

Б. Н. ЕСЕЛЬСОН и действительный член АН УССР **Б. Г. ЛАЗАРЕВ**

ЗАТВЕРДЕВАНИЕ СМЕСЕЙ ИЗОТОПОВ ГЕЛИЯ

Диаграмма состояния системы $\text{Ne}^3 - \text{Ne}^4$ представляет большой интерес как с точки зрения всестороннего изучения растворов двух изотопов, так и для улучшения техники их разделения (¹). В связи с этим в последнее время появился ряд работ (²⁻⁵), посвященных изучению связи между упругостью пара таких растворов и составами жидкой и газовой фаз, причем имеющиеся данные дают возможность построить для системы $\text{Ne}^3 - \text{Ne}^4$ диаграмму пар — жидкость в области NeII . Для области NeI пока еще нет необходимых данных для такой диаграммы.

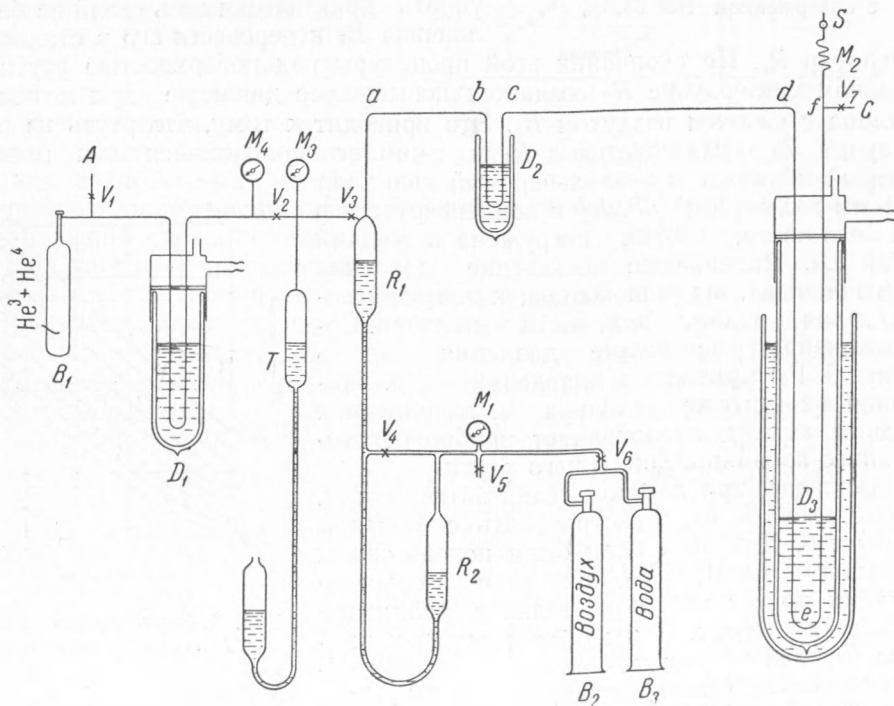


Рис. 1. Установка для определения кривых начала затвердевания смесей изотопов гелия

Диаграмма состояния жидкой и твердой фаз системы $\text{He}^3 - \text{He}^4$ до сих пор не изучена, что объясняется рядом значительных экспериментальных трудностей. Дело в том, что точные данные, необходимые для построения такой диаграммы, могут быть получены методом термического анализа, который, однако, можно провести, располагая только сравнительно большими количествами смесей изотопов. При наличии

небольшого количества смесей изотопов гелия приходится прибегать к другому методу, который хотя и не позволяет получить точные данные, необходимые для построения полной диаграммы состояния, но дает правильное представление о типе диаграммы и об одной из ее кривых —

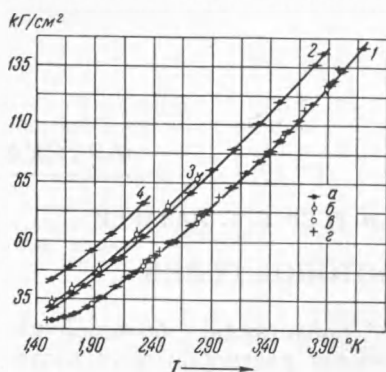


Рис. 2. Зависимость давления P начала затвердевания смесей изотопов гелия от температуры T . 1— He^4 (а) и смеси с содержанием He^3 0,018% (б), 0,18% (в) и 2,40% (г); 2— смесь с содержанием He^3 31,7%; 3— смесь с содержанием He^3 37,0%; 4— смесь с содержанием He^3 63,8%

