

ГЕЛИЙ ЖИДКИЙ

Авторы: В. В. Дмитриев



Диаграмма состояния ${}^4\text{He}$.

ГЕЛИЙ ЖИДКИЙ, жидкие ${}^4\text{He}$ и ${}^3\text{He}$ – квантовые жидкости, свойства которых при темп-рах ниже 2–3 К во многом определяются квантовыми эффектами. Жидкие ${}^4\text{He}$ и ${}^3\text{He}$ – бесцветные прозрачные жидкости, затвердевающие только при повышенном давлении: большем 2,5 МПа для ${}^4\text{He}$ (рис.) и 3,4 МПа для ${}^3\text{He}$. Это объясняется малой энергией взаимодействия атомов по сравнению с их нулевой энергией (см. [Гелий](#)

[твёрдый](#)). При атмосферном давлении темп-ра кипения жидкого ${}^4\text{He}$ равна 4,22 К, его плотность 125 кг/м³; темп-ра кипения жидкого ${}^3\text{He}$ 3,2 К, плотность 58 кг/м³. Под давлением насыщенных паров ${}^4\text{He}$ и ${}^3\text{He}$ остаются жидкими при всех темп-рах ниже критической, равной 5,2 К и 3,3 К соответственно.

Атомы ${}^4\text{He}$ – [бозоны](#), т. к. их спин равен нулю. При темп-ре $T_\lambda = 2,17$ К и давлении насыщенных паров 5 кПа жидкий ${}^4\text{He}$ испытывает фазовый переход 2-го рода.

Выше T_λ жидкий ${}^4\text{He}$ называют He I, ниже – He II. С ростом давления темп-ра перехода T_λ уменьшается (λ -линия на рис.). В 1938

П. Л. [Капица](#) открыл [сверхтекучесть](#) He II – его способность протекать без трения через узкие щели и капилляры. В то же время вязкость, измеренная по затуханию колебаний диска, погружённого в He II, отлична от нуля и вблизи T_λ мало отличается от вязкости He I. Объяснение этому было дано Л. Д. [Ландау](#) в 1941 (теория

сверхтекучести). Из теории следует, что He II ведёт себя как жидкость, состоящая из двух компонент – нормальной и сверхтекучей, которые могут двигаться относительно друг друга. Плотности компонент в сумме равны плотности жидкости, но их отношение изменяется с темп-рой. Сверхтекучая компонента не обладает энтропией и не испытывает трения о стенки сосуда, при $T=T_\lambda$ её плотность равна нулю, растёт с понижением темп-ры и при $T=0\text{ К}$ совпадает с плотностью жидкости. Нормальную компоненту составляют элементарные возбуждения – [фононы](#) и [ротонны](#), и она ведёт себя как обычная вязкая жидкость. Т. о., колеблющийся в He II диск затухает из-за трения о нормальную компоненту. В экспериментах по течению He II через узкие щели или капилляры нормальная компонента практически не движется, а сверхтекучая – протекает без трения. На основе такой двухжидкостной модели можно объяснить ряд др. эффектов. Напр., при вытекании He II из сосуда через узкий капилляр темп-ра в сосуде повышается, т. к. вытекает гл. обр. сверхтекучая компонента, не несущая теплоты (см. [Механокалорический эффект](#)); при создании разности темп-р между концами закрытого капилляра с He II в нём возникает движение (см.

[Термомеханический эффект](#)) – сверхтекучая компонента движется от холодного конца к горячему и там переходит в нормальную, которая движется навстречу (при этом суммарный поток отсутствует). В He II может распространяться звук двух видов – обычный и т. н. второй звук (см. [Звук в сверхтекучем гелии](#)). Существование двух компонент и двух видов движения в He II связано с явлением [Бозе – Эйнштейна конденсации](#), в результате которой возникает макроскопич. фракция жидкости (бозе-конденсат), которая описывается единой квантовомеханич. волновой функцией.

Жидкий ^3He – ферми-жидкость, т. к. атомы ^3He – [фермионы](#) (имеют спин $1/2$) и подчиняются [Ферми – Дирака статистике](#). В 1972 Д. [Ошероу](#), Р. [Ричардсон](#) и Д. [Ли](#) обнаружили, что при очень низких темп-рах жидкий ^3He также становится сверхтекучим (при 0,9 мК при давлении насыщенных паров и при 2,6 мК при 3,4 МПа). Сверхтекучесть ^3He , как и сверхпроводимость металлов, является следствием [Купера эффекта](#) – образования куперовских пар атомов (точнее – пар квазичастиц). Куперовские пары являются бозонами и могут образовывать бозе-конденсат. Сверхтекучесть ^3He более сложна и многообразна, чем ^4He . В зависимости от условий

могут наблюдаться 3 разл. сверхтекучие фазы ^3He (называемые А, А₁ и В).

Жидкий ^4He служит хладагентом для охлаждения сверхпроводящих магнитов и используется для получения низких темп-р при проведении науч. исследований.

Смеси ^4He и ^3He применяют для создания сверхнизких темп-р с помощью т. н. рефрижераторов растворения (удаётся получать и непрерывно поддерживать темп-ры порядка 0,01 К).

Литература

Лит.: Кеезом В. Гелий. М., 1949; Халатников *И. М.* Теория сверхтекучести. М., 1971; Vollhardt D., Wolfle P. The superfluid phases of helium 3. L.; N. Y., 1990.