульсов получать серии «мгновенных снимков» электронов в процессе их движения внутри атомов, молекул или между узлами кристаллической решётки, составляя из этих снимков своеобразное «кино» о жизни электронов внутри вещества в ходе тех или иных физических или химических процессов.

Следует понимать, что когда говорится о мгновенных снимках электронов, вовсе не имеется в виду возможность посмотреть на них, сфотографировать и т.д. Размеры электронов на много порядков меньше тех, при которых они могли бы быть доступны для прямого наблюдения. Более того, к электрону как типичной частице микромира неприменимы такие понятия классической физики, как траектория – экспериментальные измерения дают нам лишь возможность узнавать об изменениях вероятностных распределений координат частицы, проекций её импульса, момента количества движения и т.д. Наконец, каждое наше измерение в той или иной мере изменяет состояние частицы. Всё это усложняет как сами измерения, так и процедуру интерпретации их результатов.

Информация о состоянии электронов в момент зондирования извлекается косвенным образом, путем анализа угловых и/или энергетических распределений частиц (фотонов, электронов, ионов и т.д.), возникающих при воздействии зондирующих импульсов на исследуемое вещество. Развитие аттосекундной физики неразрывно связано с важнейшей задачей разработки методов решения таких обратных задач, позволяющих связать экспериментально наблюдаемые макроскопические величины с величинами, характеризующими состояние исследуемых объектов на микроуровне. В лекции будут представлены основные развитые к настоящему времени подходы к аттосекундным измерениям электронной динамики, изложены некоторые полученные интересные результаты и обсуждены дальнейшие перспективы таких исследований.