

КРИВЫЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ СЛАБЫХ РАСТВОРОВ ${}^3\text{He}$ В ${}^4\text{He}$ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Ю.Д.Ануфриев, В.Н.Лопатик, А.П.Себедаш

Измерены кривые кристаллизации слабых растворов $\text{He}^3 - \text{He}^4$ при температуре 0,03 – 1,2 К. Обнаружено, что кроме известных минимумов имеются еще и максимумы при $T \approx 0,28\text{К}$. Обсуждается возможность восстановления кривых плавления при данных температурах.

Исследованию фазовых диаграмм смесей ${}^3\text{He} - {}^4\text{He}$ посвящено много работ (см., например, обзор ¹), однако область температур ($T < 0,6\text{К}$) и малых концентраций ${}^3\text{He}$ остается пока недостаточно изученной. В связи со значительным повышением интереса к свойствам

разбавленных смесей при сверхнизких температурах нами были измерены кривые кристаллизации 1-, 2-, и 4%-ных растворов ^3He в ^4He . Работа здесь затруднена наличием минимумов на кривых кристаллизации и плавления, поэтому измерения проводились в камере Померанчука (рис. 1). Объем смеси составлял $\sim 12 \text{ см}^3$. Стенки камеры толщиной 0,5 мм служили одной из обкладок конденсатора емкостного датчика давления. Температура измерялась угольным термометром сопротивления, градуированным по восприимчивости ЦМН. В процессе измерения запечатая в измерительном объеме жидкая смесь $^3\text{He} - ^4\text{He}$ сжималась и с высокой точностью (10^{-3} атм) регистрировалось изменение давления. Начало кристаллизации отмечалось по резкой остановке роста давления.

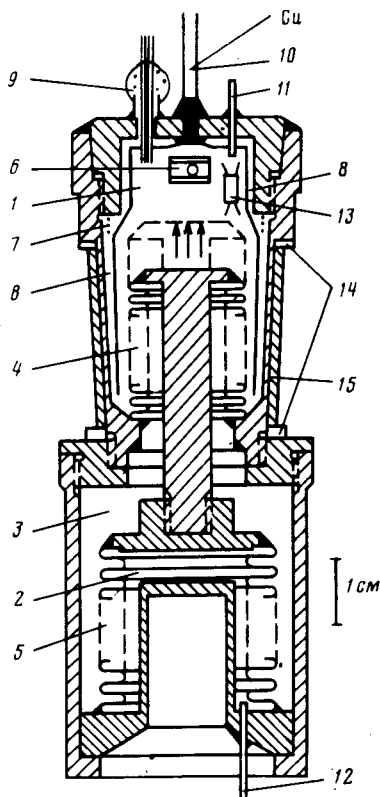


Рис. 1

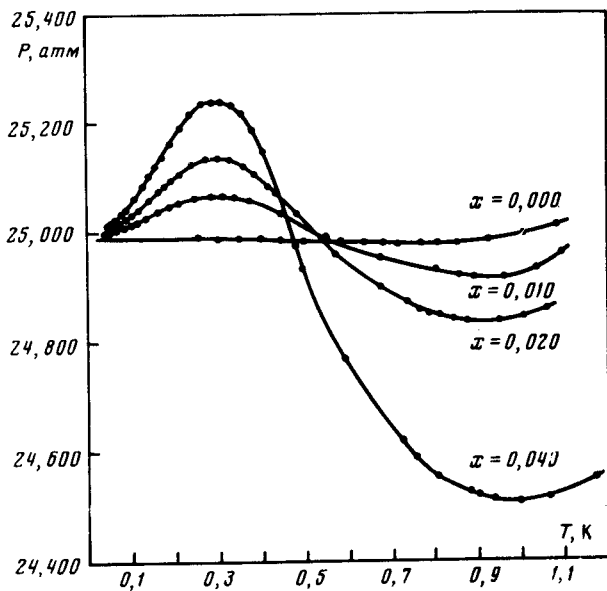


Рис. 2

Рис. 1. Схема Померанчука: 1 — смесь $^3\text{He}/^4\text{He}$, 2 — чистый ^4He , 3 — вакуум, 4 — сильфон камеры смеси, 5 — сильфон камеры чистого ^4He , 6 — катушка с ЦМН, 7 — нагреватель, 8 — теплообменник, 9 — ввод проводов, 10 — холодопровод, 11 — капилляр камеры смеси, 12 — капилляр камеры ^4He , 13 — термометр, 14 — текстолитовые прокладки, 15 — внешняя обкладка конденсатора

Рис. 2. Кривые начала затвердевания растворов $^3\text{He}/^4\text{He}$

Кривые кристаллизации приведены на рис. 2. Для контроля и привязки 3 , было измерено давление кристаллизации чистого ^4He , соответствующая кривая показана там же. Кроме минимума кривые кристаллизации имеют хорошо выраженные максимумы и тенденцию к параболическому ходу ($\Delta P \sim T^2$) при $T \rightarrow 0$. Такой температурный ход качественно может быть объяснен следующим образом. При самых низких температурах из-за исчезающе малой растворимости ^3He в твердой фазе наклон кривой кристаллизации определяется энтропией жидкой фазы $dP/dT \sim T$, $\Delta P \sim T^2$. С повышением температуры количество примеси в твердой фазе растет, энтропия твердой фазы становится больше, чем жидкой, и наклон кривой становится отрицательным, при этом кривая проходит через максимум. При дальнейшем повышении температуры пройдя через минимум кривая кристаллизации принимает обычный, положительный наклон. Интересно, что по кривым кристаллизации могут быть восстановлены кривые плавления, непосредственное измерение которых чрезвычайно осложнено трудностью

приготовления однородных твердых смесей. Для этого достаточно воспользоваться уравнением Клайперона – Клаузиуса для кривой плавления

$$\frac{dP_{\text{пл}}}{dT} = \frac{c_{\text{ж}}(s_3^{\text{ж}} - s_3^{\text{T}}) + (1 - c_{\text{ж}})(s_4^{\text{ж}} - s_4^{\text{T}})}{c_{\text{ж}}(v_3^{\text{ж}} - v_3^{\text{T}}) + (1 - c_{\text{ж}})(v_4^{\text{ж}} - v_4^{\text{T}})}$$

Особенно просто это делается для температур, при которых можно пренебречь взаимодействием атомов примеси друг с другом, а именно, при $T > T_F$ для жидких растворов. В твердых растворах этим взаимодействием можно пренебречь во всем исследованном интервале температур. В этом случае смещение кривой кристаллизации относительно кривой чистого ${}^4\text{He}$ 2.

$$\Delta P = \frac{T(c_{\text{ж}} - c_{\text{T}})}{v_4^{\text{ж}} - v_4^{\text{T}}}$$

Из этого соотношения легко определяется концентрация c_{T} твердой фазы, находящейся в равновесии с жидкостью заданной концентрации. В настоящее время ведутся исследования свойств плавления смесей до концентрации, соответствующих выходу на тройную линию.

Литература

1. Башкин Е.Р., Мейерович А.Э. Adv. Phys., 1981, 30, 1.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика, 1964.
3. Straty G.C., Adams E.D. Phys. Rev., 1966, 150, 123.