

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)**

Институт биологии и экологии

Кафедра химии

Рекомендации по самостоятельной работе студентов

По дисциплине «ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ»

для студентов ВлГУ, обучающихся по направлению 13.03.03
машиностроение

Энергетическое

Владимир 2016

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и контроля самостоятельной работы:

1. Основные классы органических соединений. Ациклические, карбоциклические и гетероциклические соединения. Функциональные группы.
2. Углеводороды. Классификация углеводородов. Геометрия углеродных связей и гибридизация.
3. Номенклатура органических соединений. Неразветвленные и разветвленные алканы.
4. Номенклатура органических соединений. Диены и алкины.
5. Первичные, вторичные, третичные и четвертичные атомы углерода.
6. Химическая термодинамика. Термодинамическая система. Состояние системы. Термодинамический процесс. Термодинамические параметры и термодинамические функции.
7. Первый закон термодинамики. Энтальпия термодинамической системы.
8. Термохимия. Термохимические уравнения. Энергетический профиль реакции.
9. Термохимия. Закон Гесса. Следствия из закона Гесса. Энтальпия образования и энтальпия сгорания вещества. Расчет тепловых эффектов химических реакций.
10. Зависимость тепловых эффектов от температуры. Теплоемкость. Температурные ряды. Закон Кирхгофа.
11. Самопроизвольные и несамопроизвольные процессы. Энтропия системы. Второй закон термодинамики. Изменение энтропии при различных обратимых процессах.
12. Самопроизвольные и несамопроизвольные процессы. Условия самопроизвольного протекания процессов. Свободная энергия Гельмгольца. Свободная энергия Гиббса. Расчет значений термодинамических функций для химических реакций при различных значениях термодинамических параметров.
13. Химическая кинетика. Скорость химической реакции. Мгновенная и средняя скорость. Методы определения.
14. Скорость химической реакции. Зависимость скорости реакции от природы реагирующих веществ: энергия активации химической реакции, ее связь с константой скорости химических реакций (уравнение Аррениуса).
15. Скорость химической реакции. Зависимость скорости реакции от температуры (уравнение Вант-Гоффа).
16. Скорость химической реакции. Зависимость скорости реакции от концентрации реагирующих веществ (кинетическое уравнение реакции).

17. Скорость химической реакции. Особенности кинетики гетерогенных реакций.
18. Химическая кинетика. Катализ. Суть катализа. Механизмы гомогенного и гетерогенного катализа.
19. Механизмы химических реакций. Радикальные цепные реакции.
20. Механизмы химических реакций. Горение.
21. Механизмы химических реакций. Взрыв: цепной и тепловой.
22. Механизмы химических реакций. Фотохимические процессы.
23. Алканы. Основные физические свойства. Их связь со строением молекул.
24. Промышленная переработка углеводородов. Первичная переработка нефти.
25. Промышленная переработка углеводородов. Вторичная переработка нефти. Крекинг и риформинг.
26. Алканы. Реакции горения и радикального замещения с их участием.
27. Алкены. Реакции присоединения с их участием.
28. Алкены. Механизмы реакций с участием алкенов. Разрыв связей. Электрофилы и нуклеофилы.
29. Алкены. Механизм электрофильного присоединения с участием алкенов (кислотно-катализируемое присоединение воды).
30. Алкены. Механизм радикального присоединения. Радикальная полимеризация.
31. Алкены. Миграция двойной связи. Изомеризация алкенов.
32. Алкины. Горение, присоединение водорода, галогенов и галогенводородов, реакции димеризации.
33. Циклические соединения. Насыщенные циклы. Методы получения и химические свойства.
34. Циклические соединения. Ненаасыщенные циклы. Методы получения и химические свойства.
35. Ароматические углеводороды. Бензол. Возможность идентификации ароматических соединений методами ИК-, ЯМР- спектроскопии и спектроскопии в УФ- области.
36. Ароматические углеводороды. Бензол. Методы получения и химические свойства.
37. Нефтепродукты. Бензин. Давление насыщенных паров. Оптимизация состава бензина в соответствии с этим показателем.
38. Нефтепродукты. Бензин. Октановое число. Оптимизация состава бензина в соответствии с этим показателем.

В процессе самостоятельной работы студенты должны изучить следующую литературу:

Основная литература:

1. Юровская М.А., Куркин А.В. Основы органической химии. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014, 236 с.
2. Артеменко А.И. Органическая химия для нехимических направлений подготовки. М.: ЛАНЬ, 2013, 608 с.
3. Еремин В.В., Каргов С.И., Успенская И.А. Основы физической химии. Теория: в 2 частях. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013, 590 с.
4. Афанасьев Б.Н., Акулова Ю.П. Физическая химия. М.: ЛАНЬ, 2012, 416с.
5. Дияров И.Н., Хамидуллин Р.Ф., Солодова Н.Л. Химия нефти: руководство к практическим и лабораторным занятиям. Казань: КНИТУ, 2013, 464 с.

Дополнительная литература:

1. Солодова Н.Л., Халинова Д.А. Химическая технология переработки нефти и газа. Казань: КНИТУ, 2012, 450 с.
2. Попова А.А., Попова Т.Б.. Физическая химия: учебное пособие. М.: ЛАНЬ, 2015, 126 с.
3. Батраков В.В., Савиткин Н.И., Авдеев Я.Г. Физическая химия. Сборник вопросов и задач. М.: ФЕНИКС, 2014, 192с.
4. Смирнова Н.Н., Дорофеева И.Б. Лабораторный практикум по дисциплине «Химическая и экологическая экспертиза» в 2 ч., ч. 1. Владимир: ВлГУ, 2007, 54 с.
5. Амелин В.Г. Спектроскопические методы анализа: практикум. Владимир: ВлГУ, 2008, 48 с.
6. Вержичинская С.В., Дигуров Н.Г., Синицин С.А. Химия и технология нефти и газа: учебное пособие. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007, 400с.
7. Хаускрофт К., Констебл Э. Современный курс общей химии в 2-х т. М.: Мир, 2009.
8. Краткий справочник физико-химических величин / Под ред. А.А.Равделя, А.М. Пономаревой. СПб.: Химия, 2002, 238 с.
9. Еремин В.В., Каргов С.И., Успенская И.А., Кузьменко Н.Е., Лунин В.В. Основы физической химии. М.: Экзамен, 2003, 480 с.