резервуар R_1 . По окончании этой процедуры над поверхностью ртути в стальном резервуаре R_2 создается повышенное давление при помощи баллона с сжатым воздухом B_2 . Это приводит к тому, что ртуть из резервуара R_2 перемещается в R_1 и сжимает находящийся там гелий, который попадает в нейзильберовый капилляр (0,1 мм диаметром) $abcdef$ и конденсируется в той его части, которая погружена в жидкий гелий D_3 . Дальнейшее повышение давления в R_2 приводит, в конце концов, к затвердеванию гелия в охлажденной части капилляра. Соответственно, уменьшение давления над R_2 (вентиль V_5) приводит к плавлению гелия. Указанная на чертеже ловушка D_2 , заполненная жидким азотом, предохраняет прибор от возможного проникновения в него ртути.

Давление, при котором гелий затвердевает, необходимо было регистрировать с большой точностью. Для этой цели были использованы два манометра M_1 и M_2 , показания которых совпадали до тех пор, пока гелий в капилляре оставался жидким. После образования в капилляре твердой пробки показания манометра M_2 не менялись при увеличении давления в R_2 . В качестве манометра M_1 использовался образцовый манометр на 150 кг/см³. Манометр обычного типа в качестве манометра M_2 не годился вследствие большого внутреннего объема. Поэтому манометр M_2 был изготовлен из нейзильберовой трубки диаметром 0,5 мм в виде спирали (7). При изменении давления такая спираль закручивалась или раскручивалась, что приводило к повороту зеркальца S . При расстоянии от шкалы до зеркала в 3 м, давление можно было измерять с точностью до 0,1 кг/см². Суммарная ошибка в определении давления затвердевания не превышала 1%. Остальные,

кривой начала затвердевания. Таким методом является метод блокировки капилляра, который с успехом применялся для определения кривых затвердевания чистого He^4 (6-8) и сущность которого заключается в том, что регистрируется давление, при котором происходит закупорка капилляра из-за перехода жидкого гелия в твердое состояние. Этот метод и был использован для получения сведений о затвердевании растворов He^3 в He^4 .

Схема установки представлена на рис. 1. Газообразная смесь изотопов гелия из баллончика B_1 поступает в ртутный насос Теплера T , проходя по дороге через змеевик, охлажденный жидким водородом D_1 , в котором она очищается от возможной примеси воздуха. Насос Теплера дает возможность убрать практически весь гелий из баллончика B_1 и перевести его в стальной

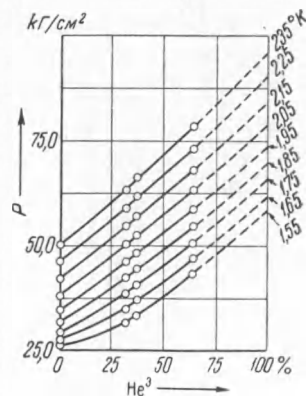


Рис. 3. Зависимость давления P начала затвердевания смесей изотопов гелия от концентрации C легкого изотопа

не описанные детали установки предназначены для откачки воздуха из системы и промывания ее чистым (обычным) гелием перед началом опыта.

Меняя температуру жидкого гелия в дьюаре D_3 откачкой, можно было снять кривую начала затвердевания в температурном интервале от 4,2 до 1,5 °K.

Были проведены опыты как с чистым He^4 , так и со смесями изотопов гелия. Последние были получены при помощи уже описанного метода ⁽¹⁾ (до 2% He^3). Более концентрированные смеси легко получаются применением вторичной ректификации.

