

Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана

ЭНЕРГЕТИКА ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

**ЗАДАЧИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ МОДУЛЯ 2
ПО КУРСУ ХИМИИ**

Методические указания

Москва
Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
2013

УДК 946.04
ББК 24.12
Э65

Авторы:

Л.Е. Слынько, В.И. Ермолаева, О.И. Романко, М.Б. Степанов

Рецензент *Г.Н. Фадеев*

Энергетика химических реакций. Задачи для защиты модуля 2 по курсу химии : метод. указания / [Л.Е. Слынько и др.]
Э65 — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013. — 18, [6] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-3661-3

Приведены типовые задачи по темам «Первый закон термодинамики», «Второй закон термодинамики», «Химическое равновесие», «Кинетика гомогенных и гетерогенных химических реакций», предназначенные для контроля знаний студентов по указанным темам модуля 2 курса химии в техническом университете.

Для студентов первого и второго курсов всех специальностей МГТУ им. Н.Э. Баумана, изучающих химию по программе бакалавриата.

Рекомендовано Учебно-методической комиссией Научно-учебного комплекса «Фундаментальные науки» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

УДК 946.04
ББК 24.12

ISBN 978-5-7038-3661-3

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013

ПРЕДИСЛОВИЕ

В связи с переходом технических университетов на блочно-модульную организацию учебного процесса с рейтинговой системой оценки знаний усилилась роль текущего контроля, проводимого для выяснения степени усвоения студентами отдельных тем пройденного материала.

В семестре предусмотрено проведение двух-трех контрольных мероприятий, во время которых студент должен подтвердить свое умение решать расчетные и логические задачи.

Цель методических указаний — обеспечить единство требований преподавателя к студенту.

Достаточно большой набор вопросов и задач дает возможность преподавателю составить необходимое число вариантов с неповторяющимися задачами, что позволит объективно оценить уровень знаний студентов.

1. ЗАКОНЫ ТЕРМОДИНАМИКИ И ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ

Термодинамические данные, необходимые для решения задач этого раздела, приведены в приложении.

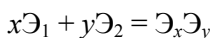
1.1. Первый закон термодинамики

В задачах 1–24 вычислите стандартный тепловой эффект реакции при следующих видах ее проведения:

а) изобарном — $\Delta_r H_{298}^0$; б) изохорном — $\Delta_r U_{298}^0$

Номер задачи	Уравнение реакции	Номер задачи	Уравнение реакции
1	$\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} + \text{CO}_{(\text{r})} = \text{CO}_{2(\text{r})} + \text{H}_{2(\text{r})}$	13	$\text{Fe}_{(\text{r})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} = \text{FeO}_{(\text{к})} + \text{H}_{2(\text{r})}$
2	$\text{CH}_{4(\text{r})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} = \text{CO}_{(\text{r})} + 3\text{H}_{2(\text{r})}$	14	$2\text{CO}_{2(\text{r})} = 2\text{CO}_{(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})}$
3	$\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{к})} + \text{Mg}_{(\text{к})} = 2\text{Fe}_{(\text{к})} + \text{MgO}_{(\text{к})}$	15	$\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{к})} + \text{CO}_{(\text{r})} = 2\text{FeO}_{(\text{к})} + \text{CO}_{2(\text{r})}$
4	$\text{MnO}_{(\text{к})} + \text{H}_{2(\text{r})} = \text{Mn}_{(\text{к})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$	16	$\text{PbO}_{(\text{к})} + \text{CO}_{(\text{r})} = \text{Pb}_{(\text{к})} + \text{CO}_{2(\text{r})}$
6	$\text{Fe}_3\text{O}_{4(\text{к})} + 4\text{H}_{2(\text{r})} = \text{Fe}_{(\text{к})} + 4\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$	18	$\text{FeO}_{(\text{к})} + \text{Mn}_{(\text{к})} = \text{MnO}_{(\text{к})} + \text{Fe}_{(\text{к})}$
7	$\text{S}_{(\text{к})} + 2\text{N}_2\text{O}_{(\text{r})} = \text{SO}_{2(\text{r})} + 2\text{N}_{2(\text{r})}$	19	$2\text{FeO}_{(\text{r})} + \text{Si}_{(\text{r})} = 2\text{Fe}_{(\text{т})} + \text{SiO}_{2(\text{т})}$
8	$\text{H}_2\text{S}_{(\text{r})} + \text{Cl}_{2(\text{r})} = 2\text{HCl}_{(\text{r})} + \text{S}_{(\text{к})}$	20	$\text{FeO} + \text{C}_{(\text{графит})} = \text{Fe} + \text{CO}$
9	$\text{CO}_{(\text{r})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} = \text{CO}_{2(\text{r})} + \text{H}_{2(\text{r})}$	21	$3\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{к})} + \text{H}_{2(\text{r})} = 2\text{Fe}_3\text{O}_{4(\text{к})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$
10	$\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{к})} + 3\text{CO}_{(\text{r})} = 2\text{Fe}_{(\text{к})} + 3\text{CO}_{2(\text{r})}$	22	$\text{GeO}_{2(\text{к})} + 2\text{Cl}_{2(\text{r})} + 2\text{C}_{(\text{к})} = \text{GeCl}_{4(\text{r})} + 2\text{CO}_{(\text{r})}$
11	$2\text{PbS}_{(\text{к})} + 3\text{O}_{2(\text{r})} = 2\text{PbO}_{(\text{к})} + 2\text{SO}_{2(\text{r})}$	23	$\text{CH}_{4(\text{r})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} = \text{CO}_{(\text{r})} + 3\text{H}_{2(\text{r})}$
12	$\text{CaCO}_{3(\text{к})} = \text{CaO}_{(\text{к})} + \text{CO}_{2(\text{r})}$	24	$\text{WO}_{3(\text{r})} + 3\text{H}_{2(\text{r})} = \text{W}_{(\text{к})} + 3\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$

