Как известно, твердые тела сохраняют свою форму, а жидкости растекаются, принимая форму сосуда. Сверхтекучие жидкости представляют собой квинтэссенцию жидкого состояния: они способны без малейшего сопротивления протекать сквозь тончайшие каналы и даже «взбираться» по стенкам сосуда, чтобы вытечь из него. Далее...



сверхтонкая структура

СВЕРХТОНКАЯ СТРУКТУРА (сверхтонкое расщепление) уровней энергии - расщепление уровней энергии атома, молекулы или кристалла на неск. подуровней, обусловленное взаимодействием магн. момента ядра с магн. полем, создаваемым гл. обр. электронами, а также взаимодействием квадрупольного момента ядра с неоднородным внутриатомным электрич. полем. Вследствие сверхтонкого расщепления уровней в оптич. спектрах атомов и молекул вместо одной спектральной линии возникает группа очень близких линий - С. с. спектральных линий.

Если ядро атома или одно из атомных ядер молекулы имеет спин I, то каждый подуровень С. с. характеризуется полным моментом F = J + 7, где J - векторная сумма полного электронного момента и момента орбитального движения ядер. Квантовые числа F полного момента пробегают значения $F = |J - I|, |J - I| + 1,..., J+I$ (J и I - квантовые числа полного механич. электронного и ядерного спинового моментов). При $J \geqslant I$ число подуровней равно 2I + 1, а при $J < I$ оно равно $2J + 1$. Энергия $\mathscr{E}$ подуровня записывается в виде:

$$\mathscr{E}_F = \mathscr{E}_J + \mathscr{E}_{M1} + \mathscr{E}_{E2},$$

где $\mathscr{E}_J$ - энергия уровня в пренебрежении С. с., $\mathscr{E}_{M1}$ - энергия магн. диполь-дипольного взаимодействия, $\mathscr{E}_{E2}$ - энергия электрич. квадрупольного взаимодействия.

В атомах и ионах осн. роль играет магн. взаимодействие, энергия к-рого

$$\mathscr{E}_{M1} = \frac{1}{2} hAC, \quad C = F(F+1) - I(I+1) - J(J+1);$$

константа A (Гц) определяется усреднением по состоянию с полным моментом F оператора магн. взаимодействия электронов с ядерным моментом Величина взаимодействия пропорц. *ядерному*

$\hat{V}_{M1} = hAIJ$ *магнетону* $\mu_{яд} = (m/m_p)\mu_0$ ' , где μ_0 - магнетон Бора, *m* - масса электрона и m_p - масса протона. Расстояние между подуровнями С. с. в атоме примерно в 1000 раз меньше, чем расстояние между компонентами *тонкой структуры*. Характерные величины сверхтонкого расщепления $(\mathscr{E}_{M1}/h)$ для основного состояния атомов порядка одного или неск. ГГц. Сверхтонкое расщепление возбуждённых уровней энергии убывает пропорц. энергии связи возбуждённого электрона в степени 3/2 и быстро уменьшается с увеличением орбитального момента электрона. В случае водородрподобных атомов (H, He^+ и т. д.)

$$A=\frac{(Ry/2\pi h)\alpha^2 Z^3}{n^3(l+1/2)J(J+1)}\cdot\frac{m}{m_p}g_I,$$

где $Ry = me^4/2h^2$ - *Ридберга постоянная*, α - *тонкой структуры постоянная*, *Z* - заряд ядра (в единицах заряда электрона), *n* и *l* - главное и орбитальное квантовые числа, g_I - ядерный *Ланде множитель* .Электрич. квадрупольное взаимодействие существует при $J \geqslant 1$ для несферич. ядер с $I \geqslant 1$. Оно даёт поправки к энергии подуровней атома

$$\mathscr{E}_{E2}=\frac{3h}{8}B\frac{C(C+1)-4/3I(I+1)J(J+1)}{I(2I-1)J(2J-1)}.$$

Константа *B* определяется усреднением по состоянию с полным моментом F оператора квадрупольного взаимодействия

$$V_{E2}=3/4hB[\hat{I}_i\hat{I}_k+\hat{I}_k\hat{I}_i-2/3I(I+1)\delta_{ik}]J_iJ_k,$$

где $i, k = 1, 2, 3$, δ_{ik} - *Кронекера символ* .Обычно постоянная квадрупольного взаимодействия *B* на один-полтора порядка меньше константы *A*. Квадрупольное взаимодействие приводит к нарушению правила интервалов Ланде.

Для дипольных переходов между подуровнями С. с. разных уровней выполняются *отбора правила:* $\Delta F = 0, \pm 1; F + F' \geqslant 1$. Между подуровнями С. с. одного уровня разрешены магн. дипольные переходы с указанными выше правилами отбора, а также электрич. $\Delta F = 0, \pm 1, \pm 2; F + F' \geqslant 2$ квадрупольные переходы с правилами отбора.

Почти у всех молекул в основном электронном состоянии суммарный механич. момент электронов равен нулю и магн. С. с. колебательно-вращат. уровней энергии гл. обр. связана с вращением молекулы. В случае двухатомных, линейных многоатомных молекул и молекул типа симметричного волчка (см. *Молекула*),содержащих одно ядро со спином *I* на оси молекулы,

$$\mathscr{E}_{M1}=h\frac{aK^2}{J(J+1)+b}\cdot C,$$

где *J и K* - квантовые числа полного вращат. момента и его проекции на ось волчка соответственно. Магн. расщепления составляют 1-100 кГц. Если спином обладают неск. ядер молекулы, то вследствие магн. взаимодействии ядерных моментов возникают дополнит. расщепления порядка неск. кГц. Магнитная С. с. уровней энергии молекул, обладающих электронным моментом, того же порядка, что и для атомов.

Если молекула в еостоянии $^1\Sigma$ содержит на своей оси ядро с $I \geqslant 1$, гл. роль играет квадрупольное расщепление:

$$\mathscr{E}_{E2}=\frac{3}{8}h\beta\left(\frac{3K^2}{J(J+1)}-1\right)\frac{C(C+1)-4/3I(I+1)J(J+1)}{I(2I-1)(2J-1)(2J+3)},$$

где β (Гц) - константа, характерная для уровня с данными *K* и *J*. Величины квадрупольных расщеплений составляют десятки и сотни МГц.

В растворах, стёклах и кристаллах С. с. могут, напр., иметь уровни энергии примесных ионов, свободных радикалов, электронов, локализованных на дефектах решётки.

С. с. изучается методами магн. резонанса, др. методами *радиоспектроскопии* .Для возбуждённых состояний используют методы двойного резонанса (оптический - радиочастотный, инфракрасный - радиочастотный резонансы), а также методы нелинейной *лазерной спектроскопии*.

Разл. изотопы хим. элементов обладают разл. значениями ядерного спина, а их линии испытывают изотопич. сдвиг. Поэтому часто происходит наложение спектров разных изотопов и С. с. спектральных линий дополнительно усложняется.

Лит.: Таунс Ч., Шавлов А., Радиоспектроскопия, пер. с англ., М., 1959; Собельман И. И., Введение в теорию атомных спектров, [2 изд.], М., 1977; Armstrong L. jr., Theory of the hyperfine structure of free atoms, N. Y.- [a. o.], 1971; Р а д ц и г А. А., С М и р н о в Б. М., Параметры атомов и атомных ионов. Справочник, 2 изд., М., 1986. *Е. А. Юков*.

<< Предметный указатель >>

© femto.com.ua
webmaster@femto.com.ua