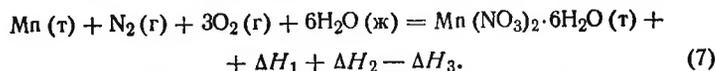
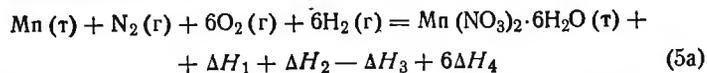


Вычитаем уравнение (3) из (6):

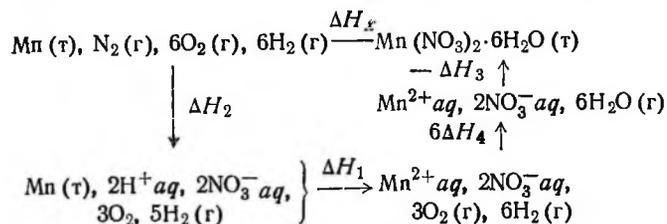


Суммируем уравнение (7) и уравнение (4), умноженное на 6:



$$\text{отсюда } \Delta H_x = \Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_3 + 6\Delta H_4 = -227,7 - 409,4 + 21,3 - 1715,0 = -2330,8 \text{ кДж.}$$

Этот пример можно решить также методом термохимических схем:



$$\text{Отсюда } \Delta H_x = \Delta H_2 + \Delta H_1 + 6\Delta H_4 - \Delta H_3.$$

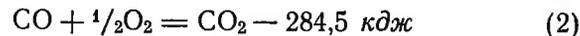
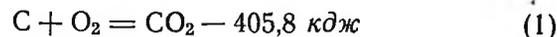
### Задачи \*

1. Теплоты образования жидкой воды и газообразной двуокиси углерода соответственно равны  $-285,8$  и  $-393,5$  кДж/моль, теплота сгорания метана при тех же условиях  $-890,3$  кДж/моль. Рассчитать теплоту образования метана из элементов при условиях: 1)  $P = \text{const}$ ; 2)  $V = \text{const}$ ,  $T = 298^\circ \text{K}$ .

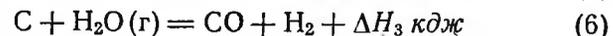
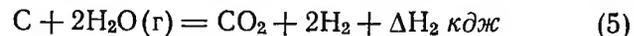
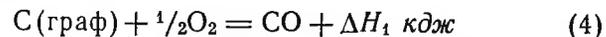
2. Теплота сгорания жидкого бензола равна  $-3267,7$  кДж/моль. Теплота сгорания газообразного ацетилена при тех же условиях равна  $-1299,6$  кДж/моль. Вычислить теплоты образования жидкого бензола и газообразного ацетилена, а также теплоту образования бензола из ацетилена при условиях: 1)  $P = \text{const}$  и 2)  $V = \text{const}$ , если теплоты образования  $\text{CO}_2(\text{г})$  и  $\text{H}_2\text{O}(\text{ж})$  соответственно равны  $-393,5$  и  $-285,8$  кДж/моль.

\* В ряде задач тепловые эффекты реакций, теплоты образования и сгорания даны при стандартных условиях, т. е. при  $25^\circ \text{C}$  и 1 атм, которые в условиях не указываются.

3. Тепловые эффекты реакций при  $0^\circ \text{C}$  и постоянном давлении  $101,3 \text{ кН/м}^2$ :

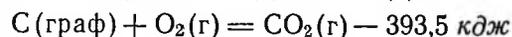
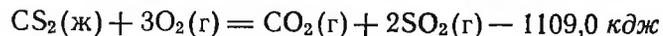
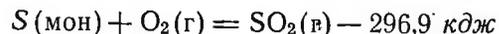


Рассчитать при тех же условиях тепловые эффекты следующих реакций:



