

сами возбуждения и зондирования варьируется. При этом используется возможность точного контроля t по оптич. пути светового импульса, напр. изменение t на 10 фс соответствует варьированию оптич. пути на $\sigma t = 3$ мкм.

Регистрация спектральных характеристик осуществляется с помощью зондирования изучаемого объекта СКИ с широким спектром. Для получения такого широкополосного импульса — «континуума» со спектром, охватывающим всю видимую часть спектра, — интенсивный фемтосекундный импульс направляют в струю жидкости. При применении зондирующего импульса предельно короткой ($\sim 10^{-14}$ с) длительности регистрация спектральных изменений может производиться путём измерения самого импульса, к-рый имеет значит. ширину в соответствии с соотношением неопределённости.

К Ф. с. относится также люминесцентная спектроскопия с временным разрешением, в к-рой измеряются длительность свечения и спектры изучаемого объекта. В методах обычной люминесцентной спектроскопии в качестве детекторов используют скоростные фотоприёмники и электронно-оптич. преобразователи, к-рые не обеспечивают фемтосекундного временного разрешения. В люминесцентной спектроскопии, применяющей методы Ф. с., «временные ворота» для измерения сигнала создаёт непосредственно сам импульс, чем и достигается фемтосекундное временное разрешение. Для образования «временных ворот» возбуждаемая фемтосекундным импульсом люминесценция может направляться на нелинейный кристалл, где она смешивается с фемтосекундным лазерным импульсом. Такая схема обеспечивает временное разрешение порядка длительности импульса, т. е. сигнал на суммарной частоте образуется только во время нахождения этого импульса в кристалле. Временная эволюция свечения на фиксированной длине волны измеряется путём установки нелинейного кристалла под соответствующим углом синхронизма и регистрации сигнала на суммарной частоте при варьировании оптич. задержки направляемого на кристалл лазерного импульса.

Для измерения спектра свечения образца в течение «временных ворот» нелинейный кристалл вращается, при этом условие синхронизма для генерации суммарной частоты выполняется для различных λ свечения изучаемого объекта.

Эксперим. схемы, использующие генерацию суммарной частоты, применяются и для получения ИК-спектров поглощения в разл. моменты времени. В этом случае образец возбуждается СКИ, а непрерывное ИК-излучение используется для зондирования. При возбуждении образца изменяются колебат. состояния составляющих его частиц и зондирующее непрерывное ИК-излучение модулируется этими изменениями. Промодулированное ИК-излучение направляется на нелинейный кристалл, где смешивается с лазерным импульсом. Измерение сигнала производится на суммарной частоте, т. е. в видимой части спектра, а измерение времени задержки позволяет регистрировать эволюцию ИК-поглощения.

Принципиально новый метод — т. н. метод «импульсивной» спектроскопии комбинационного рассеяния (ИСКР) — основан на использовании СКИ длительностью $t \approx 10$ фс, т. е. менее одного периода молекулярного колебания, $T = 2\pi/\Omega$ с частотой Ω . Два возбуждающих импульса с одинаковой частотой ω и разл. волновыми векторами, перекрываясь во времени и в пространстве, образуют когерентную стоячую волну колебат. возбуждения в изучаемой среде. Принципиально важно применять такие короткие СКИ, чтобы их спектральная ширина превышала Ω . При этом становится возможным когерентное рассеяние фотонов на молекулярных колебаниях с частотой Ω в фотоны более низкой частоты (но находящиеся в пределах спектральной ширины импульса) с образованием в среде когерентной стоячей волны колебат. возбуждения. Третий, зондирующий, СКИ направляется в среду, где происходит его дифракция на стоячей волне колебат. возбуждения, представляющей собой дифракц. решётку. Зависимость интенсивности дифрагированного сигнала от времени задержки

между возбуждающими и зондирующим импульсами является источником информации о колебат. возбуждения среды и происходящих движениях молекул. Эксперим. измерения, выполненные с предельно высоким временным разрешением в простых жидкостях, показали возможность регистрации колебат. движений её частиц. В ИСКР интенсивность дифрагированного сигнала определяется ф-цией

$$G(t) \sim \exp(-\gamma t) \sin \Omega t,$$

где γ — скорость дефазировки стоячей волны колебат. возбуждения. Т. к. в ИСКР используют столь короткие импульсы, что их спектральная ширина превышает частоту молекулярного колебания Ω , становится возможным когерентное рассеяние фотонов более высокой частоты на молекулярных колебаниях в фотоны более низкой частоты, с образованием в среде когерентной волны колебат. возбуждения.

В методике спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) с временным разрешением применяется двухимпульсная схема, в к-рой первый — возбуждающий — импульс создаёт изменения в изучаемом объекте, а второй — зондирующий — используется для измерения спектров КР. Спектроскопия КР — один из наиболее информативных методов оптич. спектроскопии, поэтому применяется для изучения сложных многоатомных молекул, динамики изменения их структуры и хода фотохим. реакции. Т. к. сечение КР даже в резонансном случае мало, в спектроскопии КР с временным разрешением особенно эффективно использование для зондирования методов нелинейной лазерной спектроскопии, в первую очередь методик когерентного антистоксова и стоксова рассеяния света [2].

Лит.: 1) Сверхкороткие световые импульсы, под ред. С. Шапиро, пер. с англ., М., 1981; 2) Спектроскопия с временным разрешением, под ред. Р. Кларка, Р. Хестера, пер. с англ., М., 1990; 3) Херман Й., Вильгельми Б., Лазеры сверхкоротких световых импульсов, пер. с нем., М., 1986; 4) Ахманов С. А., Выхлоуп В. А., Чиркин А. С., Оптика фемтосекундных лазерных импульсов, М., 1988.
В. Ф. Камалов.

ФЕРМА ПРИНЦИП — осн. принцип *геометрической оптики*, утверждающий в простейшей форме, что луч света всегда распространяется в пространстве между двумя точками по тому пути, вдоль к-рого время его прохождения меньше, чем вдоль любого из др. путей, соединяющих эти точки. Время прохождения светом расстояния l в среде с показателем преломления n пропорционально оптич. длине пути S . Для однородной среды $S = nl$, а для неоднородной $S = \int n dl$. Т. о., в этой форме Ф. п. есть принцип наименьшей оптич. длины пути. В первонач. формулировке, данной П. Ферма (P. Fermat, ок. 1660), принцип имел смысл наиболее общего закона распространения света, из к-рого следовали все (к тому времени уже известные) законы геом. оптики. Для однородной среды Ф. п. приводит к закону прямолинейности светового луча (в соответствии с положением о том, что прямая есть линия, вдоль к-рой расстояние между двумя точками наименьшее), а для случая падения луча на границу раздела между средами с разными n из Ф. п. можно получить законы зеркального отражения света и преломления света.

В более строгой формулировке Ф. п. представляет собой т. н. вариационный принцип, утверждающий, что реальный луч света распространяется от одной точки к другой по линии, вдоль к-рой время его прохождения экстремально или одинаково по сравнению с временами прохождения вдоль всех др. линий, соединяющих данные точки. Это означает, что оптич. длина пути луча может быть не только минимальной, но и максимальной либо равной всем остальным возможным путям между двумя точками. Условие экстремальности оптич. длины пути сводится к требованию, чтобы была равна нулю вариация от интеграла $\delta \int n dl = 0$, где A и B — точки, между

к-рыми распространяется свет. Примеры мин. пути — упомянутые распространение света в однородной среде и про-