

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭФФЕКТА ПОМЕРАНЧУКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СВЕРХНИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Ю.Д.Ануфриев

Известно, что кривая плавления He^3 имеет минимум при температуре $T_{min} \approx 0,3^\circ\text{K}$ и давлении $P_{min} \approx 30$ атм. При температурах ниже T_{min} повышение давления сопровождается понижением температуры двухфазной системы жидкий-твердый He^3 . Если сдвливание производить адиабатически, то таким способом можно получить температуру T^* порядка энергии взаимодействия ядер твердого He^3 , которая в случае отсутствия обменного взаимодействия составляет 10^{-6}°K . Этот эффект, предсказанный еще в 1950 г. Померанчуком [1], должен быть очень удобным способом получения сверхнизких температур [2]. Перед стандартным методом адиабатического размагничивания парамагнитных солей эффект Померанчука обладает рядом замечательных преимуществ. Во-первых, адиабатическая кристаллизация He^3 позволяет, по-видимому, достигнуть более низких температур (меньше $0,001^\circ\text{K}$). Кроме того, в силу высокой

концентрации спинов, холодопроизводительность $1 \text{ см}^3 \text{ He}^3$ при использовании эффекта Померанчука примерно в десять раз превышает соответствующую холодопроизводительность парамагнитных солей при их адиабатическом размагничивании.

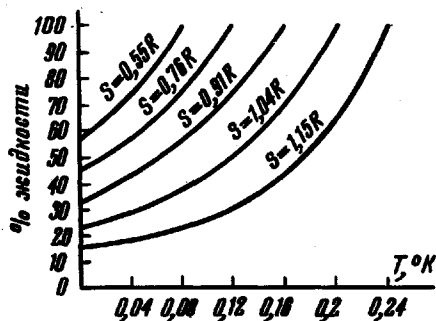


Рис. 1. Изменение состава двухфазной системы жидкий-твердый He^3 при адиабатическом сдвливании

Однако самым интересным является то, что эффект Померанчука дает возможность охлаждать жидкий He^3 до температуры T^* . Действительно, используя экспериментальные данные об энтропии жидкого He^3 и считая, что энтропия твердого He^3 составляет $R \ln 2$ при $T < T_{пл}$, можно легко построить кривые, приведенные на рис. 1. Эти кривые показывают, как меняется состав двухфазной системы жидкий-твердый He^3 при адиабатическом сдвливании. Видно, что если процесс начинать при $T = 0, 1^\circ\text{K}$, то более 50% He^3 останется жидким до самых низких температур. При таком охлаждении

жидкого He^3 не возникает обычных затруднений, связанных со скачком Капицы на границе He^3 - твердое тело, и поэтому его можно будет производить в разумное время.

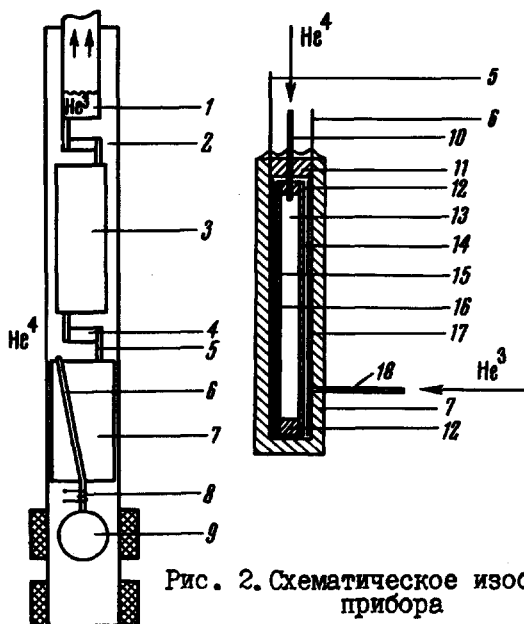


Рис. 2. Схематическое изображение прибора

Основная трудность, которая при этом возникает, это — проблема адиабатической передачи давления на He^3 . Дело в том, что из-за аномального хода кривой плавления He^3 при $T < T_{min}$ и $P > P_{min}$ все капилляры, ведущие в область более высоких температур, обязательно блокируются пробками из твердого He^3 . Следовательно, для наблюдения эффекта Померанчука необходимо по возможности без выделения тепла уменьшать объем полости, в которой заключен He^3 . Для этой цели создан следующий прибор (рис. 2).

В бронзовую камеру 7 с внутренними размерами 40x20x3,5 мм помещалась другая камера 13, образованная рамкой 12 и мембранами 14 и 15 из специальной нержавеющей стали. Между мембранами и стенками камеры 7 оставлялись зазоры 0,5 мм, куда помещались листики из медной фольги 16, 17 (площадь теплообмена 30 см²), которые выводились из камеры и служили холодопроводами. Сверху камера 7 закрывалась крышкой 11 и запаивалась оловянным припоем. К холодопроводу 5 припаивался оловянный сверхпроводящий ключ, ведущий к парамагнитной соли(3), железо-аммониевым квасцам (ЖАК). Кроме того, холодопровод 6 находился в тепловом контакте с угольным термометром 8 и термометрической солью 9 (5 г церий-магниевого нитрата - ЦМН). Блок 3 состоял из 60 г ЖАК и через оловянный ключ 2 соединялся с ванной He³ (1). Капилляры 18 и 10, идущие к камерам 7 и 13, проходили через ванну He³ и блок 3.

