



ГЕЛИЙ ТВЁРДЫЙ

Авторы: А. Я. Паршин

ГЕЛИЙ ТВЁРДЫЙ, гелий в кристаллич. состоянии; существует только при достаточно высоких давлениях (см. рис. к ст. [Гелий жидкий](#)). Известны три устойчивые кристаллич. модификации ${}^4\text{He}$: гексагональная плотноупакованная при давлениях выше 2,5 МПа; кубическая объёмноцентрированная в узкой области диаграммы состояния, примыкающей к кривой плавления в интервале темп-р 1,46-1,77 К, и кубическая гранецентрированная при темп-рах $T > 14,6$ К и давлениях выше 105 МПа. Для Г. т. характерны низкая плотность (до 190 кг/м^3) и высокая сжимаемость (до $3,5 \cdot 10^{-8} \text{ Па}^{-1}$). Г. т. обнаруживает высокую пластичность, предел текучести при сдвиговых деформациях порядка 10^3 Па . По оптич. свойствам Г. т., как и жидкий гелий, – прозрачная бесцветная среда, показатель преломления которой близок к 1 (1,038 при 2,5 МПа); гексагональная плотноупакованная фаза обладает слабым двойным лучепреломлением. Г. т. – диэлектрик, электрич. прочность его достигает 10^7 В/см . К особенностям Г. т. следует отнести низкие значения [Дебая температуры](#) (до 25 К) и сравнительно большую роль ангармонизма тепловых колебаний (см. [Динамика кристаллической решётки](#)). Кроме того, в Г. т., как и в жидком, практически нерастворимы примеси, за исключением лёгкого изотопа ${}^3\text{He}$.

Большая амплитуда колебаний атомов Г. т. при $T=0$ К (нулевых колебаний) приводит к неустойчивости его кристаллич. состояния при давлениях ниже 2,5 МПа и обуславливает др. необычные свойства Г. т., что позволяет отнести его к особому классу твёрдых тел – к т. н. [квантовым кристаллам](#), которые отличаются прежде всего необычным характером движения точечных дефектов (напр., вакансий). В обычных кристаллах при достаточно низких темп-рах такие дефекты оказываются «замороженными» в определённых положениях в кристаллич. решётке. В Г. т. существенно отлична от нуля вероятность квантового туннелирования дефекта, напр.

из одного узла решётки в соседний узел. Если эта вероятность достаточно велика (как это имеет место в случае вакансий и примесных атомов ^3He), то дефект делокализуется, т. е. движется как квазичастица, обладающая определённой энергией и квазиимпульсом (см. [Вакансион](#), [Дефектон](#)). Процессы диффузии таких дефектов отличаются от обычной классич. диффузии (см. [Квантовая диффузия](#)).

Квантовые эффекты существенным образом влияют также на поверхностные процессы в кристаллах гелия. В частности, при $T < 1$ К движение межфазной границы между жидким и твёрдым гелием (т. е. рост и плавление кристалла) может происходить практически бездиссипативным образом. Это обеспечивает возможность существования слабозатухающих колебаний поверхности Г. т., обусловленных периодич. плавлением и кристаллизацией. Эти т. н. [кристаллизационные волны](#) во многом аналогичны капиллярным волнам на поверхности жидкости.

Твёрдый ^3He также известен в трёх кристаллич. модификациях: объёмноцентрированной кубической (при давлениях 2,9-13,5 МПа и темп-рах $T < 3,1$ К), гексагональной плотноупакованной (при более высоких давлениях и темп-рах) и гранецентрированной кубической (при давлении выше 161 МПа и $T \geq 18$ К). Физич. свойства твёрдого ^3He аналогичны свойствам твёрдого ^4He . Отличия обусловлены гл. обр. наличием спина $I = 1/2$ у ядра ^3He . При не слишком низких темп-рах твёрдый ^3He – ядерный парамагнетик с восприимчивостью, подчиняющейся [Кюри – Вейса закону](#) (см. [Ядерный парамагнетизм](#)). При $T < 0,93$ мК твёрдый ^3He – антиферромагнетик; его антиферромагнетизм обусловлен обменным взаимодействием между ядерными спинами (значительно более слабым по сравнению с взаимодействием в жидком ^3He). Энтропия твёрдого ^3He при $T > 0,93$ мК практически постоянна и равна $R \ln 2$ (R – универсальная газовая постоянная). Это приводит к наличию глубокого минимума на кривой плавления при $T = 0,32$ К. Поэтому кристаллизация ^3He при $T < 0,32$ К в адиабатич. условиях вызывает понижение темп-ры ([Померанчука эффект](#)). Эффект Померанчука лежит в основе одного из наиболее эффективных методов получения темп-р порядка 1 мК (см. [Низкие температуры](#)).

Литература

Лит.: Андреев А. Ф. Диффузия в квантовых кристаллах // Успехи физических наук. 1976. Т. 118. Вып. 2; Лоуназмаа О. В. Принципы и методы получения температуры ниже 1 К. М., 1977; Кешишев К. О., Паршин А. Я., Бабкин А. В. Кристаллизационные волны в ^4He // Журнал экспериментальной и теоретической физики. 1981. Т. 80. Вып. 2.