

ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННЫЕ ПРОЦЕССЫ В АТОМАХ

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»*

Ст. А.Г. Худенко

Рук.: доц. В.К. Якуша, ст. пр. Е.Б. Алмазова

С появлением лазера – универсального источника когерентного, мощного, монохроматического, управляемого по всем параметрам света – начался один из важных этапов исследования спектра испускания и поглощения света атомов периодической таблицы Д.И.Менделеева. Открывающиеся при этом возможности представляют большой интерес в области науки и техники.

Лазерный свет с набором определенных длин волн позволяет осуществить резонанс с атомом нужного сорта, обнаружить их в смеси, обнаружить и выделить атомные частицы, отличающиеся друг от друга только изотопным или изомерным составом ядер. Когда длина волны лазерного света попадает в резонанс с частотой какого-либо квантового перехода, характерного для выбранной атомной частицы, происходят индуцированные, или стимулированные, лазерным излучением резонансные процессы, в которых поглощаются и испускаются лазерные фотоны. На них основан лазерно-индуцированный метод ионизации атомов и его применения.

Резонансная ионизация атома через промежуточное возбужденное состояние при ступенчатом поглощении двух (трех) фотонов обладает рядом преимуществ по сравнению с обычной нерезонансной фотоионизацией при поглощении одного фотона. Во-первых, это резонансный процесс и степень его избирательности определяется шириной спектральной линии резонансного возбуждения, которая может быть исключительно малой. Во-вторых, ступенчатая ионизация позволяет конвертировать нейтральный атом а ион с высокой вероятностью: вплоть до 100% за однократное облучение. Это возможно за счет интенсивности и малой длительности лазерных импульсов. Процесс стимулированного перехода возбужденного атома в ионизационный континуум имеет не резонансный характер. Для ионизации возбужденного атома второй лазерный импульс должен иметь большую энергию, чем первый, что вполне достижимо в лабораторных лазерах. Чрезвычайно малая ширина линий резонансного возбуждения исключает возможность

совпадения линий различных элементов, поэтому процесс ступенчатой резонансной ионизации строго избирателен и с помощью настройки длины волны лазера может быть осуществлен для любого лазера данного сорта. Процесс ступенчатой ионизации используется для изотопически-селективной ионизации атомов, в основу двух новых методов - лазерной ионизационной спектроскопии и лазерного ионизационного разделения изотопов. Остановимся на первом.

Резонансная ионизационная спектроскопия. Одна из основных задач спектроскопии – получить максимально полную и точную информацию о веществе, при минимальном его количестве. Реально спектр можно получить при достаточно большом количестве атомов или молекул в образце (примерно 10^{10} - 10^{20}). Но существует много задач для решения которых необходимо более высокая чувствительность. Это определение сверхтонкой и изотопической структуры спектров атомов с радиоактивными короткоживущими ядрами, которое позволяет получить данные о самом ядре; обнаружение следов редких элементов в природных образцах с относительным их содержанием менее 10^{-10} %; детектирование примесей в особо чистых материалах для микроэлектроники. Создание метода резонансной ионизации решило проблемы повышения чувствительности, так как в нем детектирование атома свелось к детектированию образующегося фотоэлектрона и это можно сделать с 100%-ной эффективностью. Разрешающая способность фотоионизационного метода чрезвычайно мала: $\Delta\omega_{\text{погл}} / \omega \approx 10^{-7}$. Это позволяет обнаруживать и измерять тонкие детали в спектре атома, обусловленные, в частности, структурой его ядра. Метод обладает высоким быстродействием. Время быстрого действия определяется длительностью лазерных импульсов в пико- и фемтосекундах. Резонансная фотоионизационная спектроскопия – универсальный метод, пригодный для изучения любого атома или молекулы, если известна последовательность резонансных переходов, ведущих к ионизации. Такая последовательность специфична для каждого элемента. Для широкого применения метода, необходимо изучение высоковозбужденных состояний, а так же – лазеры с перестраиваемой частотой в ИК и УФ областях. Метод резонансной фотоионизации успешно применяется для обнаружения «следов молекул». Резонансная фотоионизация в сочетании с методами избирательной адсорбции может позволить детектировать молекулы с высокой чувствительностью

и избирательностью, т.е. позволить создать лазерный анализатор запаха.