



В ПРОЯДКЕ ДИСКУССИИ

УДК 662.76; 662.7.002.82

ФЕДОРЕНКО Г.М., докт. техн. наук,
Институт электродинамики НАНУ, г. Киев,
ЯКОВЛЕВ А.И., докт. техн. наук, профессор,
Национальный аэрокосмический
университет "ХАИ" им. Н.Е. Жуковского, г. Харьков.

**ПО ПУТИ К МЕТАЛЛИЧЕСКОМУ ВОДОРОДУ
И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Представлены результаты сравнительных характеристик газообразного, жидкого и металлического водорода, способы производства и области применения. Показаны перспективные направления и ожидаемые эффекты в энергетике и физике процессов преобразования энергии водорода.



ФЕДОРЕНКО Г.М.



ЯКОВЛЕВ А.И.

"Энергия — основа мироздания и каждое значительное научное открытие в этой области — шаг в будущее, существенный вклад в благополучие человеческой цивилизации".

* * *

Лауреат Нобелевской премии академик Ж.И.Алферов.

* * *

"...в XXI столетии состоится эпохальная смена основного энергоносителя: углеводородное топливо будет вытесняться альтернативными энергоносителями, в первую очередь, водородом т.е. обусловлена неизбежность перехода человечества к водородной энергетике."

проф. Товажнянский Л.Л. ректор НТУ "ХПИ", д.т.н., заслуженный деятель науки и техники Украины.

Свойства газообразного водорода. Водород легчайшее из всех известных веществ (в 14,4 раза легче воздуха) плотность 0,0899 г/л при 0 °С и 1 атм.

Из всех газов обладает наибольшей теплопроводностью, равной при 0°С и 1 атм 0,174 Вт/(м·К), т.е. $4,16 \cdot 10^{-4}$ кал/(с·см·°С). Удельная теплоёмкость водорода при 0°С и 1 атм C_p 14,208·10³ Дж/(кг·К), т. е. 3,394 кал/(г·°С). Водород мало растворим в воде (0,0182 мл/г при 20°С и 1 атм), но хорошо во многих металлах (Ni, Pt, Pa и др.), особенно в палладии (850 объёмов на 1 объём P_d).

С кислородом водород образует воду: $H_2 + 1/2 \cdot O_2 = H_2O$ с выделением 285,937·10³ Дж/ моль, т.е. 68,3174 ккал/моль тепла (при 25°С и 1 атм). Смесь 2 объёмов H_2 и 1 объёма O_2 называют гремучим газом.

Способы получения и хранения водорода [5]. Основные виды сырья для промышленного получения водорода — природные газы, коксовый газ и газы нефтепереработки, а также продукты газификации твёрдых и жидких топлив (главным образом угля). Водород получают также из воды электролизом (в местах, где имеется дешёвая электроэнергия). Важнейшими способами производства водорода из природного газа является каталитическое взаимодействие углеводородов, главным образом метана, с водяным паром (конверсия): $CH_4 + H_2O = CO + 3H_2$, и неполное окисление углеводородов кислородом: $CH_4 + 1/2 \cdot O_2 = CO + 2H_2$. Образующаяся окись углерода также подвергается конверсии: $CO + H_2O = CO_2 + H_2$. Водород, добываемый из природного газа, самый дешёвый.

Получение водорода из сероводородного "супа" Черного моря. Черное море уникально:

оно в мире самое ...сероводородное. Его морские воды содержат высокую концентрацию сероводорода (H_2S) — до 10%. Очевидно, что существует мощный источник сероводорода, находящийся под дном Черного моря [1]. Сероводород легко разлагается на водород и серу. Однако по своей значимости для человечества сера не идет ни в какое сравнение с водородом. Это вещество является очень калорийным и к тому же экологически чистым топливом. Наиболее привлекательным способом (методом) получения водорода из Черного моря является биологический. Есть все основания утверждать, что уже в 1-й половине XXI столетия Черноморский бассейн (регион) ожидает нефтяной, газовый и водородный — одним словом энергетический бум [3].

Металлический водород. В 1971 году появилась работа советских теоретиков во главе с Юрием Каганом, которые доказывали, что металлический водород может оказаться метастабильным. Слово "метастабильный" означает, что после снятия высокого давления водород не превратится снова в газ с диэлектрическими, непроводящими свойствами, а будет оставаться металлом.

Первый успех, связанный с водородом, был достигнут, когда в феврале 1975 года группа ученых под руководством Леонида Верещагина из Института физики высоких давлений получила водород в металлическом состоянии. При температуре 4,2 К (температура кипения гелия) в тонком слое водорода, подвергнутом с помощью алмазных наковален давлению около 300 ГПа, ученые наблюдали уменьшение электрического сопротивления водорода в несколько миллионов раз, что служило свидетельством перехода в металлическое состояние.