В задачах 25–34 по заданным термохимическим уравнениям рассчитайте стандартную энтальпию образования указанного вещества из простых веществ по уравнению



Номер задачи	Термохимические уравнения реакций, $\Delta_r H_{298, i}^0$, кДж/моль	Вещество
25	(I) $4\text{As}_{(\text{к})} + 3\text{O}_{2(\text{г})} = 2\text{As}_2\text{O}_{3(\text{к})}$; $\Delta_r H_{\text{I}}^0 = -1328$; (II) $\text{As}_2\text{O}_{3(\text{к})} + \text{O}_{2(\text{г})} = \text{As}_2\text{O}_{5(\text{к})}$; $\Delta_r H_{\text{II}}^0 = -261$	$\text{As}_2\text{O}_{5(\text{к})}$
26	(I) $2\text{As}_{(\text{к})} + 3\text{F}_{2(\text{г})} = 2\text{AsF}_{3(\text{г})}$; $\Delta_r H_{\text{I}}^0 = -1842$; (II) $\text{AsF}_{5(\text{г})} = \text{AsF}_{3(\text{г})} + \text{F}_{2(\text{г})}$; $\Delta_r H_{\text{II}}^0 = +317$	$\text{AsF}_{5(\text{г})}$
27	(I) $\text{Zr}_{(\text{к})} + \text{ZrCl}_{4(\text{г})} = 2\text{ZrCl}_{2(\text{г})}$; $\Delta_r H_{\text{I}}^0 = +215$; (II) $\text{Zr}_{(\text{к})} + 2\text{Cl}_{2(\text{г})} = \text{ZrCl}_{4(\text{г})}$; $\Delta_r H_{\text{I}}^0 = +867$	$\text{ZrCl}_{2(\text{г})}$
28	(I) $\text{CuCl}_{2(\text{к})} + \text{Cu}_{(\text{к})} = 2\text{CuCl}_{(\text{к})}$; $\Delta_r H_{\text{I}}^0 = -56$; (II) $\text{Cu}_{(\text{к})} + \text{Cl}_{2(\text{к})} = \text{CuCl}_{2(\text{к})}$; $\Delta_r H_{\text{II}}^0 = -216$	$\text{CuCl}_{(\text{к})}$
29	(I) $\text{Ir}_{(\text{к})} + 2\text{S}_{(\text{г})} = \text{IrS}_{2(\text{г})}$; $\Delta_r H_{\text{I}}^0 = -144$; (II) $2\text{IrS}_{2(\text{к})} = \text{Ir}_2\text{S}_{3(\text{к})} + \text{S}_{(\text{к})}$; $\Delta_r H_{\text{II}}^0 = +43$	$\text{Ir}_2\text{S}_{3(\text{к})}$
30	(I) $2\text{C}_{(\text{к})} + \text{O}_{2(\text{г})} = 2\text{CO}_{(\text{г})}$; $\Delta_r H_{\text{I}}^0 = -220$; (II) $\text{CO}_{(\text{г})} + \text{F}_{2(\text{г})} = \text{COF}_{2(\text{г})}$; $\Delta_r H_{\text{II}}^0 = -525$	COF_2
31	(I) $2\text{Cr}_{(\text{к})} + 3\text{F}_{2(\text{г})} = 2\text{CrF}_{3(\text{к})}$; $\Delta_r H_{\text{I}}^0 = -2224$; (II) $2\text{CrF}_{3(\text{к})} + \text{Cr}_{(\text{к})} = 3\text{CrF}_{2(\text{к})}$; $\Delta_r H_{\text{II}}^0 = -38$	$\text{CrF}_{2(\text{к})}$
32	(I) $2\text{Pb}_{(\text{к})} + \text{O}_{2(\text{г})} = 2\text{PbO}_{(\text{к})}$; $\Delta_r H_{\text{I}}^0 = -438$; (II) $2\text{PbO}_{2(\text{к})} = 2\text{PbO}_{(\text{к})} + \text{O}_{2(\text{г})}$; $\Delta_r H_{\text{II}}^0 = +116$	$\text{PbO}_{2(\text{к})}$
33	(I) $2\text{P}_{(\text{к})} + 3\text{Cl}_{2(\text{г})} = 2\text{PCl}_{3(\text{г})}$; $\Delta_r H_{\text{I}}^0 = -574$; (II) $\text{PCl}_{5(\text{г})} = \text{PCl}_{3(\text{г})} + \text{Cl}_{2(\text{г})}$; $\Delta_r H_{\text{II}}^0 = +88$	PCl_5
34	(I) $2\text{ClF}_{5(\text{г})} = \text{Cl}_2\text{F}_{6(\text{г})} + 2\text{F}_{2(\text{г})}$; $\Delta_r H_{\text{I}}^0 = +152$; (II) $\text{Cl}_{2(\text{г})} + 5\text{F}_{2(\text{г})} = 2\text{ClF}_{5(\text{г})}$; $\Delta_r H_{\text{II}}^0 = -478$	Cl_2F_6

1.2. Второй закон термодинамики. Химическое равновесие

В задачах 35–45 рассчитайте стандартную энергию Гиббса $\Delta_r G_{298}^0$ при заданной температуре, укажите, в каком направлении (прямом или обратном) реакция протекает самопроизвольно. Оцените вклад энтальпийного и энтропийного факторов в значение $\Delta_r G_{298}^0$.