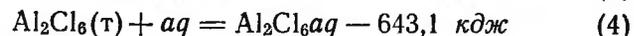
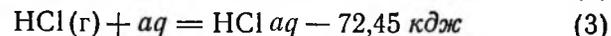
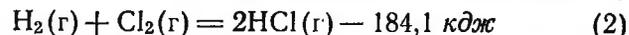
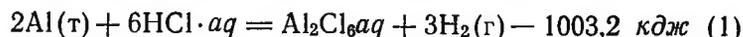
4. Теплота образования этилена  $\text{C}_2\text{H}_4(\text{г})$  равна  $52,3$  кДж/моль. Какова теплота сгорания этилена при: 1)  $P = \text{const}$ ; 2)  $V = \text{const}$ , если теплоты образования  $\text{CO}_2(\text{г})$  и  $\text{H}_2\text{O}(\text{ж})$  соответственно равны  $-393,5$  и  $-285,8$  кДж/моль?

5. Рассчитать теплоту образования жидкого сероуглерода по следующим данным:

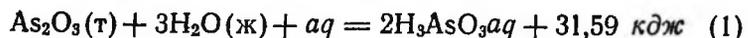


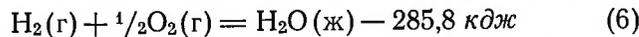
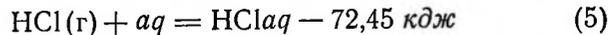
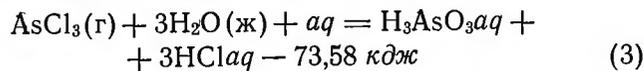
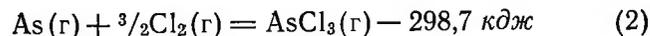
6. Теплота образования  $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{г})$   $-821,3$  кДж/моль, а теплота образования  $\text{Al}_2\text{O}_3$   $-1675,0$  кДж/моль. Рассчитать тепловой эффект реакции восстановления 1 моль  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  металлическим алюминием.

7. На основании следующих данных рассчитать теплоту образования безводного  $\text{Al}_2\text{Cl}_6(\text{г})$ :

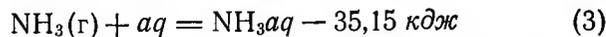
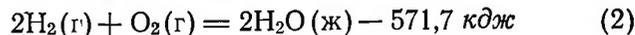
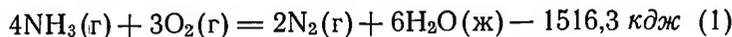


8. На основании следующих данных рассчитать теплоту образования твердого  $\text{As}_2\text{O}_3$ :

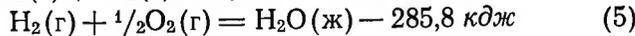
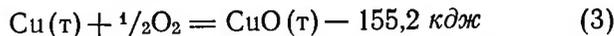
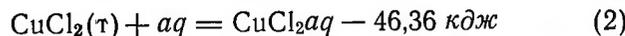
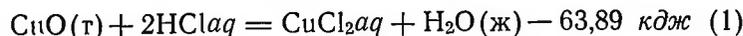




9. На основании следующих данных рассчитать теплоту образования: 1) газообразного аммиака; 2) водного раствора аммиака:



10. Рассчитать теплоту образования безводной  $\text{CuCl}_2$ , пользуясь следующими данными:



11. Теплота нейтрализации соляной кислоты раствором едкого натра  $-55,9 \text{ кдж}$ , а монохлоруксусной кислоты  $\text{CH}_2\text{ClCOOH}$  тем же раствором едкого натра  $-59,75 \text{ кдж}$ . При прибавлении к раствору, содержащему 1 г-экв монохлоруксуснокислого натрия, 1 г-экв  $\text{HCl}$  поглощается 1,904 кдж теплоты. Какая часть взятой соли при этом разлагается?

12. Теплота нейтрализации азотной кислоты раствором едкого натра  $-55,9 \text{ кдж}$ , а двухлоруксусной кислоты  $\text{CHCl}_2\text{COOH}$  тем же раствором едкого натра  $-62,05 \text{ кдж}$ . Если прибавить 1 экв  $\text{NaOH}$  к раствору, содержащему по 1 экв  $\text{HNO}_3$  и  $\text{CHCl}_2\text{COOH}$ , то выделяется  $-58,41 \text{ кдж}$  теплоты. Рассчитать количество грамм-эквивалентов  $\text{HNO}_3$ , прореагировавших с  $\text{NaOH}$ .

