

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ФЛУКТУАЦИИ – ПАРАФОНОНЫ – И НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

В.П. Силин, А.З. Солонцов

Рассмотрено влияние низкочастотных деформационных флуктуаций – парафононов – на низкотемпературную теплоемкость металлов. Показана аналогия между парафононами и спиновыми флуктуациями – парамагнонами. Обсуждается связь парафононов с эффектами электрон-фононного взаимодействия.

Низкотемпературная теплоемкость нормальных металлов

$$c = \tilde{\gamma}T(1 + \lambda_{SF} + \lambda_{ph}) \quad (1)$$

может существенно отличаться от теплоемкости электронного газа $\tilde{\gamma}T$. Это обусловлено, во-первых, влиянием сильно затухающих низкочастотных спиновых флуктуаций, парамагнонов, характеризуемым константой λ_{SF} /1/. В системах, близких к магнитной неустойчивости, например, в металлах с тяжелыми фермионами, благодаря обменному стонеровскому усилению константа λ_{SF} может достигать значений ~ 100 /2/. Другая причина отличия теплоемкости металлов от теплоемкости электронного газа обычно связывается с эффектами электрон-фононного взаимодействия и описывается константой λ_{ph} в (1) /3/.

В настоящей работе показано, что влияние электрон-фононного взаимодействия на теплоемкость металлов можно рассматривать как частный случай проявления низкочастотных деформационных флуктуаций, своеобразных квазичастиц – парафононов. При этом имеется глубокая аналогия между эффектами парафононов и спин-флуктуационными эффектами парамагнонов.

В качестве исходного используем следующее выражение для флуктуационного вклада в плотность свободной энергии:

$$\Delta F = -\hbar(2\pi)^{-4} \int_0^{\infty} d\omega N(\omega) \int dk \operatorname{Im} \left\{ \sum_i \ln [\chi_i(\omega, \mathbf{k}) \chi_i^{-1}(-\omega, \mathbf{k})] + \sum_{\lambda} \ln [D_{\lambda}(\omega, \mathbf{k}) D_{\lambda}^{-1}(-\omega, \mathbf{k})] \right\}, \quad (2)$$

где $N(\omega) = [\exp(\hbar\omega/kT) - 1]^{-1}$; $\chi_i(\omega, \mathbf{k})$ – диагональные компоненты динамической магнитной восприимчивости ($i = 1, 2, 3$); $D_{\lambda}(\omega, \mathbf{k})$ – функция Грина фононов с поляризацией λ . Слагаемое, содержащее $\chi_i(\omega, \mathbf{k})$, описывает вклад спиновых флуктуаций и имеет вид, обычный для теории парамагнонов /1/. Член с $D_{\lambda}(\omega, \mathbf{k})$ характеризует флуктуации, связанные с деформациями кристаллической решетки, и может быть получен с помощью формулы (16.10) книги /3/.

Интересуясь низкочастотными флуктуациями, используем следующие простые аппроксимации магнитной восприимчивости /1/ $\chi_i(\omega, \mathbf{k}) = \chi_i(0, \mathbf{k}) [1 - i\omega/\Gamma_i(\mathbf{k})]^{-1}$ и функции Грина фононов /4/

$$D_{\lambda}(\omega, \mathbf{k}) = [\omega^2 - \omega_{\lambda}^2(\mathbf{k}) + 2i\gamma_{\lambda}(\mathbf{k})\omega]^{-1} = D_{\lambda}(0, \mathbf{k}) [1 - \omega^2/\omega_{\lambda}^2(\mathbf{k}) - i\omega/\Gamma_{\lambda}(\mathbf{k})]^{-1},$$

где $\Gamma_i(\mathbf{k})$ характеризует релаксацию парамагнонов; $\Gamma_{\lambda}(\mathbf{k}) = \omega_{\lambda}^2(\mathbf{k})/2\gamma_{\lambda}(\mathbf{k})$, $\omega_{\lambda}(\mathbf{k})$ – частота, $\gamma_{\lambda}(\mathbf{k})$ – декремент затухания фононов. С учетом этих формул можно записать свободную энергию (2) в виде

$$\Delta F = \kappa T \int_0^{\infty} d\omega \ln (1 - e^{-\hbar\omega/kT}) [F_{SF}(\omega) + F_D(\omega)], \quad (3)$$

расположения источника, а также с тем, что состав рабочей газовой среды и резонатор лазера были выбраны в результате оптимизации при работе с центральным расположением ВП. Есть основания полагать, что энергетика I_2 лазера при накачке РИФ может быть увеличена. Преимуществом РИФ является возможность его использования в ИПР.

Авторы благодарны В.С. Зуеву за поддержку работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соболев Н.Н. ЖЭТФ, 17, 986 (1947).
2. Борович Б.Л. и др. Сильноточные излучающие разряды и газовые лазеры с оптической накачкой, изд. ВИНТИ, т. 15, М., 1978.
3. Бугримов С.Н. и др. Квантовая электроника, 13, 76 (1986).
4. Watanabe K., Kashiwabara S., Fujimoto R. Appl. Phys. Lett. 50, 629 (1987).
5. Kashiwabara S., Watanabe K., Fujimoto R. J. Appl. Phys. 62, 787 (1987).
6. Watanabe K. et al. Proc. 7th Conf. on Gas flow and Chemical lasers, p.1, Vienna, 1988.
7. Gross R.W.F., Schneider L.E., Amimoto S.T. Appl. Phys. Lett. 53, 2365 (1988).
8. Зуев В.С., Михеев Л.Д., Широких А.П. Квантовая электроника, 9, 573 (1982).

Поступила в редакцию 17 августа 1989 г.