Для наблюдения эффекта внутрь камеры 7 конденсировался He³ под давлением 30 атм, что заставляло деформироваться мембраны 15 и 14. Затем в камеру 13 под небольшим давлением конденсировался He⁴ и вся система охлаждалась до температуры $T < T_{min}$ при помощи адиабатического размагничивания блока ЖАК. После этого давление He⁴ медленно (от 30 мин до полутора часов) повышалось. Через мембраны 14 и 15 это давление частично передавалось уже сжато до 30 атм He³. Подоб-

ным образом удавалось адиабатически поднять давление He^3 выше P_{min} .

Адиабатичность обеспечивалась тем, что при столь низких температурах (менее $0,3^\circ\text{K}$) в He^4 практически отсутствует нормальная часть, а поэтому как теплопроводность, так и теплоемкость He^4 обусловлены в основном фононами. Очевидно, что теплосодержание He^4 , который входит в камеру ИЗ, ничтожно по сравнению с холодопроизводительностью эффекта Померанчука, а теплопровод по капилляру с He^4 может быть сделан сколь угодно малым, если применять капилляры маленьких диаметров (капилляр IO имел $\varnothing 0,1$ мм). Имевшиеся на приборе термометры позволяли измерять температуру He^3 лишь до $0,015 - 0,02^\circ\text{K}$. Измерять более низкую температуру по магнитной восприимчивости ЦМН было невозможно, поскольку уже при $T \sim 0,02^\circ\text{K}$ время, в течение которого термометр принимал температуру He^3 , составляло ~ 10 мин. Из-за того, что это время меняется с температурой как $1/T^5$, для измерения более низких температур потребовались бы многие часы.

Эксперименты по адиабатической кристаллизации He^3 показали, что, используя эффект Померанчука, можно уверенно получать температуры $0,02^\circ\text{K}$ (на самом деле температура, по всей вероятности, была ниже). Временной ход одного из экспериментов приведен на рис.3. Давление измерялось на входе капилляра с He^4 в прибор, температура He^3 измерялась по восприимчивости

ЦМН. Тот факт, что резкое охлаждение начинается не сразу, а лишь после того, как давление He^4 поднято до 15 – 16 атм, объясняется тем, что при больших

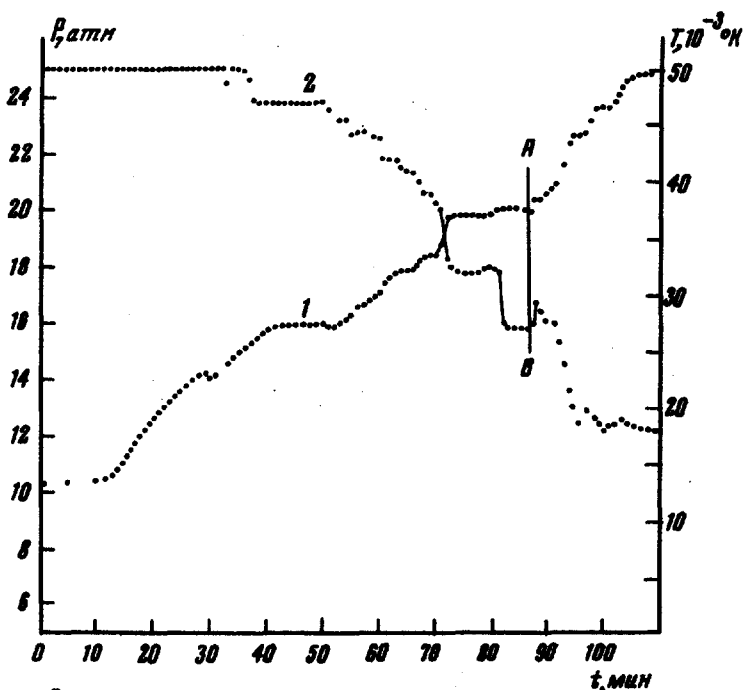


Рис. 3. Временной ход эксперимента по адиабатической кристаллизации He^3 . 1 - давление He^4 , 2 - температура He^3

перепадах давления, когда $P_{\text{He}^3} \sim 30$ атм и $P_{\text{He}^4} \sim 1$ атм, мембраны I4 и I5 (рис.2) сильно деформируются и упираются друг в друга. По этой причине заметное изменение объема полости, в которой заключен He^3 , происходит лишь при $P_{\text{He}^4} > 15$ атм. Очень важно, чтобы давление изменялось плавно. Резкое увеличе-

ние давления может привести не к охлаждению, а, наоборот, к повышению температуры He^3 . На кривой I (рис.3) в точке A по случайным причинам за 2-3 сек. давление было поднято на несколько десятых долей атмосферы. (Такие скачки давления не заметны на кривой I, так как показания приборов записывались не чаще I раза в минуту.) Сразу же после этого температура He^3 поднялась примерно на $0,005^\circ$ (точка B на кривой 2).

В настоящее время производится более детальное изучение эффекта Померанчука с применением ядерной термометрии.

Автор благодарен П.Л.Капице за интерес к работе и В.П.Пешкову за руководство и постоянную помощь.

Институт физических проблем
им. С.И.Вавилова
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
4 мая 1965 г.

Литература

[1] И.Померанчук. ЖЭТФ, 20, 919, 1950.

[2] В.П.Пешков, К.Н.Зиновьева. УФН, 67, 193, 1959.