Полученные результаты представлены на рис. 2. Здесь кривая 1 является кривой затвердевания чистого He^4 , причем она хорошо совпадает с такой же кривой, полученной другими авторами ⁽⁸⁾. Данные, полученные для гелия с 0,018% и 0,18% He^3 , практически совпадают с данными для He^4 (кривая 1). При содержании легкого изотопа в 2,4% обнаруживается смещение кривой в сторону низких температур (точки 1 выше кривой 1). Это смещение увеличивается с ростом концентрации He^3 , что иллюстрируется кривыми для гелия с 31,7% He^3 (2), 37,0% He^3 (3) и 63,8% He^3 (4). Представляется, что полученные кривые очень близки к кривым начала затвердевания, так как из-за весьма малого внутреннего диаметра капилляра и большой длины его охлажденной части он практически будет забиваться при появлении первых кристалликов твердого гелия.

Любопытно отметить, что кривые $P-T$ для растворов получаются параллельным смещением вдоль оси температур кривой для He^4 , причем это смещение пропорционально концентрации He^3 в растворе.

Полученные данные дают возможность построить изотермы $P-C$, которые представлены на рис. 3. По типу этих кривых можно сделать заключение, что диаграмма состояния для жидкой и твердой фаз системы He^3-He^4 является сигарой с малой областью расслоения.

Кривая затвердевания чистого He^3 была получена ⁽⁹⁾ только в температурном интервале от 0,16 до 1,5 °K, поэтому имеющиеся данные нельзя использовать в настоящей работе. Однако экстраполируя кривые $P-C$, полученные в настоящей работе, можно получить данные для чистого He^3 и сопоставить их с имеющимися данными, относящимися к более низкотемпературной области. Полученные таким образом результаты представлены на рис. 4, из которого видно, что кривая плавления He^3 , полученная экстраполяцией данных о растворах, является продолжением кривой, определенной экспериментально.

Естественно, полученные данные дают возможность сделать только предварительное суждение о характере диаграммы состояния для жидкой и твердой фаз системы He^3-He^4 . В настоящее время проводятся опыты, которые дадут возможность достаточно точно построить эту диаграмму.

Концентрации легкого изотопа в использованных смесях были опре-

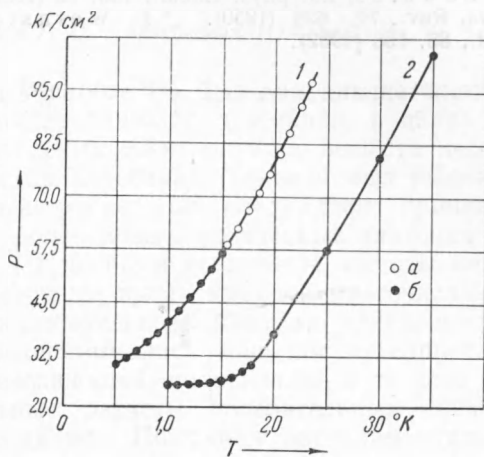


Рис. 4. Кривые затвердевания чистых изотопов гелия. 1— He^3 , точки *a* получены в данной работе, точки *b* взяты из работы ⁽⁹⁾; 2— He^4

делены проф. Н. Е. Алексеевским, которому мы пользуемся случаем выразить нашу признательность. Мы также благодарны Н. С. Догадину за изготовление установки и С. А. Шигимаге за помощь в измерениях.

Физико-технический институт
Академии наук УССР

Поступило
25 III 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Б. Н. Есельсон, Б. Г. Лазарев, ЖЭТФ, **20**, 742 (1950). ² H. S. Sommers, Phys. Rev., **88**, 113 (1952). ³ Б. Н. Есельсон, ЖЭТФ, **26**, № 6 (1954). ⁴ Б. Н. Есельсон, Б. Г. Лазарев, Н. Е. Алексеевский, ЖЭТФ, **20**, 1055 (1950). ⁵ B. Weinstock, D. Osborne, B. Abraham, Phys. Rev., **77**, 400 (1950). ⁶ W. H. Keesom, Comm. Leiden, N 184b, 1926. ⁷ F. Simon, M. Ruheman, W. Edwards, Zs. phys. Chem., **136**, 62 (1929); **132**, 340 (1929). ⁸ C. Swenson, Phys. Rev., **79**, 626 (1950). ⁹ B. Weinstock, B. Abraham, D. Osborne, *ibid.*, **85**, 158 (1952).