13. Теплоты нейтрализации  $\text{NaOH}$  и  $\text{NH}_4\text{OH}$  соляной кислотой соответственно равны  $-55,9 \text{ кдж/моль}$  и  $-51,34 \text{ кдж/моль}$ . Какова теплота диссоциации  $\text{NH}_4\text{OH}$ , если он в растворе практически не диссоциирует?

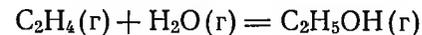
14. Теплоты нейтрализации соляной, уксусной и масляной кислот едким натром соответственно равны  $-55,9$ ;  $-56,07$  и  $-57,74 \text{ кдж/моль}$ . Какова теплота диссоциации уксусной и масляной кислот, если они в водном растворе практически не диссоциируют?

15. Теплоты растворения  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  и  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  соответственно равны  $-84,85$ ;  $-55,64$  и  $15,9 \text{ кдж/моль}$ . Какова теплота гидратации при переходе: а)  $\text{MgSO}_4$  в  $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ; б)  $\text{MgSO}_4$  в  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; в)  $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  в  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ?

16. Теплота растворения  $\text{BaCl}_2$   $-8,66 \text{ кдж/моль}$ , а теплота гидратации этой соли при переходе в  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$   $-29,16 \text{ кдж/моль}$ . Какова теплота растворения  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ?

17. Теплоты образования воды и водяного пара равны соответственно  $-285,8$  и  $-241,8 \text{ кдж/моль}$ . Рассчитать теплоту испарения воды при  $25^\circ\text{C}$ .

18. Вычислить тепловой эффект реакции



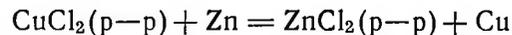
если теплоты образования этилена, водяного пара и газообразного этанола соответственно равны  $52,28$ ;  $-241,8$  и  $-235,3 \text{ кдж/моль}$ .

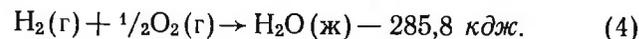
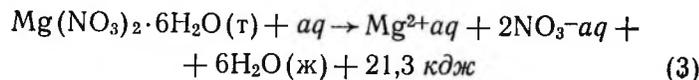
19. Теплота сгорания паров пропанола  $-2064,0 \text{ кдж/моль}$ . Вычислить теплоту сгорания жидкого пропанола, если теплота его испарения составляет от  $41,84$  до  $48,12 \text{ кдж/моль}$ . Рассчитать расхождение между вычисленным и табличным значением  $-2016,7 \text{ кдж/моль}$ .

20. Рассчитать теплоту перехода ромбической серы в моноклиническую, если теплота сгорания ромбической серы  $-297,5 \text{ кдж/г-атом}$ , а теплота сгорания моноклинической серы  $-300,1 \text{ кдж/г-атом}$ .

21. Теплоты сгорания аморфного углерода, графита и алмаза соответственно равны  $-409,2$ ;  $-394,6$  и  $-395,3 \text{ кдж/г-атом}$ . Рассчитать теплоту аллотропного превращения: 1) аморфного углерода в графит; 2) аморфного углерода в алмаз; 3) графита в алмаз.

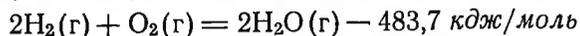
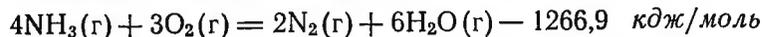
22. Теплота образования раствора хлорида цинка  $-478,2 \text{ кдж/моль}$ , а теплота образования раствора хлорида меди (II)  $-262,3 \text{ кдж/моль}$ . Вычислить теплоту реакции



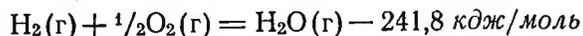
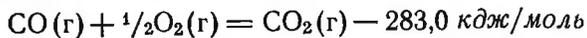


23. Теплота сгорания бензойной кислоты  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}(\text{т}) - 3227,5 \text{ кдж/моль}$ . Теплоты образования воды и двуокиси углерода из элементов при тех же условиях соответственно равны  $-285,8$  и  $-393,5 \text{ кдж/моль}$ . Вычислить теплоту образования  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}(\text{т})$ .

