где

$$I_1 = \int |f(r)|^2 x^4 dx\, dy\, dz, \qquad I_2 = \int |f(r)|^2 x^2 y^2\, dx\, dy\, dz. \qquad \text{(M.20)}$$

Аналогично получим:

$$\langle U_y | eV | U_y \rangle = B(I_1 - I_2), \quad \langle U_z | eV | U_z \rangle = -(A + B)(I_1 - I_2). \qquad \text{(M.21)}$$

Этим трем собственным состояниям во внутрикристаллическом поле соответствуют атомные p-функции; угловая зависимость этих функций такова, что каждая из них простирается соответственно вдоль осей x, y и z.

Орбитальный момент, отвечающий каждому из уровней, равен нулю, поскольку

$$\langle U_x | L_z | U_x \rangle = \langle U_y | L_z | U_y \rangle = \langle U_z | L_z | U_z \rangle = 0.$$

Этот результат и известен как «замораживание» орбитальных моментов. Это состояние обладает, однако, полным моментом количества движения, поскольку оператор $\mathscr{L}^2$ диагонален и дает $L = 1$, но пространственные компоненты момента не являются интегралами движения и среднее их значение по времени в первом приближении равно нулю.

Следовательно, компоненты орбитального магнитного момента в том же приближении тоже равны нулю. Роль внутрикристаллического поля в процессах «замораживания» состоит в том, что оно расщепляет первоначально вырожденные уровни на «немагнитные» подуровни, энергетические интервалы между которыми оказываются значительно больше μB, так что магнитное поле оказывается лишь слабым возмущением по сравнению с внутрикристаллическим полем.

В кристаллах кубической симметрии потенциал в узлах решетки не содержит членов типа тех, что стоят в (M.14), т. е. квадратов координат электронов. Поэтому основное состояние иона с одним p-электроном (или с одним вакантным местом в p-оболочке) будет трехкратно вырожденным. Однако энергия иона будет уменьшаться при смещении иона относительно его окружения, создавая тем самым кубический потенциал типа (M.14). Такое смещение известно как *эффект Яна — Теллера*. Этот эффект часто оказывается значительным и играет важную роль, например, в кристаллах, содержащих ионы [1]) Mn^{3+} и Cu^{2+}, или при рассмотрении явлений, связанных с наличием дырок в кристаллах галогенидов серебра и щелочных металлов.

---

[1]) См. книгу Оргеля [24]. Обширная библиография имеется в статье [25].

N. ТАБЛИЦА ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

	Обозначение
Скорость света	c
Заряд протона	e
Постоянная Планка	h $\hbar = h/2\pi$
Число Авогадро	N
Атомная единица массы	а. е. м.
Масса покоя электрона	m
Масса покоя протона	M_p
Отношение массы протона к массе электрона	M_p/m
Постоянная тонкой структуры	a^{-1}
Классический радиус электрона	r_0
Комптоновская длина волны электрона	$\lambda\!\!\!^{-}_e$
Боровский радиус	a_H
Магнетон Бора	μ_B
Постоянная Ридберга	R_∞
Постоянная Больцмана	k_B
Диэлектрическая проницаемость вакуума	ε_0
Магнитная проницаемость вакуума	μ_0
1 электрон-вольт	эВ

Источник: *Taylor B. N., Parker W. H., Langenberg D N.*, Rev. Mod.