Номер задачи	Уравнение реакции	T, K
35	$2H_{2(r)} + CO_{(r)} \leftrightarrow CH_3OH_{(ж)}$	400
36	$4HCl_{(r)} + O_{2(r)} \leftrightarrow 2H_2O_{(r)} + 2Cl_{2(r)}$	700
37	$2N_{2(r)} + 6H_2O_{(r)} \leftrightarrow 4NH_{3(r)} + 3O_{2(r)}$	1300
38	$4NO_{(r)} + 6H_2O_{(r)} \leftrightarrow 4NH_{3(r)} + 5O_{2(r)}$	1000
39	$2NO_{2(r)} \leftrightarrow 2NO_{(r)} + O_{2(r)}$	700
40	$N_2O_{4(r)} \leftrightarrow 2NO_{2(r)}$	400
41	$S_{2(r)} + 4H_2O_{(r)} \leftrightarrow 2SO_{2(r)} + 4H_{2(r)}$	1000
42	$S_{2(r)} + 4CO_{2(r)} \leftrightarrow 2SO_{2(r)} + 4CO_{(r)}$	900
43	$2SO_{2(r)} + O_{2(r)} \leftrightarrow 2SO_{3(r)}$	700
44	$CO_{(r)} + 3H_{2(r)} \leftrightarrow CH_{4(r)} + H_2O_{(r)}$	1000
45	$4CO_{(r)} + 2SO_{2(r)} \leftrightarrow S_{2(r)} + 4CO_{2(r)}$	900

В задачах 46–56 определите температуру, при которой равновероятно как прямое, так и обратное протекание реакции. Объясните, как нужно изменить температуру и давление, чтобы реакция протекала преимущественно в прямом направлении.

Номер задачи	Уравнение реакции
46	$FeO_{(к)} + CO_{(r)} \leftrightarrow Fe_{(к)} + CO_{2(r)}$
47	$WO_{3(к)} + 3H_{2(r)} \leftrightarrow W_{(к)} + 3H_2O_{(r)}$
48	$NH_4Cl_{(к)} \leftrightarrow NH_{3(r)} + HCl_{(r)}$
49	$Mg(OH)_{2(к)} \leftrightarrow MgO_{(к)} + H_2O_{(r)}$

Номер задачи	Уравнение реакции
50	$\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})} + \text{C}_{(\text{графит})} \leftrightarrow \text{CO}_{(\text{г})} + \text{H}_{2(\text{г})}$
51	$\text{PbO}_{2(\text{к})} + \text{C}_{(\text{графит})} \leftrightarrow \text{Pb}_{(\text{к})} + \text{CO}_{2(\text{г})}$
52	$\text{MnO}_{2(\text{к})} + 2\text{H}_2 \leftrightarrow \text{Mn}_{(\text{к})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}$
53	$3\text{Fe}_{(\text{к})} + 4\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})} \leftrightarrow \text{Fe}_3\text{O}_{4(\text{к})} + 4\text{H}_{2(\text{г})}$
54	$\text{C}_6\text{H}_{6(\text{г})} + 3\text{H}_{2(\text{г})} \leftrightarrow \text{C}_6\text{H}_{12(\text{г})}$
55	$\text{Ni}(\text{OH})_{2(\text{к})} \leftrightarrow \text{NiO}_{(\text{к})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}$
56	$2\text{CrCl}_{3(\text{к})} \leftrightarrow 2\text{CrCl}_{2(\text{к})} + \text{Cl}_{2(\text{г})}$

В задачах **57–67** для газофазной реакции $A + B \leftrightarrow D + F$ рассчитайте константу равновесия K_p^0 при заданной температуре и равновесный состав системы при этой температуре, если известны значения $\Delta_r G_T^0$ и начальные концентрации реагирующих веществ C_0 .

Номер задачи	$\Delta_r G_T^0$, кДж/моль	T , К	Начальные концентрации реагирующих веществ, моль/л			
			$C_{0,A}$	$C_{0,B}$	$C_{0,D}$	$C_{0,F}$
57	–20,8	1000	1,0	1,0	0,0	0,0
58	–12,5	500	1,0	1,0	0,02	0,02
59	–18,4	1300	2,0	1,0	0,0	0,0
60	–11,8	1250	2,0	2,0	0,05	0,05
61	–24,2	850	2,0	3,0	0,0	0,0
62	–19,5	970	1,8	2,0	0,0	0,0
63	–10,7	1500	2,5	3,0	0,04	0,04
64	–13,1	600	1,0	1,0	0,0	0,0
65	–21,2	1000	2,0	2,0	0,0	0,0
66	–8,9	800	1,0	1,0	0,01	0,01
67	–7,6	400	0,8	0,8	0,0	0,0

В задачах 68–91 рассчитайте стандартное изменение энергии Гиббса $\Delta_r G_T^0$ и константу равновесия K_p^0 при заданной температуре T . Укажите, в каком направлении протекает реакция при данной температуре, и обозначьте направление смещения равновесия при увеличении температуры. При обосновании выбора направления смещения равновесия используйте уравнение изобары химической реакции.

