

О ВЛИЯНИИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ КВАДРУПОЛЬНОЕ ВЗАЙМОДЕЙСТВИЕ ЯДРА ПАРАМАГНИТНОГО ИОНА

Ш.Ш.Башкиров, Э.К.Салыков

Берсукер и Коварский [1] высказали идею о возможности сдвига мессбауэровской линии при помощи оптического излучения. Нами рассмотрен вопрос о воздействии оптического излучения на электрическое квадрупольное взаимодействие ядра парамагнитного иона с окружением.

Градиент электрического поля (ГЭП) на ядре парамагнитного иона с неравным нулю орбитальным моментом в основном определяется вкладом электронной оболочки иона. Температурное усреднение по штарковским уровням иона в кристалле хорошо объясняет наблюдаемую температурную зависимость величины квадрупольного расщепления мессбауэровской линии. Это усреднение оправдано короткими по сравнению с временем квадрупольной прецессии временами жизни иона на штарковских подуровнях [2].

Действие оптического излучения может привести к появлению заметной заселенности определенной полосы верхних уровней иона в кристалле, что в свою очередь вызовет изменение среднего значения ГЭП на ядре, а следовательно, и энергии квадрупольного взаимодействия ядра.

Следует отметить, что время жизни иона в верхней полосе может оказаться значительно больше времени квадрупольной прецессии ядерного момента, тогда статистическое усреднение ГЭП будет осуществляться отдельно для ионов, находящихся в нижних и верхних состояниях соответственно. В этом случае в мессбауэровском спектре наряду с основными минимумами можно ожидать появления дополнительных минимумов, соответствующих ионам, находящимся в верхних энергетических состояниях.

Вклад m -й полосы уровней в тензор ГЭП определяется выражением

$$\langle q_{ij}^{(m)} \rangle_T = \frac{\sum_n \langle m, n | \hat{q}_{ij} | m, n \rangle \exp(-E_{mn}/kT)}{\sum_n \exp(-E_{mn}/kT)}, \quad (1)$$

суммирование производится по штарковским подуровням полосы, \hat{q}_{ij} — оператор ГЭП на ядре. Если времена перехода между полосами меньше времени квадрупольной прецессии ядерного момента, на ядре будет действовать средний ГЭП:

$$\langle q_{ij} \rangle_T = \frac{\sum_m N_m \langle q_{ij}^{(m)} \rangle_T}{\sum_m N_m}, \quad (2)$$

где N_m — заселенность m -й полосы уровней.

В качестве примеров мы рассмотрели ионы Tm^{3+} , Tm^{2+} и Yb^{3+} , помещенные в кристаллическое поле кубической симметрии с наложением сравнительно слабой компоненты более низкой симметрии [2-4]. Расчеты, выполненные для иона Tm^{3+} (с использованием параметров поля в этилсульфате тулия [2]), практически приводят к отрицательному результату, ожидаемое изменение ГЭП под действием излучения в оптимальном случае не превышает нескольких процентов. В случае же ионов Tm^{2+} и Yb^{3+} , как показали наши вычисления, можно ожидать значительного эффекта.

Для ионов Yb^{3+} , Tm^{2+} основным является состояние $4f^{13} 2F$. Под действием поля кубической симметрии нижний уровень $^2F_{7/2}$ расщепляется на квадруплет Γ_8 и два дублета, а уровень $^2F_{5/2}$ — на квадруп-
241

лет Γ_8 и дублет (рис. I, а). В поле более низкой симметрии имеем 4 и 3 крамерсовых дублета соответственно (рис. I, б). Интенсивность поля более низкой симметрии, которую можно охарактеризовать отношением δ_1/Δ_1 , варьировали в широких пределах.

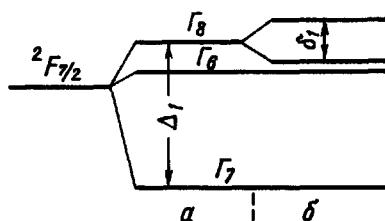
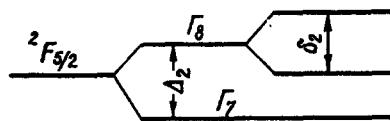


Рис. I

Рассмотрены случаи тетрагональной, тригональной и ромбической симметрии. Вычисления проводились методом эквивалентных операторов. В таблице приведены значения ГЭП ($\langle q_{22}^{(m)} \rangle_T$) — по формуле (I), значения даны в единицах 10^{18} в/см²) для уровней $^2F_{7/2}$ и $^2F_{5/2}$ в по-

	Δ_1/kT	4,12	2,06	1,37	1,03	0,82	0,69
m							
$\delta_1/\Delta_1 = 6,5$	7/2	0,003	0,020	0,028	0,026	0,024	0,022
	5/2	0,068	0,227	0,245	0,227	0,209	0,187
$\delta_1/\Delta_1 = 13$	7/2	0,006	0,040	0,055	0,053	0,051	0,050
	5/2	0,160	0,450	0,502	0,462	0,409	0,374

ле тетрагональной симметрии при двух значениях δ_1/Δ_1 в зависимости от температуры. Как видно, значения $\langle q_{22}^{7/2} \rangle_T$ и $\langle q_{22}^{5/2} \rangle_T$ различаются настолько сильно, что можно ожидать появления эффекта уже

при сравнительно небольшой (не более 10%) заселенности верхних уровней. При $T \rightarrow 0$, также как и при значительном повышении температуры, $\langle g_{zz}^{(m)} \rangle_T$ стремится к нулю, ибо дублеты кубического представления Γ_7 не дают вклада в ГЭП. Во многих соединениях Yb^{3+} компоненты поля низкой симметрии настолько интенсивны, что ГЭП на ядре определяется, главным образом, вкладом нижнего крамерсова дублета [5,6]. В последнем случае эффект будет наблюдаться при низких температурах ($T \approx 4,2^{\circ}\text{K}$).

Авторы искренне благодарят С.А.Альтшулера за обсуждение вопроса.

Казанский
государственный университет
имени В.И.Ульянова-Ленина

Поступило в редакцию
30 января 1966 г.

Литература

- [1] И.Б.Берсукер, В.А.Коварский. Письма ЖТФ, 2, 286, 1965.
- [2] R.G.Barnes, R.L.Mössbauer, E.Kankeleit, J.M.Poindexter, Phys. Rev., 136A, 175, 1964.
- [3] Z.Kiss. Phys. Rev., 127, 718, 1962.
- [4] R.Pappalardo, D.L.Wood. J.Chem.Phys., 33, 1734, 1960.
- [5] S.Hüfner. Z.Physik, 169, 417, 1962.
- [6] F.E.Wagner, F.W.Stanek, P.Kienle, H.Eicher. Z.Physik, 166, I, 1962.