

РАССЛОЕНИЕ РАСТВОРОВ ЖИДКИХ ИЗОТОПОВ ГЕЛИЯ ПРИ ОЧЕНЬ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

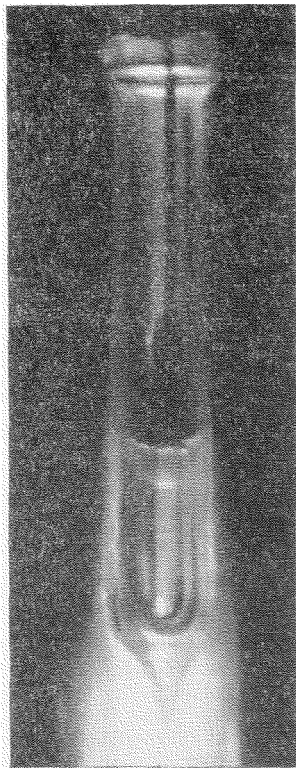
Свойства растворов He^3 — He^4 хорошо изучены при температурах выше 1°K . В частности, подробно исследованы фазовые равновесия в системе He^3 — He^4 , и установлена полная взаимная растворимость жидких He^3 и He^4 при этих температурах. Представляло интерес выяснить, сохраняется ли это свойство при температурах, еще более близких к абсолютному нулю. Ввиду большой интенсивности «нулевого движения» в жидком гелии (энергия его соответствует десяткам градусов) можно было скорее ожидать, что полная растворимость в жидких смесях He^3 — He^4 сохранится вплоть до абсолютного нуля. Вместе с тем были работы¹, авторы которых предсказывали, что при абсолютном нуле изотопические смеси должны разделиться на фазы, состоящие из чистых изотопов.

Экспериментально вопрос о сохранении однофазности раствора He^3 — He^4 при очень низких температурах впервые был исследован в работе Уолтерса и Фэрбанка². Для определения распределения концентрации He^3 в охлаждаемом образце жидкой смеси He^3 — He^4 ими была использована методика ядерного магнитного резонанса. Вертикальный сосуд, в который помещалась смесь (применялись смеси, содержавшие 40 и 60% He^3), состоял из трех расположенных одна над другой цилиндрических секций, соединенных отверстиями в разделяющих их перегородках (см. рис.). Сосуд помещался в скрещенные поля: «постоянное» магнитное поле H и микроволновое поле постоянной частоты ν . Наступление резонанса соответствовало условию $h\nu = \mu H_{\text{рез}}$, где h —постоянная Планка, $H_{\text{рез}}$ —величина H при резонансе и μ —эффективный магнитный момент ядер He^3 в растворе. Ядра He^4 , не обладающие магнитным моментом, в резонансе не участвуют. Поэтому величина сигнала ядерного магнитного резонанса оказывается пропорциональной числу ядер He^3 , а следовательно, количеству легкого изотопа гелия в системе, в которой исследуется резонанс.

В опытах авторов поле H было слабопеременным (раскачивающимся вокруг положения $H = H_{\text{рез}}$), что делало возможным наблюдение резонансного сигнала прямо на осциллографе. Кроме того, это поле имело небольшой вертикальный градиент, так что при изменении H резонансы в упомянутых выше трех секциях сосуда со смесью He^3 — He^4 возникали не одновременно, а в моменты времени, следующие друг за другом. В результате на экране осциллографа наблюдались три пика, величина каждого из которых была пропорциональна количеству He^3 в соответствующей секции. Отсюда можно было вычислить состав смеси (процент He^3) в верхней и нижней секциях. Измерения были выполнены в интервале температур от $1,2$ до $0,25^\circ \text{K}$. Сверхнизкие температуры достигались методом адиабатического размагничивания парамагнитной соли. Исследование дало следующие результаты.

При температурах ниже $0,7$ — $0,8^\circ \text{K}$ исследовавшиеся растворы He^3 — He^4 , содержащие 40 и 60% He^3 , расслаивались на две фазы, концентрации He^3 в которых различны. Более легкая (содержащая больше легкого изотопа) фаза располагалась сверху, а другая занимала нижнюю часть сосуда. Авторам удалось определить приблизительный вид всей фазовой диаграммы растворимости в жидкой системе He^3 — He^4 . Диаграмма в координатах T — x (температура—концентрация) имеет вид деформированной параболы с вершиной, лежащей при $T = 0,83^\circ \text{K}$ и $x = 61\%$ He^3 . При $T = 0,25^\circ \text{K}$ тяжелая фаза содержит $\sim 7\%$ He^3 , а легкая $\sim 10\%$ He^4 . Экстраполяция крыльев диаграммы к $T = 0$ не противоречит гипотезе о расслоении растворов He^3 — He^4 при абсолютном нуле на чистые одноизотопные фазы. Таким образом, при достаточном охлаждении, по-видимому, любая жидкая смесь He^3 — He^4 расслаивается на две фазы, при дальнейшем охлаждении приближающиеся по составу к чистым He^3 и He^4 .