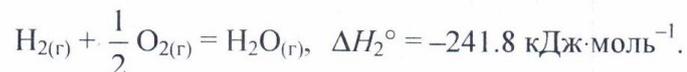
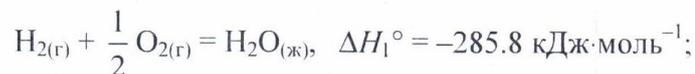
Программное обеспечение и Интернет-ресурсы.

1. <http://www.scirus.com/>
2. <http://www.ihtik.lib.ru/>
3. <http://www.y10k.ru/books/>
4. <http://www.iupac.org/>
5. <http://194.67.119.21:89/GetContentForm.asp>
6. <http://www.abc.chemistry.bsu.by/current/fulltext.htm>
7. <http://www.anchem.ru/literature/>
8. <http://www.sciencedirect.com>
9. <http://chemteq.ru/lib/book>
10. <http://www.chem.msu.su/rus>
11. <http://djvu-inf.narod.ru/nclib.htm>
12. <http://www.elsevier.com/>
13. <http://www.uspkhim.ru/>
14. <http://www.strf.ru/database.aspx>

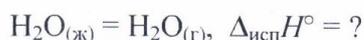
ПРИМЕРЫ

Пример 3-1. Стандартные энтальпии образования жидкой и газообразной воды при 298 К равны -285.8 и -241.8 кДж·моль $^{-1}$ соответственно. Рассчитайте энтальпию испарения воды при этой температуре.

Решение. Энтальпии образования соответствуют следующим реакциям:



Вторую реакцию можно провести в две стадии: сначала сжечь водород с образованием жидкой воды по первой реакции, а затем испарить воду:



Тогда, согласно закону Гесса,

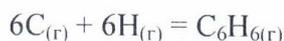
$$\Delta H_1^\circ + \Delta_{\text{исп}}H^\circ = \Delta H_2^\circ,$$

откуда

$$\Delta_{\text{исп}}H^\circ = -241.8 - (-285.8) = 44.0 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$$

Ответ. 44.0 кДж·моль $^{-1}$.

Пример 3-2. Рассчитайте энтальпию реакции



- а) по энтальпиям образования;
 б) по энергиям связи, в предположении, что двойные связи в молекуле C_6H_6 фиксированы.

Решение. а) Энтальпии образования (в кДж·моль $^{-1}$) находим в Приложении (табл. П-5, П-6):

$$\Delta_f H^\circ(\text{C}_6\text{H}_{6(\text{г})}) = 82.93, \quad \Delta_f H^\circ(\text{C}_{(\text{г})}) = 716.68, \quad \Delta_f H^\circ(\text{H}_{(\text{г})}) = 217.97.$$

Энтальпия реакции равна:

$$\Delta_r H^\circ = 82.93 - 6 \cdot 716.68 - 6 \cdot 217.97 = -5525 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}.$$

б) В данной реакции химические связи не разрываются, а только образуются. В приближении фиксированных двойных связей молекула C_6H_6 содержит 6 связей С–Н, 3 связи С–С и 3 связи С=C. Энергии связей (в кДж·моль $^{-1}$) (Приложение, табл. П-4):

$$E(\text{C}–\text{H}) = 412, \quad E(\text{C}–\text{C}) = 348, \quad E(\text{C}=\text{C}) = 612.$$

Энтальпия реакции равна:

$$\Delta_r H^\circ = -(6 \cdot 412 + 3 \cdot 348 + 3 \cdot 612) = -5352 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}.$$

Разница с точным результатом $-5525 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$ обусловлена тем, что в молекуле бензола нет одинарных связей С–С и двойных связей С=С, а есть 6 ароматических связей С÷С.

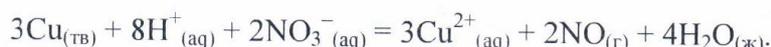
Ответ. а) $-5525 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$; б) $-5352 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$.

Пример 3-3. Пользуясь справочными данными, рассчитайте энтальпию реакции



при 298 К.

Решение. Сокращенное ионное уравнение реакции имеет вид:



По закону Гесса, энтальпия реакции равна:

$$\Delta_r H^\circ = 4 \cdot \Delta_f H^\circ(\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}) + 2 \cdot \Delta_f H^\circ(\text{NO}_{(\text{г})}) + 3 \cdot \Delta_f H^\circ(\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}) - 2 \cdot \Delta_f H^\circ(\text{NO}_3^-_{(\text{aq})})$$

(энтальпии образования меди и иона H^+ равны, по определению, 0). Подставляя значения энтальпий образования (Приложение, табл. П-5), находим:

$$\Delta_r H^\circ = 4 \cdot (-285.8) + 2 \cdot 90.25 + 3 \cdot 64.77 - 2 \cdot (-205.0) = -358.4 \text{ кДж}$$

(в расчете на три моля меди).

Ответ. -358.4 кДж .

