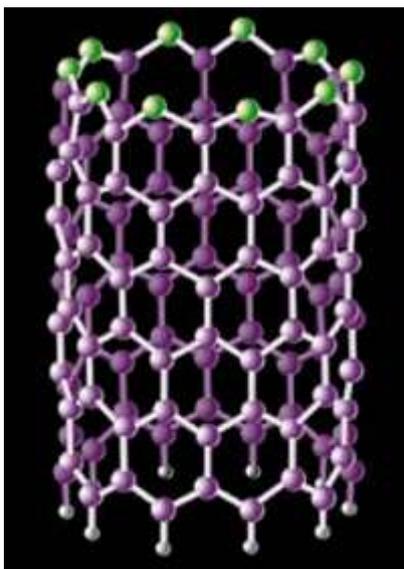


Нанотрубки для водородной энергетики*

(школьники, химия)



Водород считают самым перспективным синтетическим топливом: он – легкий, энергоемкий, достаточно доступный и экологически чистый: продуктом его окисления является чистая вода.

1. Сравните удельные теплоты сгорания (кДж/г) водорода, углерода и углеводородов – метана и бензина (C_8H_{18}) (**3 балла**). Продуктами сгорания считайте углекислый газ и жидкую воду. Необходимые термодинамические данные найдите самостоятельно. Какое топливо наиболее энергоемко (**1 балл**)?

2. Максимальная полезная работа, совершаемая с помощью химической реакции, равна уменьшению энергии Гиббса реакции. Вычислите максимальную работу, совершаемую при сгорании 1 кг водорода электродвигателем, связанным с водородным топливным элементом (**3 балла**). Какое расстояние может проехать за счет этой энергии автомобиль массой 1000 кг, если КПД электродвигателя равен 50% (**1 балл**)? Необходимые термодинамические данные найдите самостоятельно. Коэффициент трения примите равным 0.1.

На пути к широкому практическому использованию водорода в энергетике надо решить ряд глобальных технических проблем, главная из которых – компактное и безопасное хранение водорода.

Идеальное устройство для хранения водорода должно содержать большой процент водорода в небольшом объеме и легко отдавать его по мере необходимости. Было предложено несколько принципиально разных подходов к хранению водорода, один из которых основан на использовании углеродных материалов, в частности нанотрубок. В «Водородной программе» Министерства энергетики США (1992) был установлен следующий критерий: для создания эффективного топливного элемента необходимо добиться аккумулирующей способности углерода $63 \text{ кг H}_2 / \text{м}^3$ (6.5 мас.% H_2). С тех пор началась и сейчас достигла апогея гонка за процентами водорода. На сегодня рекордный материал содержит 18 мас.% H.

3. В каком химическом соединении массовая доля водорода максимальна (**2 балла**)? Чему она равна (**1 балл**)? Рассматриваются только наиболее распространенные изотопы элементов.

4. Один из механизмов поглощения водорода нанотрубками – хемосорбция, то есть адсорбция водорода H_2 на поверхности трубки с последующей диссоциацией и образованием химических связей С–Н. Чему равна максимально возможная массовая доля водорода в нанотрубках при хемосорбции (**3 балла**)? Чему равна доля связанных с водородом атомов углерода, если массовая доля водорода составляет 6.5% (**2 балла**)?

5. Хемосорбция не очень удобна для связывания водорода, так как трудно извлечь связанный водород: связи С–Н полностью разрываются лишь при $600^\circ C$. Гораздо более удобным механизмом для связывания является обратимая физическая адсорбция молекулярного водорода посредством ван-дер-ваальсова взаимодействия. Используя геометрические представления, оцените, какова массовая доля водорода H_2 , плотно заполнившего внутреннюю полость длинной углеродной нанотрубки диаметром d нм и длиной l нм ($l \gg d \gg 1$) (**5 баллов**). Поверхность нанотрубки образована правильными шестиугольниками со стороной 0.142 нм. Молекулу водорода считайте шаром диаметром 0.3 нм.

6. Назовите другие, не связанные с углеродом, способы хранения водорода, и укажите по одному их главному, на ваш взгляд, преимуществу и недостатку (**2 балла**).

1) база данных ИВТАН: <http://www.chem.msu.ru/rus/handbook/ivtan/welcome.html>,

2) база данных NIST: <http://webbook.nist.gov/chemistry/>