

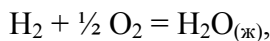
Нанотрубки для водородной энергетики

Решение

1. $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 = \text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$ $\Delta H = 286 \text{ кДж/моль H}_2 = 143 \text{ кДж/г H}_2$
 $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$ $\Delta H = 393 \text{ кДж/моль C} = 33 \text{ кДж/г C}$
 $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$ $\Delta H = 890 \text{ кДж/моль CH}_4 = 56 \text{ кДж/г CH}_4$
 $\text{C}_8\text{H}_{18} + 25/2 \text{O}_2 = 8\text{CO}_2 + 9\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$ $\Delta H = 5616 \text{ кДж/моль C}_8\text{H}_{18} = 49 \text{ кДж/г C}_8\text{H}_{18}$

Водород имеет наибольшую удельную теплоту сгорания.

2. Для реакции



которая протекает в водородном топливном элементе, изменение энергии Гиббса при 298 К равно:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S = -286 - 298 \cdot (-163 \cdot 10^{-3}) = -237 \text{ кДж/моль H}_2 = -119 \text{ кДж/г H}_2.$$

Работа, совершенная при сгорании 1 кг H_2 с КПД 50%, равна $119 \cdot 10^3 \cdot 0.5 = 59 \cdot 10^3$ кДж.

Расстояние равно работе, деленной на силу трения:

$$l = \frac{W}{F_{\text{тр}}} = \frac{W}{k_{\text{тр}} mg} = \frac{59 \cdot 10^6}{0.1 \cdot 1000 \cdot 9.8} = 60200 \text{ м} = 60 \text{ км}.$$

3. Наибольшая массовая доля водорода – в метане, CH_4 . Она составляет 25%.

4. Каждый атом углерода в графите или нанотрубке может присоединить один атом водорода. В этом случае массовая доля водорода максимальна и равна $1 / (1+12) = 0.077 = 7.7\%$.

Пусть 1 моль С присоединил x моль Н, тогда массовая доля водорода составит:

$$\omega(\text{H}) = \frac{x}{x+12} = 0.065,$$

откуда $x = 0.83$. Доля связанных атомов углерода составит 83%, то есть примерно 5/6.

5. Нанотрубка имеет форму цилиндра длиной l и диаметром d . Объем трубки $V = \pi d^2 l / 4$, ее поверхность $S = \pi d l$. Число шестиугольников на поверхности трубки равно отношению площади трубки к площади шестиугольника:

$$N_{\text{шестиуг.}} = \frac{S}{S_{\text{шестиуг.}}} = \frac{\pi d l}{\frac{3\sqrt{3}}{2} \cdot 0.142^2} = 60 d l.$$

Каждый атом углерода принадлежит трем шестиугольникам, следовательно на один шестиугольник приходится $6/3 = 2$ атома углерода, значит общее число атомов С в нанотрубке: $N_{\text{C}} = 120 d l$.

Найдем число молекул водорода. Известно, что шары при плотнейшей упаковке занимают 74% от объема пространства. Число шаров в полости трубки равно отношению 74% объема трубки к объему молекулы:

$$N_{\text{H}_2} = \frac{0.74 \cdot V}{V_{\text{H}_2}} = \frac{0.74 \cdot \frac{\pi d^2 l}{4}}{\frac{1}{6} \cdot \pi \cdot 0.3^3} = 41d^2 l$$

Массовая доля водорода:

$$\omega(\text{H}_2) = \frac{2N_{\text{H}_2}}{2N_{\text{H}_2} + 12N_{\text{C}}} = \frac{82d^2 l}{82d^2 l + 1440dl} = \frac{d}{d + 17.6},$$

где d выражено в нм. При диаметре 3 нм массовая доля водорода внутри трубки может достигать 15%.

Автор – проф. В.В.Еремин