Пример 3-4. Рассчитайте энтальпию сгорания метана при 1000 К, если даны энтальпии образования при 298 К:

$$\Delta_f H^\circ(\text{CH}_4) = -17.9 \text{ ккал}\cdot\text{моль}^{-1},$$

$$\Delta_f H^\circ(\text{CO}_2) = -94.1 \text{ ккал}\cdot\text{моль}^{-1},$$

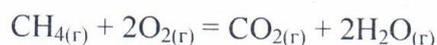
$$\Delta_f H^\circ(\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}) = -57.8 \text{ ккал}\cdot\text{моль}^{-1}.$$

Теплоемкости газов (в $\text{кал}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$) в интервале от 298 до 1000 К равны:

$$C_p(\text{CH}_4) = 3.422 + 0.0178 \cdot T, \quad C_p(\text{O}_2) = 6.095 + 0.0033 \cdot T,$$

$$C_p(\text{CO}_2) = 6.396 + 0.0102 \cdot T, \quad C_p(\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}) = 7.188 + 0.0024 \cdot T.$$

Решение. Энтальпия реакции сгорания метана



при 298 К равна:

$$\Delta_r H^\circ_{298} = -94.1 + 2 \cdot (-57.8) - (-17.9) = -191.8 \text{ ккал}\cdot\text{моль}^{-1}.$$

Найдем разность теплоемкостей как функцию температуры:

$$\begin{aligned} \Delta C_p &= C_p(\text{CO}_2) + 2C_p(\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}) - C_p(\text{CH}_4) - 2C_p(\text{O}_2) = \\ &= 5.16 - 0.0094T \text{ (кал}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}). \end{aligned}$$

Энтальпию реакции при 1000 К рассчитаем по уравнению Кирхгофа:

$$\Delta_r H_{1000}^\circ = \Delta_r H_{298}^\circ + \int_{298}^{1000} (5.16 - 0.0094 \cdot T) dT =$$

$$= -191800 + 5.16 \cdot (1000 - 298) - 0.0094 \cdot (1000^2 - 298^2) / 2 = -192500 \text{ кал} \cdot \text{моль}^{-1}.$$

Ответ. $-192.5 \text{ ккал} \cdot \text{моль}^{-1}$.

Пример 3-5. Используя инкрементную схему, рассчитайте значение изобарной теплоемкости изобутилацетата при 293 К.

Решение. Исходя из структурных данных и величин атомно-групповых вкладов, приведенных в табл. 3.2:

$$C_p = 3C_p(-\text{CH}_3) + C_p(-\text{COO}^-) + C_p(-\text{CH}_2-) + C_p(-\text{C}\overset{\cdot}{\text{H}}=) =$$

$$= 3 \cdot 41.32 + 60.75 + 26.45 + 22.69 = 233.85 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}.$$

Опытное значение $222.88 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$, т.е. ошибка не превышает 5%.

Ответ. $233.85 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$.

ЗАДАЧИ

3-1. Сколько тепла потребуется на перевод 500 г Al (т.пл. 658°C , $\Delta_{\text{пл}}H^\circ = 92.4 \text{ кал} \cdot \text{г}^{-1}$), взятого при 25°C , в расплавленное состояние, если $C_p(\text{Al}_{(\text{тв})}) = 0.183 + 1.096 \cdot 10^{-4} T \text{ кал} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$?

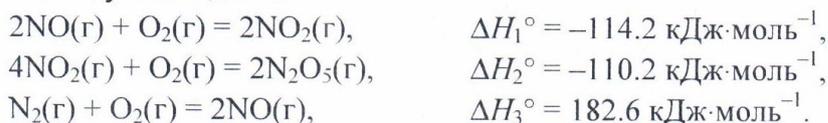
3-2. Стандартная энтальпия реакции



протекающей в открытом сосуде при температуре 1000 К, равна $169 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$. Чему равна теплота этой реакции, протекающей при той же температуре, но в закрытом сосуде?

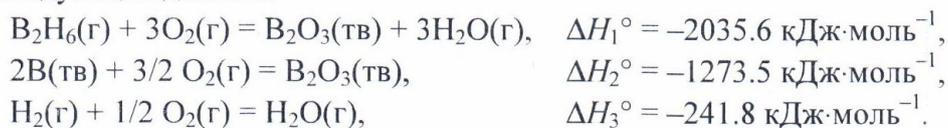
3-3. Рассчитайте стандартную внутреннюю энергию образования жидкого бензола при 298 К, если стандартная энтальпия его образования равна $49.0 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$.

3-4. Рассчитайте энтальпию образования $\text{N}_2\text{O}_5(\text{г})$ при $T = 298 \text{ К}$ на основании следующих данных:

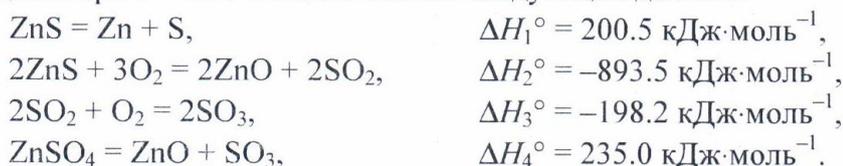


3-5. Энтальпии сгорания α -глюкозы, β -фруктозы и сахарозы при 25°C равны -2802 , -2810 и $-5644 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$ соответственно. Рассчитайте энтальпию гидролиза сахарозы.

3-6. Определите энтальпию образования диборана $B_2H_6(g)$ при $T = 298\text{ K}$ из следующих данных:



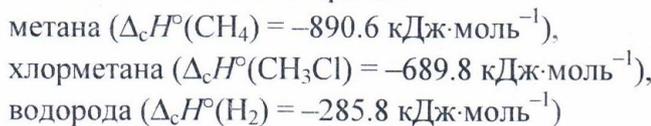
3-7. Рассчитайте энтальпию образования сульфата цинка из простых веществ при $T = 298\text{ K}$ на основании следующих данных:



3-8. Найдите $\Delta_f H^\circ_{298}$ для реакции



если известны теплоты сгорания:

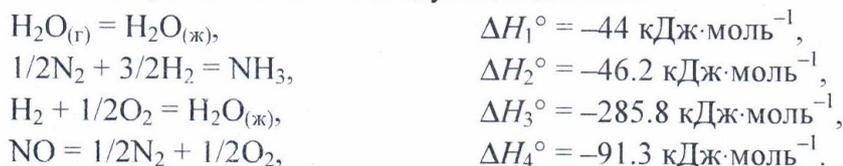


и теплота образования HCl ($\Delta_f H^\circ(HCl) = -92.3 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$).

