

одноатомных жидкостей, а для М. с. типа «металл — неметалл» — модификацию этой модели [10], согласно к-рой небольшие атомы неметалла заполняют большие пустоты («дырки» Бернала) в случайной плотной упаковке атомов металла и не соседствуют друг с другом. Однако данные дифракц. экспериментов (напр., расщепление второго пика ФРРА, отсутствующее в жидких металлах) говорят о существовании в М. с. ближнего атомного порядка. Расчёты термодинамич. устойчивости атомных микрокластеров и структурного фактора для М. с. указывают на предпочтительность для них модели ближнего порядка [11], в к-рой осн. элементом структуры является икосаэдр — правильный двадцатигранник, получаемый упаковкой 12 слегка искажённых тетраэдров и обладающий 12 вершинами с 5 сходящимися рёбрами, через к-рые можно провести 6 осей симметрии пятого порядка.

Хотя икосаэдрич. кластер не может быть элементом построения кристалла, поскольку невозможно плотно заполнить трёхмерное пространство путём периодич. трансляций икосаэдра без появления несогласованности в структуре, веским аргументом в пользу икосаэдрич. ближнего порядка в М. с. является также недавнее открытие в сплаве  $Al_{68}Mn_{14}$  [12] принципиально нового типа атомной структуры твёрдых тел — квазикристаллич. структуры с икосаэдрич. порядком (см. *Квазикристаллы*). Подобно М. с., квазикристаллы получают быстрой закалкой из расплава (напр., для определённых составов в системах Al — Mn, Ni — V — Ti, Al — Mg — Zn, Al — Mg — Cu, Fe — Ti, Al — Fe), но, в отличие от М. с., дают на рентгенограммах когерентные брэгговские рефлексы, соответствующие симметрии пятого или даже десятого порядка [13, 14]. Нек-рые М. с. (напр.,  $Pd_{60}U_{20}Si_{20}$  [15]) после отжига переходят в квазикристаллич. состояние, обнаруживая тем самым тесную генетич. связь структурного состояния М. с. и квазикристаллич. состояния.

Лит.: 1) Петраковский И. Г. А., *Аморфные магнетики*, «УФН», 1981, т. 134, с. 305; 2) Люборский Ф. Е., *Перспективы применения аморфных сплавов в магнитных устройствах*, в кн.: *Магнетизм аморфных систем*, пер. с англ., М., 1981; 3) Хендрих К., Кобе С., *Аморфные ферро- и ферромагнетики*, пер. с нем., М., 1982; 4) Крапошин В. С., Линецкий Я. Л., *Физические свойства металлов и сплавов в аморфном состоянии*, в кн.: *Итоги науки и техники. Металловедение и термическая обработка*, т. 16, М., 1982; 5) *Металлические стекла*, пер. с англ., М., 1984; 6) *Amorphous metallic alloys*, ed. by F. Luborsky, L.—[a.o.], 1983; 7) *Аморфные сплавы*, М., 1984; 8) *Преображенный А. А., Бишард Е. Г.*, *Магнитные материалы и элементы*, 3 изд., М., 1986; 9) Ichikawa T., *Electron diffraction study of the local atomic arrangement in amorphous iron and nickel films*, «Phys. Stat. Sol. (a)», 1973, v. 19, № 2, p. 707; 10) Poik D. E., *The structure of glassy metallic alloys*, «Acta Metall.», 1972, v. 20, № 4, p. 485; 11) Sachdev S., Nelson D. R., *Order in metallic glasses and icosahedral crystals*, «Phys. Rev. B», 1985, v. 32, № 7, p. 4592; 12) Shechtman D. и др., *Metallic phase with long-range orientational order and no translational symmetry*, «Phys. Rev. Lett.», 1984, v. 53, № 20, p. 1951; 13) Levine D., Steinhardt P. J., *Quasicrystals. 1—2*, «Phys. Rev. B», 1986, v. 34, № 2, p. 596; 14) Нельсон Д. Р., *Квазикристаллы*, пер. с англ., «В мире науки», 1986, № 10, с. 19; 15) Poik S. J., Dreihorn A. J., Lawless K. R., *Glassy to icosahedral phase transformation in Pd—U—Si alloys*, «Phys. Rev. Lett.», 1985, v. 55, № 21, p. 2324.