Номер задачи	Уравнение реакции	T , К
68	$4\text{HCl}_{(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} + 2\text{Cl}_{2(\text{r})}$	750
69	$2\text{N}_{2(\text{r})} + 6\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} \rightarrow 4\text{NH}_{3(\text{r})} + 3\text{O}_{2(\text{r})}$	1300
70	$4\text{NO}_{(\text{r})} + 6\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} \rightarrow 4\text{NH}_{3(\text{r})} + 5\text{O}_{2(\text{r})}$	1000
71	$2\text{NO}_{2(\text{r})} \rightarrow 2\text{NO}_{(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})}$	700
72	$\text{N}_2\text{O}_{4(\text{r})} \rightarrow 2\text{NO}_{2(\text{r})}$	400
73	$\text{S}_{2(\text{r})} + 4\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} \rightarrow 2\text{SO}_{2(\text{r})} + 4\text{H}_{2(\text{r})}$	1000
74	$\text{S}_{2(\text{r})} + 4\text{CO}_{2(\text{r})} \rightarrow 2\text{SO}_{2(\text{r})} + 4\text{CO}_{(\text{r})}$	900
75	$2\text{SO}_{2(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})} \rightarrow 2\text{SO}_{3(\text{r})}$	700
76	$\text{CO}_{2(\text{r})} + \text{H}_{2(\text{r})} \rightarrow \text{CO}_{(\text{r})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$	1200
77	$\text{SO}_{2(\text{r})} + \text{Cl}_{2(\text{r})} \rightarrow \text{SO}_2\text{Cl}_{2(\text{r})}$	400
78	$\text{CO}_{(\text{r})} + 3\text{H}_{2(\text{r})} \rightarrow \text{CH}_{4(\text{r})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$	1000
79	$4\text{CO}_{(\text{r})} + \text{SO}_{2(\text{r})} \rightarrow \text{S}_{2(\text{r})} + 4\text{CO}_{2(\text{r})}$	900
80	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{r})} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_{4(\text{r})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$	400
81	$\text{FeO}_{(\text{к})} + \text{CO}_{(\text{r})} \rightarrow \text{Fe}_{(\text{к})} + \text{CO}_{2(\text{r})}$	1000
82	$\text{WO}_{3(\text{к})} + 3\text{H}_{2(\text{r})} \rightarrow \text{W}_{(\text{к})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$	2000
83	$\text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{к})} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{HCl}$	500
84	$\text{Mg}(\text{OH})_{2(\text{к})} \rightarrow \text{MgO}_{(\text{к})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$	500
85	$\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} + \text{C}(\text{графит}) \rightarrow \text{CO}_{(\text{r})} + \text{H}_{2(\text{r})}$	1000
86	$\text{PbO}_{2(\text{к})} + \text{C}(\text{графит}) \rightarrow \text{Pb}_{(\text{к})} + \text{CO}_{2(\text{r})}$	1000
87	$\text{MnO}_{2(\text{к})} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{Mn}_{(\text{к})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$	1000
88	$3\text{Fe}_{(\text{к})} + 4\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_{4(\text{к})} + 4\text{H}_{2(\text{r})}$	1000
89	$\text{C}_6\text{H}_{6(\text{r})} + 3\text{H}_{2(\text{r})} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12(\text{r})}$	600
90	$\text{Ni}(\text{OH})_{2(\text{к})} \rightarrow \text{NiO}_{(\text{к})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$	500
91	$2\text{CrCl}_{3(\text{к})} \rightarrow 2\text{CrCl}_{2(\text{к})} + \text{Cl}_{2(\text{r})}$	500

В задачах 92–115 определите, при какой температуре в системе устанавливается химическое равновесие, укажите, используя уравнение изобары химической реакции, в каком направлении протекает реакция при температуре, отличающейся от равновесной в большую или меньшую сторону.