3-9. Рассчитайте тепловой эффект реакции



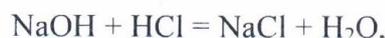
при $T = 298\text{ K}$, если известны следующие данные:



3-10. При взаимодействии 10 г металлического натрия с водой $\Delta_r H_{298} = -79.91 \text{ кДж}$, а при взаимодействии 20 г оксида натрия с водой $\Delta_r H_{298} = -76.76 \text{ кДж}$. Вода берется в большом избытке. Рассчитайте теплоту образования оксида натрия $\Delta_f H^\circ_{298}(Na_2O)$, если $\Delta_f H^\circ_{298}(H_2O_{(ж)}) = -285.8 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$.

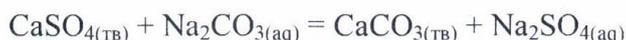
3-11. Энергия связи в молекуле H_2 равна $432.1 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$, а энергия связи в молекуле N_2 равна $945.3 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$. Какова энтальпия атомизации аммиака, если энтальпия образования аммиака равна $-46.2 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$?

3-12. Рассчитайте стандартный тепловой эффект реакции нейтрализации



протекающей в водном растворе при 298 K .

3-13. Рассчитайте стандартный тепловой эффект реакции



при 298 К, если $\Delta_f H_{298}^\circ (\text{CaSO}_{4(\text{тв})}) = -1434 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$.

3-14. Напишите уравнение Кирхгофа для реакции, протекающей при постоянном объеме.

3-15. Зависимость теплового эффекта реакции



от температуры выражается уравнением:

$$\Delta_r H_T^\circ (\text{Дж}) = -684.7 \cdot 10^3 + 36.77T - 38.56 \cdot 10^{-3} T^2 + \\ + 8.21 \cdot 10^{-6} T^3 + 2.88 \cdot 10^5 / T.$$

Рассчитайте изменение теплоемкости ΔC_p для этой реакции при 500 К.

3-16. Стандартная энтальпия образования $\text{Al}_2\text{O}_{3(\text{тв})}$ при 298 К равна $-1675 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$. Рассчитайте стандартную энтальпию образования $\text{Al}_2\text{O}_{3(\text{тв})}$ при 800 К, если даны молярные теплоемкости (в $\text{Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$):

$$C_p(\text{Al}) = 20.67 + 12.39 \cdot 10^{-3} T,$$

$$C_p(\text{O}_2) = 31.46 + 3.39 \cdot 10^{-3} T - 3.77 \cdot 10^5 T^{-2},$$

$$C_p(\text{Al}_2\text{O}_3) = 114.56 + 12.89 \cdot 10^{-3} T - 34.31 \cdot 10^5 T^{-2}.$$

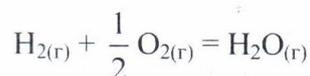
3-17. Энтальпия диссоциации карбоната кальция при 900 °С и давлении 1 атм равна $178 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$. Выведите уравнение зависимости энтальпии реакции от температуры и рассчитайте количество теплоты, поглощенное при разложении 1 кг карбоната кальция при 1000 °С и 1 атм, если даны молярные теплоемкости (в $\text{Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$):

$$C_p(\text{CaCO}_{3(\text{тв})}) = 104.5 + 21.92 \cdot 10^{-3} T - 25.94 \cdot 10^5 T^{-2},$$

$$C_p(\text{CaO}_{(\text{тв})}) = 49.63 + 4.52 \cdot 10^{-3} T - 6.95 \cdot 10^5 T^{-2},$$

$$C_p(\text{CO}_{2(\text{г})}) = 44.14 + 9.04 \cdot 10^{-3} T - 8.53 \cdot 10^5 T^{-2}.$$

3-18. Зависимость теплового эффекта реакции

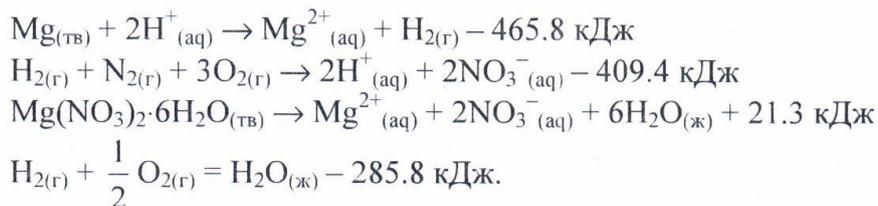


от температуры выражается уравнением:

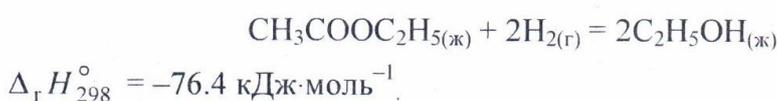
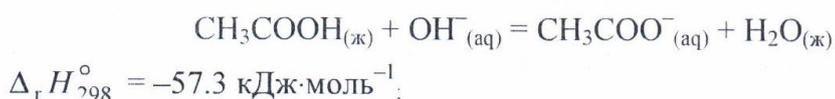
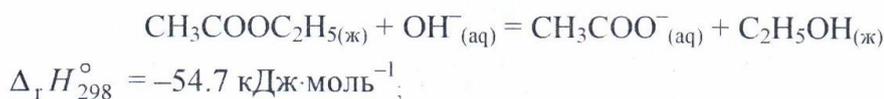
$$\Delta_r H_T^\circ (\text{Дж}\cdot\text{моль}^{-1}) = -237.65 \cdot 10^3 - 13.01T + 2.88 \cdot 10^{-3} T^2 - 1.71 \cdot 10^5 / T.$$

Рассчитайте изменение теплоемкости ΔC_p и ΔC_V для этой реакции при 800 К.