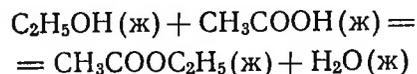
24. Рассчитать теплоту образования газообразного аммиака на основании следующих данных:



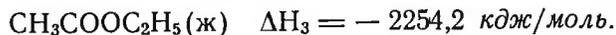
25. Вычислить тепловой эффект реакции восстановления окиси железа (II) водородом, пользуясь следующими данными:



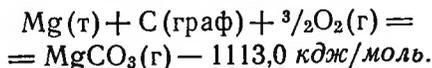
26. Определить тепловой эффект реакции



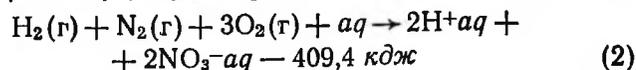
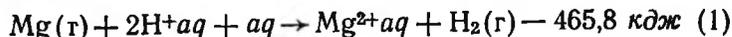
если теплоты сгорания  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{ж}) \Delta H_1 = -1366,7 \text{ кдж/моль}$ ;



27. Вычислить теплоту образования  $\text{MgCO}_3(\text{т})$  из  $\text{MgO}(\text{т})$  и  $\text{CO}_2$ , пользуясь следующими данными:



28. Определить теплоту образования гексагидрата нитрата магния  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}(\text{т})$ , если известны следующие данные:



29. В топке сгорает каменный уголь, содержащий 65% углерода. В топочных газах содержится 13 об.%  $\text{CO}_2$  и 1 об.%  $\text{CO}$ ; остальное азот и кислород. Определить теплоту сгорания 1 кг угля, если теплота образования  $\text{CO}_2(\text{г}) - 393,5 \text{ кдж/моль}$ , а теплота образования  $\text{CO}(\text{г}) - 110,5 \text{ кдж/моль}$ .

30. Теплота растворения  $\text{Na}_2\text{SO}_3(\text{т})$  при  $18^\circ\text{C}$   $-11,30 \text{ кдж/моль}$ , а теплота гидратации этой соли при переходе в  $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}(\text{т}) - 58,16 \text{ кдж/моль}$ . Определить теплоту растворения  $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}(\text{т})$ .

#### § 5. РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ЭФФЕКТОВ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ ПО СТАНДАРТНЫМ ТЕПЛОТАМ ОБРАЗОВАНИЯ ИЛИ СГОРАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

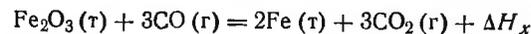
Из закона Гесса вытекают два следствия: 1) тепловой эффект реакции равен разности между суммой теплот образования продуктов реакции и суммой теплот образования исходных веществ:

$$\Delta H = \sum n\Delta H_f^{\text{прод}} - \sum n\Delta H_f^{\text{исх}}; \quad (II,6)$$

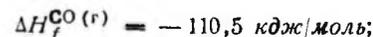
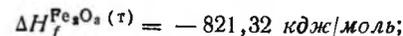
2) тепловой эффект реакции равен разности между суммой теплот сгорания исходных веществ и суммой теплот сгорания продуктов реакции:

$$\Delta H = \sum n\Delta H_{\text{сгор}}^{\text{исх}} - \sum n\Delta H_{\text{сгор}}^{\text{прод}}. \quad (II,7)$$

Пример 1. Пользуясь стандартными теплотами образования соединений, вычислить тепловой эффект реакции при  $25^\circ\text{C}$ :