Номер задачи	Уравнение реакции
92	$\text{CH}_{4(\text{г})} + \text{CO}_{2(\text{г})} \leftrightarrow \text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{ж})}$
93	$2\text{H}_{2(\text{г})} + \text{CO}_{2(\text{г})} \leftrightarrow \text{HCON}_{(\text{ж})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$
94	$\text{CO}_{2(\text{г})} + \text{H}_{2(\text{г})} \leftrightarrow \text{HCOOH}_{(\text{ж})}$
95	$2\text{SO}_{2(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})} \leftrightarrow 2\text{SO}_{3(\text{г})}$
96	$\text{CO}_{(\text{г})} + 2\text{H}_{2(\text{г})} \leftrightarrow \text{CH}_3\text{OH}_{(\text{г})}$
97	$\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{к})} \leftrightarrow \text{CaO}_{(\text{к})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}$
98	$\text{CaCO}_{3(\text{к})} \leftrightarrow \text{CaO}_{(\text{к})} + \text{CO}_{2(\text{г})}$
99	$\text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{к})} \leftrightarrow \text{NH}_{3(\text{г})} + \text{HCl}_{(\text{г})}$
100	$\text{H}_{2(\text{г})} + \text{Cl}_{2(\text{г})} \leftrightarrow 2\text{HCl}_{(\text{г})}$
101	$\text{O}_{2(\text{г})} \leftrightarrow 2\text{O}_{(\text{г})}$
102	$\text{CO}_{2(\text{г})} + \text{H}_{2(\text{г})} \leftrightarrow \text{CO}_{(\text{г})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}$
103	$2\text{CO}_{(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})} \leftrightarrow 2\text{CO}_{2(\text{г})}$
104	$2\text{H}_{2(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})} \leftrightarrow 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}$
105	$\text{N}_{2(\text{г})} \leftrightarrow 2\text{N}_{(\text{г})}$
106	$2\text{NO}_{(\text{г})} \leftrightarrow \text{N}_{2(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})}$
107	$\text{CH}_{4(\text{г})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{г})} \leftrightarrow \text{CO}_{(\text{г})} + 3\text{H}_{2(\text{г})}$
108	$\text{CH}_{4(\text{г})} + \text{CO}_{2(\text{г})} \leftrightarrow 2\text{CO}_{(\text{г})} + 2\text{H}_{2(\text{г})}$
109	$2\text{CH}_{4(\text{г})} \leftrightarrow \text{C}_2\text{H}_{2(\text{г})} + 3\text{H}_{2(\text{г})}$
110	$\text{F}_{2(\text{г})} \leftrightarrow 2\text{F}_{(\text{г})}$
111	$\text{Cl}_{2(\text{г})} \leftrightarrow 2\text{Cl}_{(\text{г})}$
112	$\text{HCl}_{(\text{г})} \leftrightarrow \text{H}_{(\text{г})} + \text{Cl}_{(\text{г})}$
113	$\text{HF}_{(\text{г})} \leftrightarrow \text{H}_{(\text{г})} + \text{F}_{(\text{г})}$
114	$2\text{HCl}_{(\text{г})} + \text{F}_{2(\text{г})} \leftrightarrow 2\text{HF}_{(\text{г})} + \text{Cl}_{2(\text{г})}$
115	$\text{C}_2\text{H}_{6(\text{г})} \leftrightarrow \text{C}_2\text{H}_{2(\text{г})} + 2\text{H}_{2(\text{г})}$

В задачах **116–135** для гомогенной реакции $A + B = C + D$ считайте константу равновесия при температуре T и равновесный состав системы при этой температуре, если известны значения энергии Гиббса $\Delta_r G_T^0$ и начальные концентрации исходных веществ C_0 (концентрация продуктов в начальный момент равна нулю).

Номер задачи	T, K	$\Delta_r G_T^0$, кДж/моль	C_0 , моль/л	
			A	B
116	400	– 14,1	1	1
117	800	– 13,8	1	2
118	400	– 7,5	1	1
119	800	– 6,7	1	2
120	600	– 6,0	1	1
121	1000	– 20,5	2	1
122	600	– 25,4	2	1
123	800	– 28,5	3	1
124	700	– 1,6	1	1
125	1000	– 18,5	3	1
126	800	– 8,5	2	2
127	600	– 9,2	1	2
128	400	– 10,1	1	1
129	1000	– 5,7	1	1
130	800	– 3,6	1	1
131	600	– 1,6	1	1
132	900	– 23,0	2	1
133	500	– 7,0	1	2
134	1100	– 16,9	2	2
135	400	– 12,6	1	3

В задачах **136–155** для данной газофазной реакции $A + B \leftrightarrow C + D$ рассчитайте температуру, при которой наступает равновесие. Определите равновесный состав системы при этой температуре

при указанных начальных концентрациях исходных веществ C_0
(продукты реакции в начальный момент времени отсутствуют).

Номер задачи	Уравнение реакции	C_0 , моль/л	
		<i>A</i>	<i>B</i>
136	$2\text{CH}_{4(r)} = \text{C}_2\text{H}_{2(r)} + 3\text{H}_{2(r)}$	0,5	—
137	$2\text{CO}_{(r)} + \text{O}_{2(r)} = 2\text{CO}_{2(r)}$	1	0,5
138	$\text{SO}_{2(r)} + \text{Cl}_{2(r)} = \text{SO}_2\text{Cl}_{2(r)}$	0,5	0,5
139	$\text{CH}_{4(r)} + \text{CO}_{2(r)} = 2\text{CO}_{(r)} + 2\text{H}_{2(r)}$	1	1
140	$\text{Cl}_{2(r)} + 5\text{F}_{2(r)} = 2\text{ClF}_{5(r)}$	1	0,2
141	$\text{CO}_{(r)} + 2\text{H}_{2(r)} = \text{CH}_3\text{OH}_{(r)}$	0,5	1
142	$2\text{H}_2\text{S}_{(r)} + \text{SO}_{2(r)} = 3\text{S}_{(к)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(r)}$	2	1
143	$\text{C}_2\text{H}_{2(r)} + \text{N}_{2(r)} = 2\text{HCN}_{(r)}$	1	1
144	$2\text{ClF}_{5(r)} = \text{Cl}_2\text{F}_{6(r)} + 2\text{F}_{2(r)}$	1	—
145	$\text{CO}_{(r)} + \text{NO}_{(r)} = \text{CO}_{2(r)} + \frac{1}{2}\text{N}_{2(r)}$	0,5	0,5
146	$\text{CH}_{4(r)} + \text{CH}_3\text{Cl}_{(r)} = \text{C}_2\text{H}_{6(r)} + \text{HCl}_{(r)}$	1	1
147	$\text{PCl}_{5(r)} = \text{PCl}_{3(r)} + \text{Cl}_{2(r)}$	0,5	—
148	$\text{CO}_{2(r)} + \text{H}_{2(r)} = \text{HCOOH}_{(r)}$	0,2	0,2
149	$2\text{CF}_2\text{Cl}_{2(r)} = \text{C}_2\text{F}_{4(r)} + 2\text{Cl}_{2(r)}$	1	—
150	$\text{CO}_{(r)} + \text{Cl}_{2(r)} = \text{COCl}_{2(r)}$	1	1
151	$2\text{NO}_{(r)} + \text{O}_{2(r)} = 2\text{NO}_{2(r)}$	1	0,5
152	$\text{CO}_{2(r)} = \text{CO}_{(r)} + \frac{1}{2}\text{O}_{2(r)}$	0,2	—
153	$\text{C}_2\text{H}_{6(r)} = \text{C}_2\text{H}_{4(r)} + \text{H}_{2(r)}$	1	—
154	$\text{CCl}_{4(r)} + \text{H}_2\text{O}_{(r)} = \text{COCl}_{2(r)} + 2\text{HCl}_{(r)}$	1	1
155	$2\text{HCN}_{(r)} = \text{C}_2\text{H}_{2(r)} + \text{N}_{2(r)}$	0,5	—