Результаты Уолтерса и Фэрбанка были получены косвенным методом, и¹ им недоставало убедительности, которой обладало бы непосредственное визуальное наблюдение расслоения растворов ^3He — ^4He . Такие прямые наблюдения были выполнены В. П. Пешковым и К. Н. Зиновьевой в Институте физических проблем АН СССР². Смесь ^3He — ^4He , содержащая 51,1% ^3He , была сконденсирована в небольшой стеклянной ампуле (внутренний диаметр 3,5 мм, высота 2 см). Ампула была погружена в ванну жидкого ^3He , температура которой регулировалась откачкой пара ^3He . Было установлено, что при температурах выше $0,81^\circ\text{K}$ раствор ^3He — ^4He представляет собой прозрачную однородную жидкость. При охлаждении до $0,81^\circ\text{K}$ у границы жидкости и пара в растворе появляется тонкая, очень четкая горизонтальная линия—граница двух жидких фаз, на которые расслаивается смесь. При понижении температуры эта граница опускается и при $0,5^\circ\text{K}$ занимает положение несколько ниже середины объема, занимаемого жидкостью. При повышении температуры явление происходит в обратном порядке, и при $0,81^\circ\text{K}$ граница исчезает у верхнего края жидкости. Эти наблюдения хорошо согласуются с фазовой диаграммой, полученной Уолтерсом и Фэрбанком. В. П. Пешков и К. Н. Зиновьева провели также некоторые наблюдения характера перетекания расслоившейся жидкости в погруженный в ампулу запаянный снизу стеклянный капилляр и получили указания на то, что обе жидкие фазы в разделенной смеси ^3He — ^4He являются сверхтекучими. Это не противоречило бы экстраполяции в сторону $x=100\%$ ^3He данных о концентрационной зависимости температуры λ -перехода в растворах ^3He — ^4He Б. Н. Есельсона, Н. Г. Березняка и М. И. Каганова⁴.



Расслоение изотопической смеси—в данном случае жидкой—на чистые изотопы (или на фазы, близкие к ним по составу) при абсолютном нуле температур представляет собой еще одно из числа новых физических явлений, открытию которых мы обязаны исследованиями в области низких температур. Явление это несомненно представляет значительный теоретический интерес. Вместе с тем расслоение растворов ^3He — ^4He при очень низких температурах, возможно, будет иметь и

практическое значение, поскольку в принципе оно может быть использовано для обогащения смесей ^3He — ^4He легким изотопом. Однако заключение об эффективности такого метода можно будет сделать лишь тогда, когда будут известны физические свойства обеих жидких фаз.

Р. Ченцов.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. I. Prigogine, R. Bingen, A. Bellemans, *Physica* 20, 633 (1954); G. V. Chester, *Proc. Conf. Low. Temperature Physics* 1955, Paris, 1956, p. 385.
2. G. K. Walters, W. M. Fairbank, *Phys. Rev.* 103, 262 (1956).
3. В. П. Пешков, К. Н. Зиновьева, *ЖЭТФ* 32, 1256 (1957).
4. Б. Н. Есельсон, Н. Г. Березняк, М. И. Каганов, *ДАН СССР* 111, 568 (1956).

Успехи физических наук, том LXIV, вып. 1.

Редакторы Г. Б. Розенберг и В. А. Угаров.

Техн. редактор С. С. Гагрилов.

Корректор Г. Г. Желтова.

Сдано в набор 26/XI 1957 г. Подписано к печати 3/II 1958 г. Бумага $70 \times 108 \frac{1}{16}$. Физ. печ. л. 12,25+8 вкл. Услов. печ. л. 18,15. Уч.-изд. л. 18,91. Тираж 4470 экз. Т-00769. Цена книги 12 руб. Заказ 1565.

Государственное издательство физико-математической литературы. Москва, В-71, Ленинский проспект, 15.

16-я типография Московского городского Совнархоза. Москва, Трехпрудный пер., д. 9.