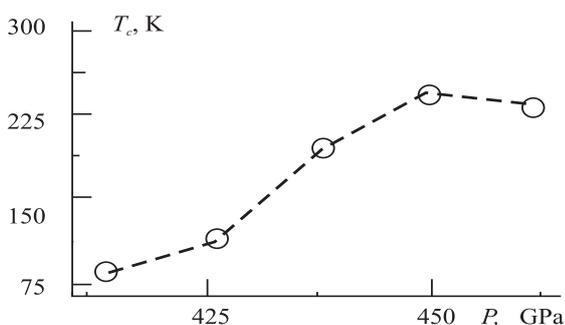


Рис. 1. Зависимость критической температуры металлического водорода от давления. Максимум в 242 К достигается при давлении 450 ГПа.

Предварительные испытания опытных образцов металлического водорода указывают на его уникальные свойства.

Уточненная в настоящее время оценка величины давления, при котором водород должен переходить в металлическое состояние, составляет 2,6 млн. атм. Пока подобные давления еще не могут быть созданы в эксперименте. Однако работы по получению давлений такого порядка интенсивно ведутся давно. В Институте физики высоких давлений (Россия) уже получены давления до 1 млн. атм, а ученые Корнельского университета (США) считают, что в ближайшие три года они достигнут давлений в несколько миллионов атмосфер. Предложены также методы получения таких давлений с помощью взрывов, однако естественно, что после опыта не удастся сохранить образцы.

Исследование металлического водорода станет одной из основных задач в области макроскопической физики.

Металлический водород, согласно разработанным моделям, является сверхпроводником при наибольшей критической температуре Рис. 1. Некоторые прогнозы гласят, что можно добиться его устойчивости даже при нормальном давлении, что сулит большие перспективы в области энергетики.

При снятии давления и обратном переходе из металлической фазы в диэлектрическую выделяется энергия ~ 290 МДж/кг, что в несколько раз выше, чем дает любой известный вид топлива.

Попытки получения металлического водорода важны не только для фундаментальной науки, но и связаны с потенциальными прикладными аспектами его использования.

Таблица 1. Сравнительные величины давлений

Примеры	Давление (в ГПа)	Давление (в атмосферах)
Атмосферное давление на поверхности Земли	0,0001	1
Давление на дне Марианской впадины	0,109	1090
Давление в центре Земли	330–360	3,3–3,6 млн
Давление в центре Юпитера	3000–4500	30–45 млн

Выводы

1. Водород самый распространенный элемент во Вселенной (92 % массы звезд, на Солнце в виде плазмы, в межзвездном пространстве и газовых туманностях, в виде отдельных молекул, атомов и ионов, молекулярных облаков; на Земле весь водород находится в виде органических соединений: в земной коре и в клетках живых организмов по числу атомов на водород приходится почти 50 %, тяжелые планеты Юпитер и Сатурн более чем на 90 % по массе состоят из металлического водорода, (Табл. 1).

2. Кроме достигнутого состояния водорода с увеличенной сверхэлектрической проводимостью, металлический водород, после сильного сжатия до 3,75 млн атм. методом взрыва под действием ударной волны в алмазной прессформе, когда исходный водород неизбежно нагревается до нескольких тысяч градусов Кельвина в течение микросекунды и на несколько порядков повышает свою плотность по сравнению с исходным состоянием, последний по теплотворной способности может быть приближен к трансурановым веществам, а, следовательно, может быть использован в качестве стержней твердого топлива для ракет. Эти фантастические возможности уже несколько десятилетий обсуждаются в Интернете.

3. Рассматривая процесс получения металлического водорода как аккумулялирование энергии, можно спрогнозировать использование его прежде всего для покрытия пиковых нагрузок в системах электроснабжения и генерирования. Специалистами ИПБ НАНУ проведена прогнозная оценка теплотворной способности металлического водорода при его сжигании. Она оказалась на уровне ~ 377000 ккал/г. Подтверждение этих прогнозов научным экспериментом откроет фантастические возможности для решения проблем фундаментальной энергетики современных и будущих поколений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сообщение из Ливерморской Национальной лаборатории США от 26.03.1996 г. — получение и испытание экспериментальной фазы металлического водорода (ученые Сэм Вейр, Арт Митчелл, Билл Неллис).
2. Ерин Ю.И. Металлический водород — сверхпроводник с наибольшей критической температурой. Internet. Обзор работ [12, 15, 16].
3. Еремеев И., Самойлов Ю. "Самое синее в мире Черное море..." Значимость Черного моря для мировой энергетики // Энергетическая политика Украины. — 2003. — № 2. — С. 40–43.
4. Гинсбург В.Л. О физике и астрофизике. — М.: Наука, 1980. — С. 29–87.
5. Металлогидридные технологии: дайджест / Под ред. В.В.Соловья, Ю.М. Мацевитого. — Харьков.: ИПМАШ им.А.Н.Подгорного, 2009. — 37 с.