2. КИНЕТИКА ГОМОГЕННЫХ И ГЕТЕРОГЕННЫХ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

В задачах 1–10 для гомогенной химической реакции первого порядка $AB \rightarrow A + B$, протекающей при постоянной температуре, определите время, за которое прореагирует указанная доля α исходного вещества, если известны его начальная концентрация C_0 и время полупревращения $t_{0,5}$.

Номер задачи	C_0 , моль /л	$t_{0,5}$, мин	α , %
1	2,0	23,2	60
2	0,8	25,4	40
3	1,2	135,0	80
4	0,4	5,6	95
5	0,1	358,4	70
6	0,5	21,0	30
7	1,4	434,8	65
8	1,5	157,0	80
9	1,0	12,6	70
10	0,3	258,0	25

В задачах 11–20 для гомогенной химической реакции второго порядка, протекающей при постоянной температуре, рассчитайте концентрацию реагентов C_2 через некоторое время t_2 от начала реакции, если известно, что при одинаковой начальной концентрации реагентов C_0 за время t_1 от начала реакции их концентрация стала равной C_1 .

Номер задачи	C_1 , моль/л	t_1 , мин	C_2 , моль/л	t_2 , мин
11	0,1	76,8	0,06	90
12	0,5	120	0,2	180
13	0,2	50	0,12	100
14	0,4	140	0,2	200
15	0,5	60	0,3	120
16	0,2	25	0,1	75
17	0,6	100	0,4	110
18	0,1	30	0,06	100
19	0,4	80	0,25	110
20	0,3	70	0,15	95

В задачах **21–35** для указанной гомогенной химической реакции определите время, за которое прореагирует определенная доля α исходного вещества, если известны порядок реакции n , начальные концентрации реагентов C_0 и период полупревращения $\tau_{1/2}$.

Номер задачи	Реакция	n	C_0 , моль/л	$\tau_{1/2}$, мин	α , %
21	$A \rightarrow B + D$	1	0,2	76	40
22	$C_2H_6 \rightarrow C_2H_4 + H_2$	1	0,5	15	80
23	$A \rightarrow B + D$	1	0,5	210	30
24	$2NH_3 \rightarrow N_2 + 3H_2$	2	0,4	103	60
25	$A \rightarrow B + D$	1	0,3	12	10
26	$2HI \rightarrow H_2 + I_2$	2	0,4	179	60
27	$A + B \rightarrow D$	2	0,2	78	90
28	$RBr + OH \rightarrow ROH + Br$	2	0,2	25	50
29	$HCOOH \rightarrow CO_2 + H_2$	1	0,4	62	30
30	$2HI \rightarrow H_2 + I_2$	2	0,6	124	70
31	$H_2O_2 \rightarrow H_2O + \frac{1}{2}O_2$	1	0,2	16	80
32	$C_2H_5Cl \rightarrow C_2H_4 + HCl$	1	0,1	85	60
33	$C_2H_6 \rightarrow C_2H_4 + H_2$	1	0,5	218	50
34	$HBr + O_2 \rightarrow HO_2 + Br$	2	0,2	1	40
35	$2A \rightarrow B + D$	2	0,1	30	60

В задачах **36–45** рассчитайте, во сколько раз увеличится константа скорости какой-либо гомогенной химической реакции при повышении температуры от T_1 до T_2 , если известна ее энергия активации E_a .

Номер задачи	T_1 , К	T_2 , К	E_a , кДж/моль
36	300	400	56,3
37	400	600	123,6
38	500	600	209,5
39	300	500	120,7
40	350	650	275,6
41	500	700	87,5
42	450	500	64,8
43	300	600	118,6
44	500	650	204,3
45	450	550	54,8

В задачах **46–55** определите, во сколько раз увеличится константа скорости гомогенной химической реакции с участием катализатора, протекающая при постоянной температуре T , если введение катализатора понижает энергию активации реакции на указанное ΔE_a .