3-19. Рассчитайте тепловой эффект образования гексагидрата нитрата магния $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}_{(\text{тв})}$, если известны следующие данные:



3-20. Известны тепловые эффекты следующих реакций:

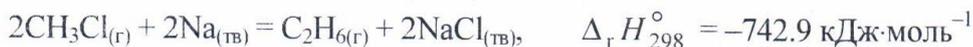
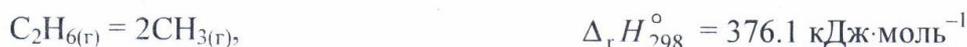


Рассчитайте тепловой эффект реакции:



если энтальпия образования жидкой воды равна $-285.8 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$.

3-21. Известны тепловые эффекты следующих реакций:

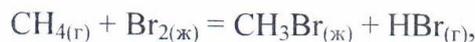


Рассчитайте энергию связи в молекуле Cl_2 , если энтальпия образования хлорида натрия равна $-411.1 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$.

3-22. Известны тепловые эффекты следующих реакций:



Рассчитайте энтальпию реакции



если энергия связи в молекуле HBr равна $366.3 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$.

3-23. Известны тепловые эффекты следующих реакций:



Рассчитайте энтальпию разложения молекулы бензола на атомы в газовой фазе, если энергия связи в молекуле H_2 равна $436.0 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$, а энтальпия испарения графита составляет $716.7 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$.

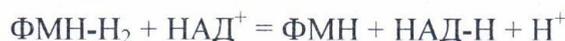
3-24. Стандартная энтальпия образования метиламина при 25°C равна $-23.0 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$. Рассчитайте стандартную энтальпию образования метиламина при 150°C , если известны теплоемкости:

Вещество	$C_{\text{(графит)}}$	$H_{2(\text{r})}$	$N_{2(\text{r})}$	$CH_5N_{(\text{r})}$
$C_p, \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$	8.53	28.82	29.13	53.10

3-25. Стандартная энтальпия образования формальдегида при 25°C равна $-108.6 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$. Рассчитайте стандартную энтальпию образования формальдегида при 150°C , если известны теплоемкости:

Вещество	$C_{\text{(графит)}}$	$H_{2(\text{r})}$	$O_{2(\text{r})}$	$CH_2O_{(\text{r})}$
$C_p, \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$	8.53	28.82	29.36	35.40

3-26. Используя значения энтальпий некоторых окислительно-восстановительных реакций с участием природных кофакторов ($T = 298 \text{ K}$, фосфатный буфер, $\text{pH} = 8$), рассчитайте энтальпии реакций никотинамидадениндинуклеотида (НАД^+) с различными восстановленными формами флавинмононуклеотида:



Реакция	$\Delta_r H^\circ, \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$
$\text{НАД}^+ + \text{H}_2 = \text{НАД}\cdot\text{H} + \text{H}^+$	-27.9
$2\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} + \text{ФМН}\cdot\text{H}_2 = 2\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-} + \text{ФМН} + 2\text{H}^+$	-164.0
$\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} + \text{ФМН}\cdot\text{H}_2 = \text{Fe}(\text{CN})_6^{4-} + 1/2(\text{ФМН}\cdot\text{H})_2 + \text{H}^+$	-98.7
$\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} + 1/2\text{H}_2 = \text{Fe}(\text{CN})_6^{4-} + \text{H}^+$	-110.9

3-27. Используя данные таблицы, рассчитайте энтальпии реакций превращения α, β -D-маннозы в α, β -D-фруктозу и α -лактозы в β -мальтозу (водный раствор, 298.15 K).

Реакция	$\Delta_r H^\circ, \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$
α, β -D-глюкоза = α, β -D-манноза	9.3
α, β -D-глюкоза = α, β -D-фруктоза	9.3
α -мальтоза = β -мальтоза	-0.5
α -лактоза = α -мальтоза	-5.9

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение I

ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Величина	Единица измерения в СИ	Связь с другими единицами
Масса	килограмм (кг)	$1 \text{ кг} = 10^3 \text{ г} = 10^6 \text{ мг}$
Длина	метр (м)	$1 \text{ м} = 10^2 \text{ см} = 10^9 \text{ нм} = 10^{10} \text{ \AA}$
Площадь	метр ² (м ²)	$1 \text{ м}^2 = 10^4 \text{ см}^2$
Объем	метр ³ (м ³)	$1 \text{ м}^3 = 10^3 \text{ л} = 10^6 \text{ см}^3$
Давление	паскаль (Па)	$1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па} = 0.987 \text{ атм} = 750 \text{ Торр}$ $1 \text{ атм} = 101325 \text{ Па (точно)} = 760 \text{ Торр}$ $1 \text{ Торр} = 1 \text{ мм рт. ст.} = 133.32 \text{ Па}$
Энергия	джоуль (Дж)	$1 \text{ Дж} = 0.2390 \text{ кал} = 10^{-3} \text{ кДж}$ $1 \text{ кал} = 4.184 \text{ Дж (точно)}$ <i>Спектроскопические единицы:</i> $1 \text{ эВ} = 8065.5 \text{ см}^{-1} = 1.6022 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} =$ $= 96485 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} = 23060 \text{ кал} \cdot \text{моль}^{-1}$ $1 \text{ см}^{-1} = 1.2398 \cdot 10^{-4} \text{ эВ} = 1.9864 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} =$ $= 11.963 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} = 2.8591 \text{ кал} \cdot \text{моль}^{-1}$

Приложение II

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ПОСТОЯННЫЕ

Величина	Символ	Значение	Размерность
Скорость света в вакууме	c	299 792 458 (точно)	$\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$
Постоянная Планка	h	$6.626\ 075 \cdot 10^{-34}$	$\text{Дж} \cdot \text{с}$
Элементарный заряд	e	$1.602\ 177 \cdot 10^{-19}$	Кл
Постоянная Авогадро	N_A	$6.022\ 137 \cdot 10^{23}$	моль^{-1}
Постоянная Больцмана	k	$1.380\ 658 \cdot 10^{-23}$	$\text{Дж} \cdot \text{К}^{-1}$
Газовая постоянная	R	8.314 510 1.987 216 0.082 058	$\text{Дж} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$ $\text{кал} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ $\text{л} \cdot \text{атм} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$
Постоянная Фарадея	F	96 485.31	$\text{Кл} \cdot \text{моль}^{-1}$
Стандартное ускорение свободного падения	g	9.806 65 (точно)	$\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$