если теплоты образования веществ следующие

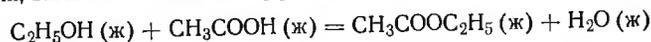


Решение. Согласно первому следствию из закона Гесса [уравнение (II,6)] искомым тепловой эффект реакции равен

$$\Delta H = 2\Delta H_f^{\text{Fe}}(\tau) + 3\Delta H_f^{\text{CO}_2}(\tau) - \Delta H_f^{\text{Fe}_2\text{O}_3}(\tau) - 3\Delta H_f^{\text{CO}}(\tau) =$$

$$= -3.393,51 + 821,32 + 3.110,5 = -27,71 \text{ кдж.}$$

**Пример 2.** Пользуясь стандартными теплотами сгорания соединений, вычислить тепловой эффект реакции при 25° С:



если теплоты сгорания веществ следующие:

$$\Delta H_{\text{сгор}}^{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{ж})} = -1366,9 \text{ кдж/моль};$$

$$\Delta H_{\text{сгор}}^{\text{CH}_3\text{COOH}(\text{ж})} = -873,8 \text{ кдж/моль};$$

$$\Delta H_{\text{сгор}}^{\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5(\text{ж})} = -2254,2 \text{ кдж/моль}.$$

Решение. Согласно второму следствию закона Гесса искомым тепловой эффект реакции равен [уравнение (II,7)]

$$\Delta H = \Delta H_{\text{сгор}}^{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{ж})} + \Delta H_{\text{сгор}}^{\text{CH}_3\text{COOH}(\text{ж})} - \Delta H_{\text{сгор}}^{\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5(\text{ж})} -$$

$$- \Delta H_{\text{сгор}}^{\text{H}_2\text{O}(\text{ж})} = -1366,9 - 873,8 + 2254,2 = 13,5 \text{ кдж.}$$

## Задачи

**1-30.** Вычислить тепловые эффекты химических реакций при стандартных условиях по стандартным теплотам образования.

Номер задачи	Термохимическое уравнение реакции
1	$4\text{NH}_3(\text{г}) + 5\text{O}_2(\text{г}) = 6\text{H}_2\text{O}(\text{г}) + 4\text{NO}(\text{г})$
2	$2\text{Mg}(\text{NO}_3)_2(\tau) = 2\text{MgO}(\tau) + 4\text{NO}_2(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г})$
3	$4\text{HCl}(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г}) = 2\text{H}_2\text{O}(\text{г}) + 2\text{Cl}_2(\text{г})$
4	$2\text{NaHCO}_3(\tau) = \text{Na}_2\text{CO}_3(\tau) + \text{H}_2\text{O}(\text{г}) + \text{CO}_2(\text{г})$
5	$\text{CaCO}_3(\tau) = \text{CaO}(\tau) + \text{CO}_2(\text{г})$
6	магнетит $\text{Fe}_3\text{O}_4(\tau) + \text{H}_2(\text{г}) = 3\text{FeO}(\tau) + \text{H}_2\text{O}(\text{г})$
7	$\text{Ca}(\text{OH})_2(\tau) + \text{CO}_2(\text{г}) = \text{CaCO}_3(\tau) + \text{H}_2\text{O}(\text{г})$
8	$2\text{CO}(\text{г}) + \text{SO}_2(\text{г}) = \text{S}(\tau) + 2\text{CO}_2(\text{г})$
9	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2(\tau) + 3\text{SiO}_2(\tau) + 5\text{C}(\tau) = 3\text{CaSiO}_3(\tau) + 2\text{P}(\text{белый})(\tau) + 5\text{CO}(\text{г})$
10	$2\text{NO}_2(\text{г}) + \text{O}_3(\text{г}) = \text{O}_2(\text{г}) + \text{N}_2\text{O}_5(\text{г})$
11	$\text{CH}_4(\text{г}) + 2\text{O}_2(\text{г}) = \text{CO}_2(\text{г}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{г})$
12	$2\text{AgNO}_3(\tau) = 2\text{Ag}(\tau) + 2\text{NO}_2(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г})$
13	$\text{H}_2(\text{г}) + \text{CO}_2(\text{г}) = \text{H}_2\text{O}(\text{г}) + \text{CO}(\text{г})$
14*	$\text{CO}_2(\text{г}) + 4\text{H}_2(\text{г}) = \text{CH}_4(\text{г}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{г})$
15	$\text{CO}(\text{г}) + 3\text{H}_2(\text{г}) = \text{CH}_4(\text{г}) + \text{H}_2\text{O}(\text{г})$