Номер задачи	T , К	ΔE_a , кДж/моль
46	300	30,0
47	400	35,0
48	400	120,0
49	600	30,0
50	300	60,0
51	500	40,0
52	600	150,0
53	400	80,0
54	300	45,0
55	500	110,0

В задачах **56–65** для реакции первого порядка рассчитайте константы скорости гомогенной химической реакции при температурах T_1 и T_2 , если известны предэкспоненциальный множитель в уравнении Аррениуса $k = k_0 \exp(-E_a/RT)$ и энергия активации E_a данной реакции.

Номер задачи	$k_0, \text{с}^{-1}$	$E_a, \text{кДж/моль}$	$T_1, \text{К}$	$T_2, \text{К}$
56	$4 \cdot 10^4$	247,5	400	500
57	$3 \cdot 10^{14}$	140,8	300	500
58	$2 \cdot 10^{10}$	170,5	600	700
59	$1,7 \cdot 10^7$	230,5	400	700
60	$2,5 \cdot 10^{14}$	89,3	300	500
61	$1 \cdot 10^{13}$	280,7	500	700
62	$2 \cdot 10^4$	75,9	500	600
63	$3,7 \cdot 10^{10}$	100,5	300	500
64	$4 \cdot 10^7$	195,8	400	600
65	$1,5 \cdot 10^{12}$	170,0	400	500

В задачах **66–80** для гомогенной химической реакции n -го порядка рассчитайте концентрацию исходных веществ C_2 через некоторое время t_2 от начала реакции, если известно, что при начальных концентрациях реагентов C_0 при некоторой температуре за время t_1 концентрация исходного вещества стала равной C_1 .

Номер задачи	Реакция	n	$C_0, \text{моль/л}$	$t_1, \text{мин}$	$C_1, \text{моль/л}$	$t_2, \text{мин}$
66	$2\text{NOBr} \rightarrow 2\text{NO} + \text{Br}_2$	2	0,1	5	0,03	10
67	$\text{N}_2\text{O}_4 \rightarrow 2\text{NO}_2$	1	0,3	16	0,15	160
68	$2\text{NH}_3 \rightarrow \text{N}_2 + 3\text{H}_2$	2	0,2	50	0,015	150
69	$2\text{NO}_2 \rightarrow 2\text{NO} + \text{O}_2$	2	0,15	20	0,05	80
70	$\text{HCOOH} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$	1	0,4	16	0,2	30
71	$2\text{N}_2\text{O} \rightarrow 2\text{N}_2 + \text{O}_2$	1	0,2	20	0,1	50
72	$\text{CH}_3\text{CHO} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}$	1	0,25	15	0,1	45

Номер задачи	Реакция	n	C_0 , моль/л	t_1 , мин	C_1 , моль/л	t_2 , мин
73	$C_2H_5Cl \rightarrow C_2H_4 + HCl$	1	0,5	50	0,2	90
74	$2HI \rightarrow H_2 + I_2$	2	0,3	10	0,1	20
75	$SO_2 + Cl_2 \rightarrow SO_2 + Cl_2$	1	0,2	12	0,1	60
76	$C_2H_6 \rightarrow C_2H_4 + H_2$	1	0,4	25	0,15	50
77	$H_2O_2 \rightarrow H_2O + \frac{1}{2}O_2$	1	0,2	3	0,06	8
78	$HBr + O_2 \rightarrow HO_2 + Br$	2	0,1	120	0,02	150
79	$2HI \rightarrow H_2 + I_2$	2	0,2	20	0,15	40
80	$RBr + OH^- \rightarrow ROH + Br^-$	2	2,0	1	0,5	5

В задачах 81–90 определите скорость указанной элементарной реакции по каждому компоненту, если известна скорость образования продукта r .

Номер задачи	Реакция	Продукт	r , моль/л·с
81	$2A \rightarrow B + 2C$	C	$1,2 \cdot 10^{-5}$
82	$A + B \rightarrow 2C$	C	$8,4 \cdot 10^{-6}$
83	$A \rightarrow 2B + C$	B	$2,0 \cdot 10^2$
84	$3A + B \rightarrow 2C$	C	$8,0 \cdot 10^{-1}$
85	$A \rightarrow 2B$	B	$2,6 \cdot 10^{-2}$
86	$2A \rightarrow B$	B	$2,4 \cdot 10^{-3}$
87	$3A \rightarrow B + C$	C	$1,8 \cdot 10^0$
88	$A \rightarrow 2B + C$	B	$3,1 \cdot 10^{-2}$
89	$A + B \rightarrow 2C$	C	$4,0 \cdot 10^0$
90	$A + B \rightarrow C + 2D$	D	$6,0 \cdot 10^{-4}$

В задачах 91–100 для данной элементарной реакции рассчитайте скорость реакции r_2 при указанной концентрации C_2 одного из компонентов, если известны начальные концентрации реагентов C_0 и скорость реакции r_1 при известной концентрации одного из компонентов C_1 . Определите, каким образом изменилась при этом скорость химической реакции.