Приложение III

ТАБЛИЦЫ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Постоянные Ван-дер-Ваальса

Таблица П-1

Газ	a , л ² ·бар·моль ⁻²	b , см ³ ·моль ⁻¹	Газ	a , л ² ·бар·моль ⁻²	b , см ³ ·моль ⁻¹
He	0.03457	23.70	NO	1.358	27.89
Ne	0.2135	17.09	NO ₂	5.354	44.24
Ar	1.363	32.19	H ₂ O	5.536	30.49
Kr	2.349	39.78	H ₂ S	4.490	42.87
Xe	4.250	51.05	NH ₃	4.225	37.07
H ₂	0.2476	26.61	SO ₂	6.803	56.36
N ₂	1.408	39.13	CH ₄	2.283	42.78
O ₂	1.378	31.83	C ₂ H ₄	4.530	5.714
Cl ₂	6.579	56.22	C ₂ H ₆	5.562	63.80
CO	1.505	39.85	C ₃ H ₈	8.779	84.45
CO ₂	3.640	42.67	C ₆ H ₆	18.24	115.4

Критические константы и температуры Бойля

Таблица П-2

Газ	T_c , К	p_c , бар	V_c , мл·моль ⁻¹	Z_c	T_B , К	T_B/T_c
He	5.21	2.27	57.76	0.305	22.64	4.35
Ne	44.44	26.9	41.74	0.307	122.1	2.75
Ar	150.72	48.0	75.25	0.292	411.5	2.73
Kr	209.4	54.3	92.24	0.291	575.0	2.75
Xe	289.75	58.0	118.8	0.290	768.0	2.65
H ₂	33.3	13.0	65.0	0.306	110.0	3.30
N ₂	126.1	34.0	89.5	0.292	327.2	2.60
O ₂	154.4	50.5	73.4	0.292	405.9	2.63
CO ₂	304.2	73.8	94.0	0.274	714.8	2.35
CH ₄	190.7	46.0	99.0	0.287	510.0	2.67
C ₂ H ₄	282.4	50.4	129.0	0.277	624	2.21

Вторые вириальные коэффициенты B_2 , см³·моль⁻¹

Таблица П-3

	100 К	273 К	373 К	600 К
Воздух	-167.3	-13.5	3.4	19.0
Ar	-187.0	-21.7	-4.2	11.9
CH ₄		-53.6	-21.2	8.1
CO ₂		-142	-72.2	-12.4
H ₂	-2.0	13.7	15.6	
He	11.4	12.0	11.3	10.4
Kr		-62.9	-28.7	1.7
N ₂	-160.0	-10.5	6.2	21.7
Ne	-6.0	10.4	12.3	13.8
O ₂	-197.5	-22.0	-3.7	12.9
Xe		-153.7	-81.7	-19.6

Таблица П-4

Средние энергии связей, кДж·моль⁻¹

	H	C	N	O	F	Cl	Br	I	S	P	Si
H	436										
C	412	348 (i) 612 (ii) 838 (iii) 518 (a)									
N	388	305 (i) 613 (ii) 890 (iii)	163 (i) 409 (ii) 946 (iii)								
O	463	360 (i) 743 (ii)	157	146 (i) 497 (ii)							
F	565	484	270	185	155						
Cl	431	338	200	203	254	242					
Br	366	276				219	193				
I	299	238				210	178	151			
S	338	259			496	250	212		264		
P	322									201	
Si	318		374	466							226

(i) Одинарная связь, (ii) двойная связь, (iii) тройная связь, (a) ароматическая связь.

Таблица П-5

Термодинамические свойства химических элементов и неорганических соединений при 298.15 К и 1 бар

	$\Delta_f H^\circ$, кДж·моль ⁻¹	$\Delta_f G^\circ$, кДж·моль ⁻¹	S° , Дж·К ⁻¹ ·моль ⁻¹	C_p , Дж·К ⁻¹ ·моль ⁻¹
Ag (s)	0	0	42.55	25.351
Ag ⁺ (aq)	+105.58	+77.11	72.68	21.8
Al (s)	0	0	28.33	24.35
Al ³⁺ (aq)	-531	-485	-321.7	
Ba (s)	0	0	62.8	28.07
Ba ²⁺ (aq)	-537.64	-560.77	9.6	
Br ₂ (l)	0	0	152.23	75.689
Br ₂ (g)	+30.907	+3.110	245.46	36.02
Br ⁻ (aq)	-121.55	-103.96	82.4	-141.8
HBr (g)	-36.40	-53.45	198.70	29.142
C (s, графит)	0	0	5.740	8.527
C (s, алмаз)	+1.895	+2.900	2.377	6.113
C (g)	+716.68	+671.26	158.10	20.838
CO (g)	-110.53	-137.17	197.67	29.14
CO ₂ (g)	-393.51	-394.36	213.74	37.11
HCO ₃ ⁻ (aq)	-691.99	-586.77	91.2	
CO ₃ ²⁻ (aq)	-677.14	-527.81	-56.9	
Ca (s)	0	0	41.42	25.31
Ca ²⁺ (aq)	-542.83	-553.58	-53.1	