Номер задачи	Термохимическое уравнение реакции
16	$4\text{CO}(\text{г}) + 2\text{SO}_2(\text{г}) = \text{S}_2(\text{г}) + 4\text{CO}_2(\text{г})$
17	$\text{H}_2(\text{г}) + \text{HCOH}(\text{г}) = \text{CH}_3\text{OH}(\text{г})$
18	$\text{H}_2\text{S}(\text{г}) + \text{CO}_2(\text{г}) = \text{H}_2\text{O}(\text{г}) + \text{COS}(\text{г})$
19	$\text{H}_2\text{S}(\text{г}) + \text{COS}(\text{г}) = \text{H}_2\text{O}(\text{г}) + \text{CS}_2(\text{г})$
20	$2\text{H}_2\text{S}(\text{г}) + \text{CO}_2(\text{г}) = 2\text{H}_2\text{O}(\text{г}) + \text{CS}_2(\text{г})$
21	$4\text{H}_2\text{S}(\text{г}) + 2\text{SO}_2(\text{г}) = 3\text{S}_2(\text{г}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{г})$
22	$\text{CH}_4(\text{г}) + 2\text{H}_2\text{S}(\text{г}) = \text{CS}_2(\text{г}) + 4\text{H}_2(\text{г})$
23	$\text{CH}_3\text{OH}(\text{г}) + \text{CO}(\text{г}) = \text{CH}_3\text{COOH}(\text{г})$
24	$\text{FeO}(\tau) + \text{CO}(\text{г}) = \text{Fe}(\tau) + \text{CO}_2(\text{г})$
25	$2\text{C}_{10}\text{H}_8(\tau) = \text{C}_{14}\text{H}_{10}(\tau) (\text{фенантрен}) + \text{C}_6\text{H}_6(\text{г})$
26	$2\text{NaNO}_3(\tau) = 2\text{NaNO}_2(\tau) + \text{O}_2(\text{г})$
27*	$\text{C}_6\text{H}_6(\text{ж}) + 3\text{H}_2(\text{г}) = \text{C}_6\text{H}_{12}(\text{ж})$
28*	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{ж}) = \text{C}_2\text{H}_4(\text{г}) + \text{H}_2\text{O}(\text{ж})$
29*	$\text{CH}_4(\text{г}) + \text{CO}_2(\text{г}) = 2\text{CO}(\text{г}) + 2\text{H}_2(\text{г})$
30	$\text{PCl}_5(\text{г}) + \text{H}_2\text{O}(\text{г}) = \text{POCl}_3(\text{ж}) + 2\text{HCl}(\text{г})$

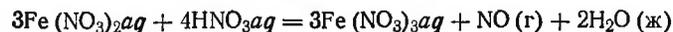
\* Тепловые эффекты вычислять по теплотам сгорания.

## § 6. РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ЭФФЕКТОВ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ В РАСТВОРАХ ПО СТАНДАРТНЫМ ТЕПЛОТАМ ОБРАЗОВАНИЯ ИОНОВ

При расчете тепловых эффектов химических реакций, протекающих в водных растворах, следует учитывать диссоциацию химических соединений. Для тех химических соединений, которые диссоциируют в растворе, в расчетах нужно брать стандартные теплоты образования соответствующих ионов, а для тех, которые не диссоциируют, — стандартные теплоты образования соединений. Стандартная теплота образования иона в водном растворе — это тепловой эффект образования гидратированного иона из простых веществ.

Тепловой эффект вычисляется также по уравнению (II,6). Ион гидроксония  $\text{H}_3\text{O}^+$  условились писать в термохимических уравнениях в виде  $\text{H}^+aq$ . Теплота образования иона  $\text{H}^+aq$  условно принята равной нулю.

**Пример 1.** Определить тепловой эффект реакции, протекающей в растворе при 25° С, если реагирующие вещества находятся в виде ионов:



$$\Delta H_f^{\text{Fe}^{2+}} = -87,9 \text{ кдж/г-ион}, \quad \Delta H_f^{\text{NO}_3^-} = -206,57 \text{ кдж/г-ион};$$