

# ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МНОГОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

**Васильев А.А.**<sup>(1)</sup>, **Муратов В.Б.**<sup>(2)</sup>, **Гарбуз В.В.**<sup>(2)</sup> **Дуда Т.И.**<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Национальный Технический Университет Украины «КПИ», Украина, 03056, г. Киев, пр. Победы 37, o.vasiliev@ipms.kiev.ua

<sup>(2)</sup>Институт проблем материаловедения НАН Украины, Украина, 03680, Киев-142, ул. Кржижановского 3, bas@ipms.kiev.ua

Несмотря на значительный интерес к многостенным углеродным нанотрубкам (МСНТ), как перспективному объекту исследований, надежные стандартные значения их термодинамических свойств до сих пор отсутствуют. Данные о низкотемпературной теплоемкости, приведенные в литературе, либо существенно отличаются друг от друга [1, 2], либо получены в недостаточных для расчета стандартных значений термодинамических свойств интервалах [3, 4].

Цель данной работы состоит в исследовании термодинамических свойств многостенных углеродных нанотрубок путем измерения их низкотемпературной теплоемкости, дополнении литературных данных надежными значениями теплоемкости в интервале температур 60-300 К и расчете достоверных значений основных термодинамических функций МСНТ при стандартных условиях.

Исследования проводили путем измерения теплоемкости адиабатическим методом в низкотемпературной (60-300 К) области на тщательно подготовленном и аттестованном монофазном образце МСНТ.

Полученные результаты приведены на рисунке вместе с данными литературы и расчетом для графита.

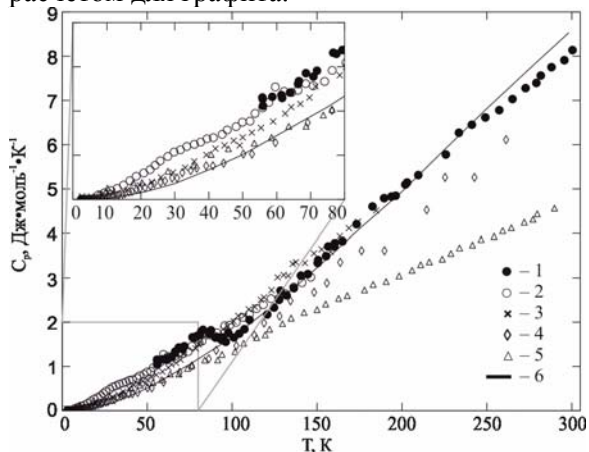


Рис. Теплоемкость МСНТ: 1 – данная работа; 2 – [4]; 3 – [3]; 4 – [2]; 5 – [1]; 6 – графит (расчет).

Экспериментальные значения теплоемкости существенно превышают таковые для графита при низких температурах. Объективность такого превышения подтверждается данными [4]. В интервале температур приблизительно 100-240 К значения теплоемкости МСНТ и графита подобны, а свыше 240 К наблюдается расхождение значений вероятно связанное с особенностями колебательных свойств графита. В интервале приблизительно 70-100 К на температурной зависимости теплоемкости МСНТ наблюдается  $\Omega$ -аномалия. Подобный эффект описан в [5], но при более низких температурах и меньшей глубины. Очевидно, он связан с особенностями реальной структуры образца. Удовлетворительное согласие результатов эксперимента и данных [4] (вставка на рисунке) позволило рассчитать стандартные значения основных термодинамических функций МСНТ. Результаты расчета, вместе с данными по графиту (для сравнения), приведены в таблице.

Таблица. Стандартные ( $T=298,15$  К) значения основных термодинамических функций МСНТ

$C_p^0(T)$ , Дж/моль·К	$H^0(T)$ - $H^0(0)$ Дж/моль	$S^0(T)$ Дж/моль·К	$\Phi^0(0)$ Дж/моль·К
<i>МСНТ</i>			
8,04	1070,98	6,44	2,85
<i>Графит</i>			
8,53	1054,37	5,73	2,20

Приведенные в таблице данные свидетельствуют, что МСНТ близки к графиту как по внутренней энергии, которая в этом случае определяется энтальпией, так и по влиянию на изменение свободной энергии в физико-химическом процессе с их участием.

1. W. Yi et al., Phys. Rev. B, v. 59, n. 14, p. R9015, 1999.
2. C. Masarapu et al., Nanotechnology, v. 16, n. 9, p. 1490, 2005.
3. A. Mizel et al., Phys. Rev. B, v. 60, n. 5, p. 3264, 1999.
4. G. a Jorge et al., J. of Physics, v. 167, p. 012008, 2009.
5. G. A. Jorge et al., Carbon, v. 48, n. 2, p. 525, 2010.