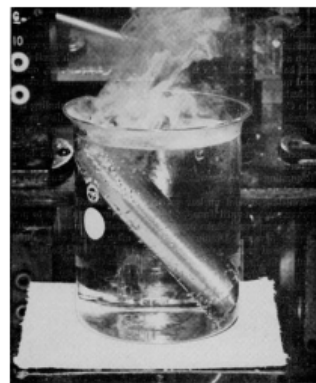


Задача 9-1

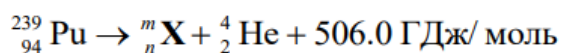
Вскипятим воду плутонием!

Энергия радиоактивного распада – очень перспективный вид энергии. Простой способ продемонстрировать её возможности показан на фотографии: на ней кусочек металлического плутония-239 помещен в стакан с водой, которая вскипает в результате нагревания выделяющейся из плутония энергией.



В дальнейших расчетах считайте, что вода нагревается равномерно, а скорость распада плутония постоянна и составляет $5.48 \cdot 10^{11}$ атомов/с на каждый моль ^{239}Pu . Объём воды в стакане равен 2.0 л.

1. Определите продукт ^m_nX распада плутония-239, согласно уравнению:



2. Рассчитайте количество теплоты, выделяющейся каждую секунду из плутониевого цилиндра высотой 15 см и радиусом 2 см.

3. Рассчитайте, сколько часов понадобится для нагрева воды в стакане от 20°C до температуры кипения. Считайте, что на нагрев воды идёт 90% всей выделяющейся теплоты.

4. Энергии радиоактивного распада достаточно и для химических превращений: 3% выделяющейся теплоты тратится на радиолиз воды по уравнению $2\text{H}_2\text{O}(\text{ж.}) \rightarrow 2\text{H}_2(\text{г.}) + \text{O}_2(\text{г.})$. Рассчитайте энтальпию этой реакции, если также известны энтальпии процессов с участием кислорода и водорода:



5. Какие количества (моль) гелия, водорода, кислорода и паров воды выделяются за час кипячения воды плутонием в описанном эксперименте?

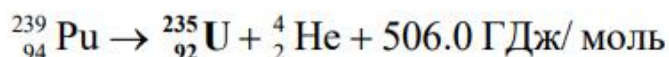
Справочная информация:

- плотность плутония $\rho = 19.84 \text{ г/см}^3$;
- $1 \text{ ГДж} = 10^9 \text{ Дж}$;
- постоянная Авогадро $N_A = 6.02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$;
- теплоемкость воды $c = 4.184 \text{ Дж/(г} \cdot ^\circ\text{C)}$;
- энтальпия испарения воды $\Delta H_{\text{исп}} = +44.0 \text{ кДж/моль}$;
- объём цилиндра $V = \pi r^2 l$, где l – высота, r – радиус основания.

Решение задачи 9-1 (автор: Курамшин Б.К.)

1. Исходя из закона сохранения массы, масса неизвестного ядра равна 235.

А из закона сохранения заряда, заряд ядра равен 92 (это уран):



2. Объем цилиндра равен $V = \pi r^2 l = 3.14 \cdot 2^2 \cdot 15 = 188.4 \text{ см}^3$

Масса плутония равна $m = V\rho = 188.4 \cdot 19.84 = 3737.856 \text{ г}$

Количество плутония-239: $n = 3737.856 / 239 = 15.640 \text{ моль}$

Значит, каждую секунду в цилиндре распадается

$$5.48 \cdot 10^{11} \cdot 15.640 = 8.570 \cdot 10^{12} \text{ атомов плутония.}$$

Количество плутония, распадающегося каждую секунду:

$$n_0 = N/N_A = 1.424 \cdot 10^{-11} \text{ моль.}$$

Теплота, выделяющаяся каждую секунду $Q_0 = 506 \cdot 10^9 \cdot 1.424 \cdot 10^{-11} = 7.20 \text{ Дж.}$

3. Теплота, необходимая для нагрева воды:

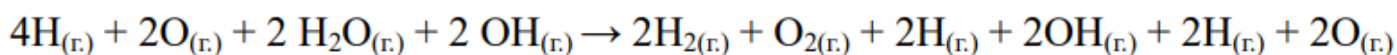
$$Q = cm(T_{\text{кип}} - T_0) = 4.184 \cdot 2000 \cdot (100 - 20) = 669440 \text{ Дж}$$