	$\Delta_f H^\circ,$ кДж·моль ⁻¹	$\Delta_f G^\circ,$ кДж·моль ⁻¹	$S^\circ,$ Дж·К ⁻¹ ·моль ⁻¹	$C_p^\circ,$ Дж·К ⁻¹ ·моль ⁻¹
CaO (s)	-635.09	-604.03	39.75	42.80
CaCO ₃ (s, кальцит)	-1206.9	-1128.8	92.9	81.88
CaCO ₃ (s, арагонит)	-1207.1	-1127.8	88.7	81.25
Cl ₂ (g)	0	0	223.07	33.91
Cl (g)	+121.68	+105.68	165.20	21.84
Cl ⁻ (aq)	-167.16	-131.23	56.5	-136.4
HCl (g)	-92.31	-95.30	186.91	29.12
Cu (s)	0	0	33.150	24.44
Cu ⁺ (aq)	+71.67	+49.98	40.6	
Cu ²⁺ (aq)	+64.77	+65.49	-99.6	
F ₂ (g)	0	0	202.78	31.30
F (g)	+78.99	+61.91	158.75	22.74
F ⁻ (aq)	-332.63	-278.79	-13.8	-106.7
HF (g)	-271.1	-273.2	173.78	29.13
Fe (s)	0	0	27.28	25.10
Fe ²⁺ (aq)	-89.1	-78.90	-137.7	
Fe ³⁺ (aq)	-48.5	-4.7	-315.9	
Fe ₃ O ₄ (s, магнетит)	-1118.4	-1015.4	146.4	143.43
Fe ₂ O ₃ (s, гематит)	-824.2	-742.2	87.40	103.85
H ₂ (g)	0	0	130.684	28.824
H (g)	+217.97	+203.25	114.71	20.784
H ⁺ (aq)	0	0	0	0
H ₂ O (l)	-285.83	-237.13	69.91	75.291
H ₂ O (g)	-241.82	-228.57	188.83	33.58
Hg (l)	0	0	76.02	27.983
Hg ²⁺ (aq)	+171.1	+164.40	-32.2	
Hg ₂ ²⁺ (aq)	+172.4	+153.52	84.5	
I ₂ (s)	0	0	116.135	54.44
I ₂ (g)	+62.44	+19.33	260.69	36.90
I (g)	+106.84	+70.25	180.79	20.786
I ⁻ (aq)	-55.19	-51.57	111.3	-142.3
HI (g)	+26.48	+1.70	206.59	29.158
K (s)	0	0	64.18	29.58
K ⁺ (aq)	-252.38	-283.27	102.5	21.8
KOH (s)	-424.76	-379.08	78.9	64.9
Mg (s)	0	0	32.68	24.89
Mg ²⁺ (aq)	-466.85	-454.8	-138.1	
MgO (s)	-601.70	-569.43	26.94	37.15
MgCO ₃ (s)	-1095.8	-1012.1	65.7	75.52
N ₂ (g)	0	0	191.61	29.125
N (g)	+472.70	+455.56	153.30	20.786
NO (g)	+90.25	+86.55	210.76	29.844
NO ₂ (g)	+33.18	+51.31	240.06	37.20
N ₂ O ₅ (s)	-43.1	+113.9	178.2	143.1
HNO ₃ (l)	-174.10	-80.71	155.60	109.87

	$\Delta_f H^\circ$, кДж·моль ⁻¹	$\Delta_f G^\circ$, кДж·моль ⁻¹	S° , Дж·К ⁻¹ ·моль ⁻¹	C_p , Дж·К ⁻¹ ·моль ⁻¹
NO ₃ ⁻ (aq)	-205.0	-108.74	146.4	-86.6
NH ₃ (g)	-46.11	-16.45	192.45	35.06
NH ₄ ⁺ (aq)	-132.51	-79.31	113.4	79.9
Na (s)	0	0	51.21	28.24
Na ⁺ (aq)	-240.12	-261.91	59.0	46.4
NaOH (s)	-425.61	-379.49	64.46	59.54
O ₂ (g)	0	0	205.138	29.355
O ₃ (g)	+142.7	+163.2	238.93	39.20
O (g)	+249.17	+231.73	161.06	21.912
OH ⁻ (aq)	-229.99	-157.24	-10.75	-148.5
P (s, белый)	0	0	41.09	23.840
PH ₃ (g)	+5.4	+13.4	210.23	37.11
H ₃ PO ₄ (s)	-1279.0	-1119.1	110.50	106.06
PO ₄ ³⁻ (aq)	-1277.4	-1018.7	-222	
P ₄ O ₁₀ (s)	-2984.0	-2697.0	228.86	211.71
S (s, ромбич.)	0	0	31.80	22.64
S (s, моноклин.)	+0.33	+0.1	32.6	23.6
S ²⁻ (aq)	+33.1	+85.8	-14.6	
SO ₂ (g)	-296.83	-300.19	248.22	39.87
SO ₃ (g)	-395.72	-371.06	256.76	50.67
H ₂ SO ₄ (l)	-813.99	-690.00	156.90	138.9
SO ₄ ²⁻ (aq)	-909.27	-744.53	20.1	-293
HSO ₄ ⁻ (aq)	-887.34	-755.91	131.8	-84
H ₂ S (g)	-20.63	-33.56	205.79	34.23
HS ⁻ (aq)	-17.6	+12.08	62.08	
Zn (s)	0	0	41.63	25.40
Zn ²⁺ (aq)	-153.89	-147.06	-112.1	46
ZnO(s)	-348.28	-318.30	43.64	40.25

Таблица П-6

**Термодинамические свойства органических соединений
при 298.15 К и 1 бар**

	$\Delta_f H^\circ$, кДж·моль ⁻¹	$\Delta_f G^\circ$, кДж·моль ⁻¹	S° , Дж·К ⁻¹ ·моль ⁻¹	C_p , Дж·К ⁻¹ ·моль ⁻¹
Углеводороды				
CH ₄ (g)	-74.81	-50.72	186.26	35.31
C ₂ H ₂ (g)	+226.73	+209.20	200.94	43.93
C ₂ H ₄ (g)	+52.26	+68.15	219.56	43.56
C ₂ H ₆ (g)	-84.68	-32.82	229.60	52.63
C ₃ H ₆ (g), пропен	+20.42	+62.78	267.05	63.89
C ₃ H ₆ (g), циклопропан	+53.30	+104.45	237.55	55.94
C ₃ H ₈ (g), пропан	-103.85	-23.49	269.91	73.5
C ₄ H ₈ (g), 1-бутен	-0.13	+71.39	305.71	85.65

