

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИОННЫХ ВОЛН В He^4

К.О.Кешишев, А.Я.Паршин¹⁾, А.В.Бабкин

Наблюдались слабозатухающие колебания границы между жидким и твердым He^4 при $0,4 + 0,6$ К, обусловленные периодическим плавлением и кристаллизацией. Измерен спектр этих колебаний.

Необычные свойства поверхности кристаллов гелия впервые были отмечены Шальниковым и сотрудниками [1]. В их опытах наблюдалось аномально быстрое "залечивание" углубления, образованного индентором на границе двух фаз. Андреевым и одним из авторов [2] было высказано предположение, согласно которому равновесная граница между жидким и твердым гелием может находиться в особом состоянии, являющемся квантовым аналогом атомно-шероховатой поверхности. Из этого предположения, в частности, следует, что на такой поверхности при

¹⁾ Институт кристаллографии АН СССР

температурах значительно ниже λ -точки могут существовать слабозатухающие колебания, обусловленные периодическим плавлением и кристаллизацией — кристаллизационные волны. В данной работе сообщается о наблюдении этого явления.

Конструкция криостата с He^3 и прибора, в котором выращивались кристаллы, полностью аналогична применявшимся ранее [1, 3] для изучения свойств твердого гелия. Для визуального контроля и оптических измерений в криостате предусмотрены четыре пары плоско-параллельных окон. Кристаллы He^4 выращивались в металлическом контейнере прямоугольного сечения 12×15 мм с двумя плоскими стеклянными стенками размером 12×28 мм², позволявшими наблюдать процесс кристаллизации во всем объеме контейнера. Рост кристаллов происходил при постоянной температуре ($0,4 \pm 0,9$ К), давлении (25 атм) и контролируемом потоке гелия внутрь контейнера, величина которого определяла скорость кристаллизации. На одной из металлических стенок внутри контейнера был смонтирован конденсатор, предназначенный для возбуждения колебаний поверхности, и состоящий из двух медных проволок в капроновой изоляции $\varnothing 30$ мкм, бифилярно намотанных (150 витков) на текстолитовую пластинку. Максимальная напряженность поля между соседними витками составляла $\sim 10^6$ В/см.

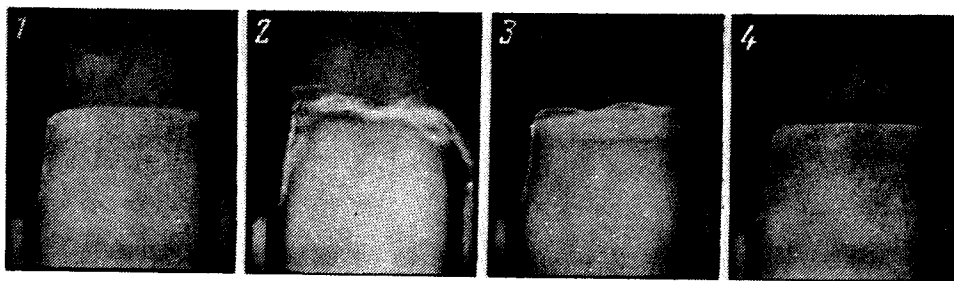


Рис. 1. Кинограмма возбуждения и затухания кристаллизационных волн при 0,5 К. В левой части кадра виден конденсатор.

Оказалось, однако, что для возбуждения видимых колебаний достаточно даже незначительной вибрации прибора. При постукивании по наружной стенке криостата амплитуда колебаний межфазной границы достигала 1 ± 2 мм². На рис. 1 представлена кинограмма возбуждения и затухания колебаний. На первом кадре зафиксирована спокойная граница между твердой фазой (расположенной снизу) и жидкостью. Последующие кадры демонстрируют поведение границы после резкого удара по наружной стенке криостата. Колебания границы отчетливо наблюдались в интервале температур $0,4 \pm 0,6$ К. С ростом температуры амплитуда колебаний быстро уменьшается, и уже при 0,8 К они практически отсутствуют. Этот факт хорошо согласуется с представлениями, раз-

витыми в [2], согласно которым затухание кристаллизационных волн должно быстро возрастать с повышением температуры.

