

УДК 530 145

ФИЗИКА

Г. А. Варданян

Обмен местами атомов в квантовом кристалле

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Г. С. Саакяном 19/II 1976)

Твердые растворы He^3 — He^4 являются квантовыми кристаллами, свойства которых обусловлены большими нулевыми колебаниями атомов, почти свободно движущиеся в дискретном пространстве кристаллической решетки (¹⁻²). Поэтому при исследовании физических свойств раствора He^3 — He^4 , необходимо учитывать корреляцию движения атомов на близких расстояниях (^{3,4}). Одним из экспериментальных доказательств этой корреляции является большая «мягкость» этих кристаллов.

Еще один специфический квантовый эффект, являющийся, вообще говоря, прямым следствием больших нулевых колебаний, связан с туннельным движением атомов.

Естественно, что в силу кванто-механического туннелирования, в растворе He^3 — He^4 возможен одновременный обмен местами атомов He^3 и He^4 . Этот процесс рассматривается в настоящей работе для системы слабого раствора He^3 (фермионы) в He^4 . Туннельный Гамильтониан системы He^3 — He^4 , в том случае, когда изотопы находятся на расстоянии $\vec{R}$, будет*:

$$H_T = \sum_{\vec{R}} \frac{A_{\vec{R}}^3 A_{\vec{R}}^4}{-\Delta} \hat{a}_{\vec{R}}^+ \hat{a}_{\vec{R}'} \hat{b}_{\vec{R}'}^+ \hat{b}_{\vec{R}}^-, \quad (1)$$

где

$$A_{\vec{R}}^{3,4} = \sum_{\vec{k}} \epsilon^{3,4}(\vec{k}) e^{i\vec{k} \cdot \vec{R}}, \quad (2)$$

Обозначим $\hat{a}_{\vec{R}}^+ \hat{b}_{\vec{R}}^- = \hat{c}_{\vec{R}}^+$ и $\hat{a}_{\vec{R}} \hat{b}_{\vec{R}}^+ = \hat{c}_{\vec{R}}^-$. Операторы $\hat{c}_{\vec{R}}^+$ и $\hat{c}_{\vec{R}}^-$ описывают примесоны в узле $\vec{R}$. (Обозначим $A_{\vec{R}} = A_{\vec{R}}^3 A_{\vec{R}}^4$).

* Расстояние $\vec{R}$ между атомами определяется из условия $U(\vec{R}) \sim \Delta$, где $U(\vec{R})$ потенциал взаимодействия, Δ — ширина зоны.

Итак,

$$\hat{H}_T = -\frac{2}{\Delta} \sum_{\vec{R}} A_{\vec{R}} \hat{c}_{\vec{R}}^+ \hat{c}_{\vec{R}}. \quad (3)$$

Следовательно, оператор

$$\hat{c}_{\vec{k}}^+ = \sum_{\vec{R}} \hat{c}_{\vec{R}}^+ e^{i\vec{k}\vec{R}},$$

удовлетворяет следующему уравнению движения ⁽⁵⁾:

$$\frac{id\hat{c}_{\vec{k}}^+}{dt} = [\hat{c}_{\vec{k}}^+, \hat{H}_T] = -2\varepsilon(\vec{k})\hat{c}_{\vec{k}}^+, \quad (4)$$

где

$$\varepsilon(\vec{k}) = \sum_{\vec{a}} A_{\vec{a}} e^{i\vec{k}\vec{a}}. \quad (5)$$

В случае простой кубической решетки решение уравнения (4)

$$\hat{c}_{\vec{R}}^+ = I_{s_1}(A_a/\Delta t) I_{s_2}(A_a/\Delta \cdot t) I_{s_3}(A_a/\Delta \cdot t), \quad (6)$$

(где $\vec{R} = \vec{R}|s_1, s_2, s_3|$) описывает возбуждения с законом дисперсии:

$$\varepsilon(\vec{k}) = 2 \left[\frac{A_a^3 A_a^4}{\Delta} \right] (1 - \cos \vec{k} \vec{a}). \quad (7)$$

Ширина флуктуационной зоны $\Delta' \sim \frac{A_a^3 A_a^4}{\Delta} \sim \hbar I$, где I — величина обменного интеграла. При $V = 20 \text{ см}^3/\text{мол}$, $I = 16 \text{ мК}$ и $\Delta' = 0,5 \text{ мК}$.

Величина Δ' оказывается большей по сравнению с Δ для чистой системы He^4 .

Следовательно, вероятность туннелирования $\Delta'/\hbar$ увеличивается: наличие атомов He^3 малой концентрации увеличивает квантовость макроскопической системы. Таким образом, измерение ширины зоны в растворе, при разных относительных концентрациях изотопов гелия, может дать информацию о степени квантовости данной системы.

Выражаю глубокую благодарность академику И. М. Лифшицу за полезные советы.

Ереванский государственный университет

Գ. Ա. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

Ատոմների տեղափոխանակումը Բվանտային բյուրեղում

Դիտարկվում է He^3 — He^4 պինդ լուծույթում ատոմների տեղերի փոխանակումը, որը պայմանավորված է դրոշական տատանումների ամպլիտուդայի մեծությամբ: He^3 և He^4 ատոմների դանդաղվածների տարրերությունը տեղերի

փոխանակման ժամանակ բերում է զանգվածային ֆլուկտուացիաների առաջացմանը:

Առաջացող զոնայի լայնության փորձնական որոշումը կարող է հնարավորություն ստեղծելու դիտարկվող համակարգի քվանտայնության աստիճանն որոշելու համար:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ А. Ф. Андреев, И. М. Лифшиц, ЖЭТФ, 56, 2057 (1969). ² И. М. Лифшиц, Г. А. Варданян, ДАН Арм. ССР, т. LVIII, № 2 (1974). ³ А. Ф. Андреев, ЖЭТФ 68, 2341 (1975). ⁴ И. М. Халатников, Теория сверхтекучести, М., 1973. ⁵ Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, Квантовая механика, М., 1963.