	$\Delta_f H^\circ$, кДж·моль ⁻¹	$\Delta_f G^\circ$, кДж·моль ⁻¹	S° , Дж·К ⁻¹ ·моль ⁻¹	C_p , Дж·К ⁻¹ ·моль ⁻¹
C ₄ H ₈ (g), <i>цис</i> -2-бутен	-6.99	+65.95	300.94	78.91
C ₄ H ₈ (g), <i>транс</i> -2-бутен	-11.17	+63.06	296.59	87.82
C ₄ H ₁₀ (g), бутан	-126.15	-17.03	310.23	97.45
C ₅ H ₁₂ (g), пентан	-146.44	-8.20	348.40	120.2
C ₆ H ₆ (g)	+82.93	+129.72	269.31	81.67
C ₆ H ₆ (l)	+49.0	+124.3	173.3	136.1
C ₆ H ₁₂ (g), циклогексан	-123.14	+31.91	298.35	106.27
C ₆ H ₁₄ (g), гексан	-167.19	-0.07	388.51	143.09
C ₆ H ₅ CH ₃ (g), толуол	+50.0	+122.10	320.77	103.64
C ₈ H ₈ (g), стирол	+147.22	+213.89	345.21	122.09
C ₈ H ₁₀ (g), этилбензол	-29.79	+130.70	360.56	128.41
C ₈ H ₁₈ (g), октан	-208.45	+16.64	466.84	188.87
C ₁₀ H ₈ (s), нафталин	+78.53			
Спирты и фенолы				
CH ₃ OH (l)	-238.66	-166.27	126.8	81.6
CH ₃ OH (g)	-200.66	-161.96	239.81	43.89
C ₂ H ₅ OH (l)	-277.69	-174.78	160.7	111.46
C ₂ H ₅ OH (g)	-235.10	-168.49	282.70	65.44
C ₆ H ₅ OH (s)	-164.85	-50.21	144.01	134.70
Карбоновые кислоты				
HCOOH (l)	-424.72	-361.35	128.95	99.04
CH ₃ COOH (l)	-484.5	-389.9	159.8	124.3
CH ₃ CO ₂ ⁻ (aq)	-486.01	-369.31	86.6	-6.3
C ₆ H ₅ COOH (s)	-385.1	-245.3	167.6	146.8
Альдегиды и кетоны				
HCHO (g)	-115.90	-109.94	218.77	35.40
CH ₃ CHO (g)	-166.19	-128.86	250.3	57.3
CH ₃ COCH ₃ (g)	-217.57	-153.05	294.93	74.90
Углеводы				
C ₆ H ₁₂ O ₆ (s), α-D-глюкоза	-1274.45	-910.56	212.13	218.87
C ₆ H ₁₂ O ₆ (s), β-D-глюкоза	-1268.05	-908.89	228.03	
C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ (s), сахароза	-2222.12	-1544.70	360.24	425.00
Азотсодержащие соединения				
CO(NH ₂) ₂ (s), мочеви́на	-333.51	-197.33	104.60	93.14
CH ₃ NH ₂ (g)	-22.97	+32.16	243.41	53.1
C ₆ H ₅ NH ₂ (g)	+86.86	+166.67	319.20	108.40

Таблица П-7

**Температуры и стандартные энтальпии
плавления и испарения, кДж·моль⁻¹**

	$T_{пл}, K$	$\Delta_{пл}H^\circ$	$T_{кип}, K$	$\Delta_{исп}H^\circ$
Простые вещества				
Ag	1234	11.30	2436	250.6
Ar	83.81	1.188	87.29	6.506
Br ₂	265.9	10.57	332.4	29.45
Cl ₂	172.1	6.41	239.1	20.41
F ₂	53.6	0.26	85.0	3.16
H ₂	13.96	0.117	20.38	0.916
He	3.5	0.021	4.22	0.084
Hg ₂	234.3	2.292	629.7	59.30
I ₂	386.8	15.52	458.4	41.80
N ₂	63.15	0.719	77.35	5.586
Na	371.0	2.601	1156	98.01
O ₂	54.36	0.444	90.18	6.820
Xe	161	2.30	165	12.6
Неорганические соединения				
CCl ₄	250.3	2.47	349.9	30.00
CO ₂	217.0	8.33	194.6	25.23
CS ₂	161.2	4.39	319.4	26.74
H ₂ O	273.15	6.008	373.15	40.656
H ₂ S	187.6	2.377	212.8	18.67
H ₂ SO ₄	283.5	2.56		
NH ₃	195.4	5.652	239.7	23.35
Органические соединения				
CH ₄	90.68	0.941	111.7	8.18
CCl ₄	250.3	2.5	350	30.0
C ₂ H ₆	89.85	2.86	184.6	14.7
C ₆ H ₆	278.61	10.59	353.2	30.8
CH ₃ OH	175.2	3.16	337.2	35.27
C ₂ H ₅ OH	156	4.60	352	43.5

Таблица П-8

Константы Генри (Па) при 25 °С $K_i = p_i / x_i$

Газ	Растворитель	
	Вода	Бензол
H ₂	$7.12 \cdot 10^9$	$3.67 \cdot 10^8$
N ₂	$8.68 \cdot 10^9$	$2.39 \cdot 10^8$
O ₂	$4.40 \cdot 10^9$	—
CO	$5.79 \cdot 10^9$	$1.63 \cdot 10^8$
CO ₂	$1.67 \cdot 10^8$	$1.14 \cdot 10^7$
CH ₄	$4.19 \cdot 10^9$	$5.69 \cdot 10^7$
C ₂ H ₂	$1.35 \cdot 10^8$	—
C ₂ H ₄	$1.16 \cdot 10^9$	—
C ₂ H ₆	$3.07 \cdot 10^9$	—