

## ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД ПЕРВОГО РОДА В СИСТЕМЕ БЛИЗКОЙ К ОДНОМЕРНОЙ

*В.Н.Богомолов, Е.В.Колла, Ю.А.Кумзеров*

Исследовано плавление нитей ртути с диаметрами от 20 до  $\sim 100$  Å. При уменьшении диаметра нитей ( $d$ ) область фазового перехода смещается в сторону низких температур (смещение перехода  $\sim 1/d$ ) и "размывается" на значительный температурный интервал (величина размытия  $\sim 1/d^2$ ); гистерезис между плавлением и затвердеванием уменьшается и исчезает при  $d \sim 20$  Å.

Размерные эффекты, проявляющиеся при фазовых переходах второго рода в диспергированных металлических системах, довольно хорошо изучены. В частности, у ультратонких металлических нитей (т.е. у системы, близкой к одномерной) нами ранее были исследованы влияние флуктуаций на сверхпроводящий переход<sup>1</sup> и зависимость критической температуры этого перехода от диаметра нитей<sup>2</sup>. Фазовые переходы первого рода в диспергированных системах исследованы значительно менее подробно. Для объектов, близких к одномерным,

экспериментальные работы в этом направлении практически отсутствуют. В то же время у ультратонких нитей ртути на зависимости сопротивления от температуры можно выделить область плавления<sup>3</sup>. Поэтому представляет значительный интерес возможность исследовать такой фазовый переход в зависимости от диаметра нитей, в особенности, учитывая то, что изучение этого перехода по сопротивлению является объемной методикой. Этому и посвящена данная работа.

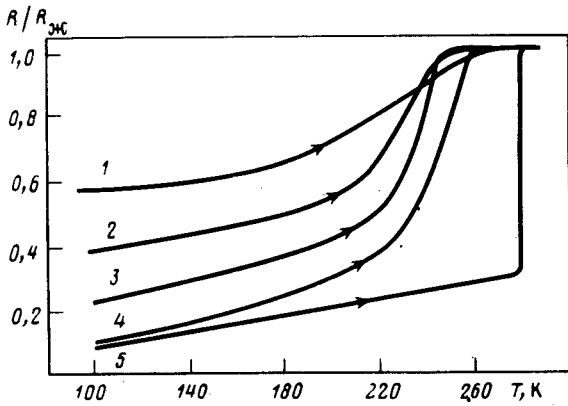


Рис. 1. Температурная зависимость сопротивления ультратонких нитей ртути  $\bullet$  разными диаметрами: 1 -  $d = 20 \text{ \AA}$ , 2 -  $25 \text{ \AA}$ , 3 -  $35 \text{ \AA}$ , 4 -  $45 \text{ \AA}$ , 5 - капилляр  $10 \text{ мк}$  (давление везде  $\sim 10 \text{ кбар}$ )

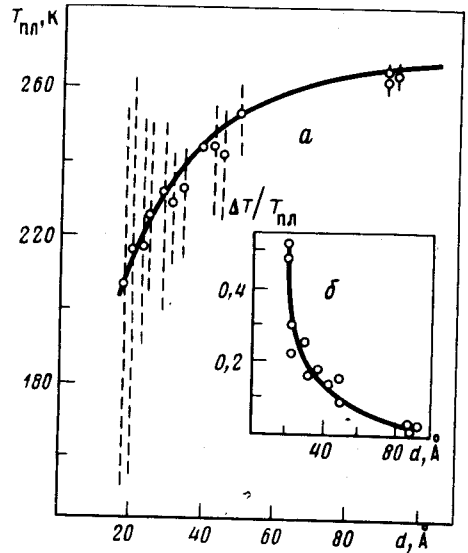


Рис. 2. *a* - Зависимость температуры плавления ультратонких нитей ртути от диаметра (штриховыми линиями показана область размытия перехода), *б* - зависимость величины размытия плавления от диаметра

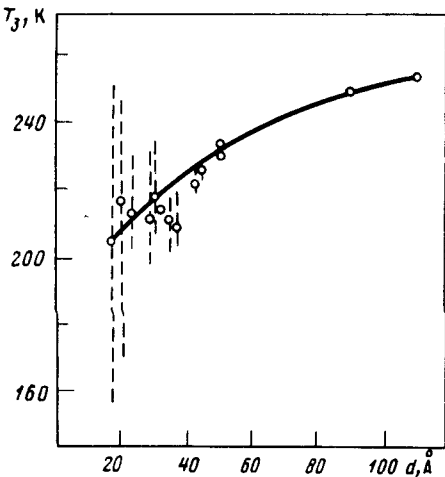


Рис. 3. Зависимость температуры затвердевания ультратонких нитей ртути от диаметра (штриховыми линиями показана область размытия перехода)

