

Универсальные характеристики колебательных спектров аморфных твердых тел

Я. М. Бельтюков

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Санкт-Петербург, Россия

тел: (812) 730-92-29, эл. почта: ybeltukov@gmail.com

Одной из центральных задач физики неупорядоченных систем в настоящее время является поиск общих закономерностей колебательных свойств аморфных твердых тел (стекол). При достаточно низких частотах ω в стеклах имеются обычные звуковые возбуждения, плоские волны (фононы — продольный и поперечный звук), которые характеризуются волновым вектором \mathbf{k} . Соответственно это — делокализованные возбуждения. Их плотность состояний $g(\omega) \propto \omega^2$.

Согласно последним исследованиям, в низкочастотной области спектра в стеклах помимо фононов имеются квазилокальные колебательные моды [1]. Их плотность состояний $g_{\text{qlv}}(\omega)$ является универсальной функцией ω . При малых частотах, ниже некоторой характерной частоты ω_b , плотность состояний $g_{\text{qlv}}(\omega) \propto \omega^4$, а при $\omega > \omega_b$, плотность состояний $g_{\text{qlv}}(\omega) \propto \omega$. В результате, приведенная плотность состояний $g_{\text{qlv}}(\omega)/\omega^2$ имеет широкий максимум при частоте $\omega \approx \omega_b$. Это есть так называемый бозонный пик, теория которого была построена в работе [1].

Однако область бозонного пика в стеклах занимает лишь около 10% от всего колебательного спектра. После этого при более высоких частотах плотность колебательных состояний $g(\omega)$ выходит примерно на константу, которая простирается вплоть до максимальных частот — порядка дебаевской ω_D [2].

Природа этих более высокочастотных колебательных возбуждений занимающих доминирующую часть спектра до настоящего времени является не выясненной и подвергается интенсивному обсуждению в литературе [3, 4]. Главным здесь является вопрос о том, являются ли эти колебания плоскими волнами или, если они не плоские волны, являются ли они локализованными или делокализованными колебаниями. Решение этого принципиального вопроса очень важно, например, для выяснения вопроса о природе теплопроводности аморфных твердых тел в этой области частот и температур.

Для ответа на этот вопрос мы применили теорию случайных матриц. Мы показали, что при достаточно общих предположениях о свойствах динамической матрицы результаты получаются универсальными и зависят только от класса симметрии случайных матриц. Для случайной динамической матрицы M вида: $M = AA^T$, где A - произвольная несимметричная вещественная случайная матрица с $\langle A_{ij} \rangle = 0$ и конечной

дисперсией $\langle A_{ij}^2 \rangle = V^2$ плотность колебательных состояний $g(\omega)$ описывается вигнеровской четвертью окружности и при малых ω стремится к константе. Это согласуется с результатами, полученными в теории финансовых рынков [5] и случайных сетей [6]. Статистика собственных частот свидетельствует о расталкивании колебательных термов. Численный анализ показывает, что степень делокализации (participation ratio) порядка 0.3, что говорит о делокализации колебательных мод. Эти результаты находятся в хорошем согласии с данными численных расчетов реальных стекол в рамках методов молекулярной динамики [2].

Литература

1. D. A. Parshin, H. R. Shober, V. L. Gurevich, Phys. Rev. B 76, 064206 (2007).
2. W. Jin, P. Vashishta, R. K. Kalia, J. P. Rino, Phys. Rev. B 48, 9359 (1993).
3. J. L. Feldman, M. D. Kluge, P. B. Allen, F. Wooten, Phys. Rev. B 48, 12589 (1993).
4. P. B. Allen, J. L. Feldman, J. Fabian, F. Wooten, Phil. Mag. B, 79, 1715 (1999).
5. A. M. Sengupta, P. P. Mitra, Phys. Rev. E 60, 3389 (1999).
6. M. Barthelemy, B. Gondran, E. Guichard. Phys. Rev. E 66, 056110 (2002).