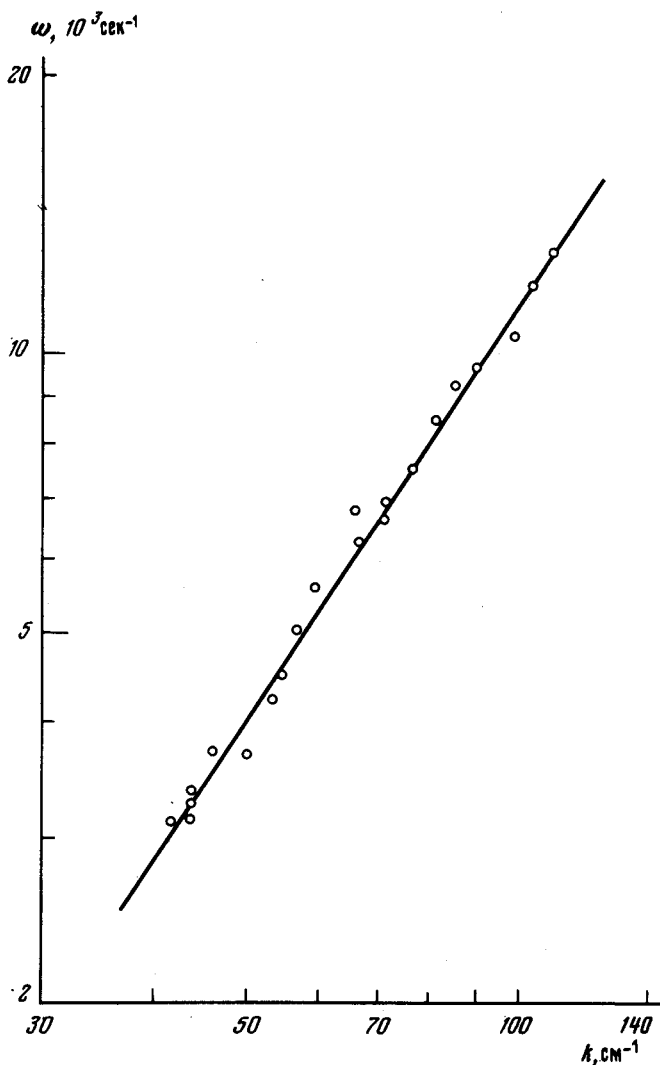


Рис.2. Спектр кристаллизационных волн при 0,43 К. Сплошная прямая — $\omega \sim k^{3/2}$

Для измерения спектра колебаний использовалась дифракция света He-Ne-лазера на поверхностной волне [4]. Прикладывая к конденсатору переменное напряжение, оказалось возможным возбудить "плоскую" (с точностью до кривизны поверхности) волну и исследовать спектр колебаний $\omega(k)$. Результаты измерений при температуре 0,43 К приведены на рис.2. Видно, что предсказанная [2] для кристаллизационных волн зависимость $\omega \propto k^{3/2}$ хорошо выполняется. Влиянием поля тяжести и сжимаемостью обеих фаз в исследованном диапазоне частот можно пренебречь. Вычисленная на основании этих данных (в пренебрежении анизотропией) величина поверхностного натяжения α оказывается равной $0,23 \pm 0,04$ эрг/см². Следует заметить, что плоские волны уда-

валось наблюдать лишь на некоторых, по-видимому, монокристаллических образцах (см. ниже). Этот факт наиболее естественным образом можно объяснить анизотропией величины α . Отметим также, что вибрации криостата и значительная кривизна мениска (см. рис.1) существенно осложняют измерения использованным методом.

Как видно на рис.1, поверхность кристалла образует выпуклый мениск. Другими словами, твердый гелий плохо смачивает твердые стенки (феррохром, стекло, капроновая изоляция проводов конденсатора). Это обстоятельство уже отмечалось [5, 6]. Наблюдаемые значения высоты мениска и краевого угла позволяют оценить поверхностное натяжение межфазной границы $\alpha = 0,2 + 0,3$ эрг/см² во всем интервале температур от 0,45 до 1,2 К. Эта оценка, как и предыдущая, основана на пренебрежении анизотропией α .

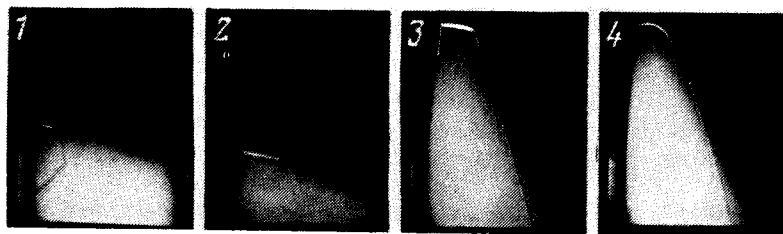


Рис.3. Различные стадии роста одного из кристаллов при 0,5 К

Мы провели большое количество наблюдений за процессом роста кристаллов He^4 . Кристаллизация начиналась из одного случайного места и рост кристалла удавалось проследить лишь с момента, когда размер зародыша уже составлял $2 + 3$ мм². Зародыши обычно в той или иной степени огранены. При дальнейшем росте ориентация граней сохраняется, а степень их скругленности зависит от скорости роста: чем больше скорость, тем более четко выражена огранка. В наших экспериментах скорость роста менялась от 0,01 мм/сек до 1 + 2 мм/сек. Подобная зависимость формы растущего кристалла от скорости роста уже наблюдалась [6]. На рис.3 приведены кинокадры, демонстрирующие различные стадии роста одного из кристаллов. Любопытно отметить, что в процессе роста часто наблюдается сосуществование плоских и скругленных участков поверхности. При этом на скругленных участках (и только на них) при достаточно низких температурах отчетливо наблюдаются такие же колебания, как и на стационарной границе. После прекращения роста кристалл всегда принимает округлую форму. Если выращенный кристалл частично расплавить, а затем возобновить процесс роста, то ориентация растущих граней полностью сохраняется. Монокристалл, занимающий значительную часть объема контейнера, удавалось вырастить далеко не всегда; обычно образец состоял из нескольких блоков. Блочные кристаллы, как правило, имели холмистую поверхность. Лишь у некоторых, по-видимому, монокристаллических образцов, после прекращения роста поверхность приобретала вид идеального мениска.

Мы благодарны П.Л. Капице за интерес к работе, А.И.Шальникову за повседневное внимание и помощь и кофе-клубу Института физических проблем за полезные дискуссии.

Институт физических проблем
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
7 июня 1979 г.

Литература

- [1] К.О.Кешишев, Л.П.Межов-Деглин, А.И.Шальников. Письма в ЖЭТФ, 17, 296, 1973.
 - [2] А.Ф.Андреев, А.Я.Паршин. ЖЭТФ, 75, 1511, 1978.
 - [3] А.И.Шальников. ЖЭТФ, 47, 1727, 1964.
 - [4] P.Leiderer, H.Poisel, M.Wanner. J. Low Temp. Phys., 28,167, 1977.
 - [5] S.Balibar, D.O.Edwards, C.Laroche. Phys. Rev. Lett., 42, 782, 1979.
 - [6] J.Landau. LT- 15, частное сообщение
-