Как и в предыдущих работах металлические нити с диаметрами от  $20$  до  $\sim 100 \text{ \AA}$  получались вдавливанием жидкого металла (в нашем случае ртути) в каналы природного хризотилового асбеста. Образцы имели до  $10^6$  параллельных металлических нитей с длиной приблизительно  $1 \text{ см}$  (расстояние между соседними нитями  $200 - 300 \text{ \AA}$ ). Для измерений выбирались образцы с малым разбросом нитей по диаметрам, не превышавшим  $\sim 5\%$ . На рис. 1 приведены температурные зависимости сопротивления таких систем от комнатной температуры до  $\sim 100 \text{ К}$ . На кривых хорошо видна область плавления, которая при уменьшении диаметра последовательно "размывается" и смещается в сторону низких температур. Для сравнения с массивной ртутью на рисунке приведена зависимость  $R(T)$  для ртути в капилляре (кривая 5) с диаметром  $\sim 10 \text{ мк}$ , находящейся под давлением  $\sim 10 \text{ кбар}$  (для пред-

отвращения размыкания нитей в каналах асбеста все образцы исследовались в автономных камерах, где поддерживалось такое же давление). Из кривых рис. 1 видно, что область плавления занимает значительный температурный интервал, что вероятно вызывается флуктуациями, существенное влияние которых на фазовые переходы в одномерных системах хорошо известно. При столь размытом переходе совершенно неясно, что считать в такой ситуации температурой плавления. Ввиду того, что нет каких-либо физически обоснованных критериев для определения такой точки на кривой  $R(T)$  в области плавления (хотя в ряде случаев для фазовых переходов второго рода такие критерии найти удастся<sup>2)</sup>, мы условно принимали за температуру плавления такую температуру, при которой сопротивление меняется наполовину от полного его изменения в процессе плавления. Зависимость таким образом определенной температуры плавления от диаметра приведена на рис. 2, а. Здесь же штриховыми линиями показана область размытия перехода. Сплошная линия соответствует зависимости  $T = T_0(1 - d^*/d)$ , где  $d^* \sim 5, 5 \text{ \AA}$ , а  $T_0 \sim 280 \text{ K}$ , что равно температуре плавления массивной ртути при давлении  $\sim 10$  кбар. Для затвердевания такого же типа кривые приведены на рис. 3. Из сравнения этих рисунков видно, что существует гистерезис между плавлением и затвердеванием, который, однако, уменьшается с уменьшением диаметра нитей и исчезает при  $d \sim 20 \text{ \AA}$ . Качественно эти результаты похожи на зависимости температур плавления и затвердевания от диаметра для островков ртути<sup>4</sup> (при этом следует отметить, что в<sup>4</sup> нет каких-либо данных о размытии перехода).

В<sup>5</sup> теоретически рассматривалась задача о влиянии флуктуаций на фазовый переход первого рода в одномерном случае. Был сделан вывод о том, что флуктуации (так же как и в случае перехода второго рода) разрушают фазовый переход в одномерных системах, однако, их влияние из-за существования теплоты перехода в значительной степени ослаблено. Это ведет к тому, что переход должен происходить в очень узком температурном интервале; точнее этот интервал экспоненциально увеличивается с уменьшением числа атомов в сечении нити (т.е.  $\Delta T \sim \exp(A/d^2)$ , где  $\Delta T$  — область размытия перехода). Этот вывод, по-видимому, не соответствует нашим экспериментальным данным, так как мы наблюдаем довольно широкий переход, область размытия которого обратно пропорциональна числу атомов в сечении нити (на рис. 2, б построена зависимость  $\Delta T/T_{пл}$  от диаметра и сплошной кривой проведена зависимость  $(\Delta T/T_{пл}) = (D/d)^2$ , где  $D \sim 14 \text{ \AA}$ ).

Флуктуации температуры, влияние которых на размытие фазового перехода первого рода рассматривалось в<sup>6</sup>, также не могут дать объяснение экспериментальным фактам (величина их в нашем случае не превосходит 1 K). Существует работа<sup>7</sup>, где для плавления кластеров расчет дает заметное размытие перехода.

В заключение следует отметить, что наши данные по величине размытия плавления и затвердевания, вероятно, свидетельствуют о малой корреляционной длине такого фазового перехода, а вместе с данными по значительному уменьшению температуры плавления еще и о нарастающем беспорядке в расположении атомов (с величиной порядка межатомного расстояния) на поверхности нити по мере уменьшения ее диаметра, который определяется кривизной поверхности (на искривленной поверхности невозможна характерная для массивного кристаллического материала упаковка атомов).

#### Литература

1. Богомолов В.Н., Кумзеров Ю.А. Письма в ЖЭТФ, 1975, 21, 434.
2. Bogomolov V.N., Kolla E.V., Kumzerov Yu.A. Solid State Comm., 1983, 46, 159.
3. Богомолов В.Н. ФТТ, 1971, 13, 815.
4. Жданов Гл.С. Изв. АН СССР, сер. физ., 1977, 41, 1004.
5. Imry Y., Scalapino D.J. Phys. Rev., 1974, 9A, 1672.

6. *Imry Y. Phys. Rev.*, 1980, 21 B, 2042.

7. *Ping Cheng, Cohen R.W., Schrieffer J.R. J. Phys.*, 1981, C14, L565.

Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе  
Академии наук СССР

---

Поступила в редакцию  
19 ноября 1984 г