**МЕТАЛЛИЧЕСКИЙ ВОДОРОД** — совокупность фаз высокого давления водорода, обладающих металлич. свойствами. Возможность перехода водорода в металлич. фазу была впервые теоретически рассмотрена Ю. Вигнером и Х. Б. Хантингтоном в 1935 [1]. В дальнейшем по мере развития методов электронной теории металлов ур-ние состояния металлич. фаз водорода исследовалось теоретически. На рис. 1 приведена фазовая диаграмма, полученная путём синтеза результатов этих расчётов с эксперим. и теоретич. данными [2]. При атм. давлении и низких темп-рах водород существует в виде диэлектрич. молекулярного кристалла, при повышении давления происходит переход в кристаллич. металлич. состояние. При этом в зависимости от темп-ры возможны 3 фазы М. в. При темп-ре  $T = 0$  К и давлении  $p = 300—100$  ГПа металлизация

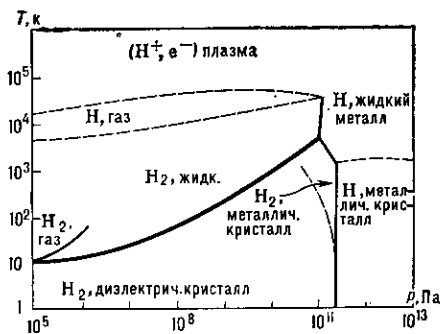


Рис. 1. Диаграмма состояния водорода.

сопровождается перестройкой кристаллич. структуры, диссоциацией молекул  $H_2$  и металлич. кристалл становится атомарным [3]. При  $T > 10$  К возможна металлизация с сохранением структуры молекулярного кристалла (пунктир; металлизация такого типа ранее наблюдалась в йоде). При дальнейшем повышении давления или темп-ры наступает плавление металлич. фазы и образуется жидкий атомарный М. в.

Водород в металлич. фазе содержится в недрах планет-гигантов Юпитера и Сатурна. Согласно совр. моделям, на Юпитере водород в молекулярной фазе присутствует только до глубин порядка 0,22 радиуса планеты [2]. На большей глубине водород в смеси с He образует жидкую металлич. фазу (рис. 2, [4]).

Сообщалось о получении М. в. в экспериментах по ударному сжатию и по сжатию в алмазных наковальнях [5], однако надёжных эксперим. данных о давлении перехода и ур-нии металлич. фазы пока нет.

Важность получения М. в. связана с тем, что в нём должен сочетаться ряд уникальных свойств. Во-первых, из-за малой массы атомов аномально велика *Дебая температура*  $\Theta_D$ . Как следствие этого, темп-ра сверхпроводящего перехода  $T_c$  в твёрдой фазе при давлении порядка давления металлизации должна превышать 200 К, что значительно выше, чем у всех известных *сверхпроводников*, т. к.  $T_c \sim \Theta_D$  [6].

Во-вторых, М. в. может существовать в виде *квантовой жидкости*. Малая масса атомов водорода приводит к большой величине амплитуды *нулевых колебаний* атомов, благодаря чему даже при  $T = 0$  К может не происходить кристаллизации. В противоположность известным квантовым жидкостям ( $^3He$  и  $^4He$ ) плавление кристаллич. М. в. наступает при возрастании давления. Надёжных расчётных данных о структуре и кривой плавления металлич. фазы пока нет. Согласно нек-рым расчётам, давление, при к-ром происходит плавление при  $T = 0$  К, порядка давления, необходимого для металлизации, т. е. в этом случае твёрдой фазы H может не быть.

При снятии давления и обратном переходе из металлич. фазы в диэлектрическую выделяется энергия  $\sim 290$  МДж/кг, что в неск. раз выше, чем даёт любой известный вид топлива. Перспективы практич. использования М. в. в качестве аккумулятора энергии зависят от того, какие условия требуются для осуществления метастабильной металлич. фазы при частичном снятии внеш. давления и каково её время жизни.

Кроме протия  $^1H$  металлизация может происходить в кристаллах дейтерия  $^2H$  и трития  $^3H$ , с той лишь раз-

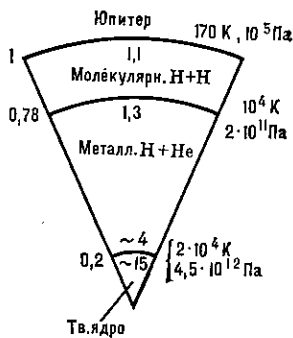


Рис. 2.