Время в секундах найдем, используя теплоту Q_0 , выделяющуюся в секунду, не забыв учесть, что только 90% теплоты идет на нагрев воды.

$$Q = 0.9Q_0t$$

$$t = Q/0.9Q_0 = 669440 / (0.9 \cdot 7.20) = 103309 \text{ с} = 28.7 \text{ ч}$$

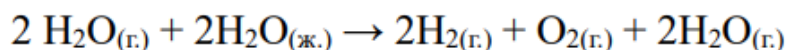
4. Сложим удвоенную обратную реакцию (1), одну реакцию (2), удвоенную реакцию (3) и удвоенную обратную реакцию (4):



После сокращений:



Разложению подвергается жидкая вода, поэтому добавим дважды «реакцию» испарения воды ($\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж.})} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_{(\text{г.})}$):



После сокращений:

$$2\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж.})} \rightarrow 2\text{H}_{2(\text{г.})} + \text{O}_{2(\text{г.})} \quad \Delta_r H = -2\Delta_r H_1 + \Delta_r H_2 + 2\Delta_r H_3 - 2\Delta_r H_4 + 2\Delta H_{\text{исп}} = \\ = +571.8 \text{ кДж/моль}$$

5. Каждую секунду распадается $1.424 \cdot 10^{-11}$ моль плутония, значит, образуется такое же количество гелия.

За час выделится $n(\text{He}) = 1.424 \cdot 10^{-11} \text{ моль} \cdot 3600 = 5.13 \cdot 10^{-8} \text{ моль}$ гелия.

Каждый час $7.2 \cdot 0.9 \cdot 3600 = 23328 \text{ Дж}$ теплоты идёт на испарение воды, значит, испарится $23328 / 44000 = 0.53 \text{ моль}$ воды.

Наконец, каждый час $7.2 \cdot 0.03 \cdot 3600 = 777.6 \text{ Дж}$ идёт на радиолиз воды. На разложение 2 моль воды требуется 571800 Дж, значит, количество разложившейся воды за час составит:

$$n(\text{H}_2\text{O}) = 777.6 \cdot 2 / 571800 = 2.72 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

Значит, выделится:

$$n(\text{H}_2) = 2.72 \cdot 10^{-3} \text{ моль} \text{ водорода};$$

$$n(\text{O}_2) = 0.5 \cdot 2.72 \cdot 10^{-3} = 1.36 \cdot 10^{-3} \text{ моль} \text{ кислорода.}$$

Система оценивания:

1	Верное заполнение пропусков – 1.5 балла (за каждое неверно заполненное «...» - минус 0.5 балла, в сумме не менее 0 б.)	1.5 балла
2	Расчет теплоты за секунду – 4 баллов (Верно рассчитан объём, но дальнейшие значения неверны – 0.5 балла; Верно рассчитана масса, но дальнейшие значения неверны – 1 балл; Верно рассчитано количество Pu в цилиндре, но дальнейшие значения неверны – 2 балла; Верно рассчитано число атомов, распадающихся в секунду, но дальнейшие значения неверны – 2.5 балла; Верно рассчитано число моль Pu , распадающегося в секунду, но значение теплоты неверно – 3 балла Все иные случаи – 0 баллов)	4 баллов
3	Верный расчет времени – 1.5 балла (Верный расчёт для неверного значения из п.1 – 1.5 балла Верно рассчитано количество необходимой для нагрева теплоты, но неверно рассчитано время – 1 балл Все иные случаи – 0 баллов)	1.5 балла

4	<p>Верный расчёт энтальпии реакции – 4 балла (Верное итоговое выражение и арифметическая ошибка – 3 балла, Верное выражение для реакции с газообразной H_2O, но в дальнейшем не учтено испарение воды – 2 балла Расчет проведен для реакции с коэффициентом 1 перед H_2O – ещё минус 1 балл; Все иные случаи – 0 баллов)</p>	4 балла
5	<p>Верный расчет количества гелия – 1 балл Верный расчет количества паров воды – 1 балл Верный расчет количества водорода и кислорода – по 1 баллу (Если какое-либо количество не пересчитано с 1 с на 1 ч и ответ отличается в 3600 раз от верного – минус 1 балл за каждый такой случай; Если рассчитано количество теплоты, идущей на процесс испарения или радиолиза, но не рассчитано количество соответствующего вещества – половина от возможного количества баллов)</p>	4 балла
ИТОГО: 15 баллов		