Номер задачи	Реакция	C_0 , моль/л	C_1 , моль/л	r_1 , моль/(л·с);	C_2 , моль/л
91	$A + B \rightarrow D$	$C_{0,A} = 5,0$ $C_{0,B} = 7,0$	$C_{1,A} = 3,0$	4,2	$C_{2,D} = 2,0$
92	$2A \rightarrow 2B + D$	$C_{0,A} = 4,0$	$C_{1,D} = 1,5$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$C_{2,A} = 1,5$
93	$A \rightarrow B + D$	$C_{0,A} = 10,0$	$C_{1,B} = 4,0$	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$C_{2,D} = 3,0$
94	$3A \rightarrow 2B + D$	$C_{0,A} = 6,0$	$C_{1,B} = 1,0$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$C_{2,D} = 1,0$
95	$A + 2B \rightarrow D$	$C_{0,A} = 0,4$ $C_{0,B} = 0,8$	$C_{1,A} = 0,1$	$1,4 \cdot 10^{-8}$	$C_{2,B} = 0,1$
96	$2A + B \rightarrow D$	$C_{0,A} = 8,0$ $C_{0,B} = 6,0$	$C_{1,A} = 6,0$	$6,8 \cdot 10^{-3}$	$C_{2,B} = 4,0$
97	$2A + B \rightarrow D$	$C_{0,A} = 1,6$ $C_{0,B} = 0,6$	$C_{1,B} = 0,4$	$6,3 \cdot 10^{-2}$	$C_{2,D} = 0,6$
98	$2A \rightarrow B$	$C_{0,A} = 4,0$	$C_{1,B} = 0,8$	2,8	$C_{2,A} = 2,0$
99	$2A \rightarrow B + D$	$C_{0,A} = 2,5$	$C_{1,D} = 1,0$	$4,1 \cdot 10^{-1}$	$C_{2,A} = 0,1$
100	$A \rightarrow 2B$	$C_{0,A} = 1,5$	$C_{1,B} = 0,5$	$4,1 \cdot 10^{-2}$	$C_{2,A} = 1,0$

В задачах **101–110** определите энергию активации гетерогенной химической реакции металла с раствором кислоты, если известен температурный коэффициент реакции Вант-Гоффа γ в заданном интервале температур.

Номер задачи	γ	T_1 , °C	T_2 , °C
101	3,4	50	80
102	2,7	30	50
103	3,7	25	55
104	3,3	27	77
105	2,4	60	90
106	2,6	40	70
107	3,8	5	27
108	2,9	15	34
108	3,7	23	61
110	2,1	38	88

В задачах **111–120** при известной энергии активации E_a некоторой гетерогенной химической реакции определите, во сколько раз возрастет ее скорость при повышении температуры от T_1 до T_2 и рассчитайте ее температурный коэффициент.

Номер задачи	$T_1, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$	$E_a, \text{кДж/моль}$
111	50	80	50,0
112	30	50	80,0
113	25	55	220,0
114	27	127	100,0
115	60	90	140,0
116	40	70	65,0
117	10	30	76,0
118	35	75	124,0
119	20	60	203,0
120	5	45	95,0

В задачах **121–130** определите, до какого значения нужно повысить температуру от заданного значения T_1 при указанном температурном коэффициенте гетерогенной химической реакции γ , чтобы скорость реакции увеличилась в z раз.

Номер задачи	$T_1, ^\circ\text{C}$	γ	z
121	50	3,0	27
122	30	2,7	10
123	25	3,7	60
124	27	3,0	100
125	60	2,0	64
126	40	2,2	1200
127	20	3,2	150
128	10	2,5	40
129	150	3,5	16
130	24	2,6	8

Термодинамические характеристики индивидуальных веществ

Вещество	$\Delta_f H_{298}^0$, кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(моль·К)	$\Delta_f G_{298}^0$, кДж/моль	Вещество	$\Delta_f H_{298}^0$, кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(моль·К)	$\Delta_f G_{298}^0$, кДж/моль
Al _(к)	0	28,3	0	COF _{2(г)}	-635	258	-619
Al ₂ O _{3(к)}	-1675	57	-1582	COCl _{2(г)}	-220	264	-267
As _(к)	0	36	0	CaO _(к)	-635	40	-604
As ₂ O _{3(к)}	-666	117	-588	Ca(OH) _{2(к)}	-985	83	-897
As ₂ O _{5(к)}	-925	105	-782	CaCO _{3(к)}	-1207	92	-1128
AsF _{3(г)}	-921	289	-906	Co _(к)	0	30	0
AsF _{5(г)}	-1238	353	-1181	Cu _(к)	0	33	0
Ar _(г)	0	150,8	0	Cr _(к)	0	24	0
Ag _(к)	0	43	0	CuCl _(к)	-136	87	-119
Au _(к)	0	48	0	CrCl _{2(к)}	-393	115	-356
Be _(к)	0	10	0	CrCl _{3(к)}	-516	123	-446
C _(графит)	0	5,74	0	CrF _{2(к)}	-754	84	-711
CO _(г)	-110	197	-137	Ce ₂ O _{3(к)}	-1801	143	-1708
CO _{2(г)}	-393	214	-395	Cl _(г)	122	165	106
CS _{2(ж)}	88	151	64	Cl _{2(г)}	0	223	0
CCl _{4(г)}	-103	310	-61	Cl ₂ F _{6(г)}	-326	562	-246
C ₂ F _{4(г)}	-659	300	—	CF ₂ Cl _{2(г)}	-486	301	—

Вещество	$\Delta_f H_{298}^0$, кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(моль·К)	$\Delta_f G_{298}^0$, кДж/моль	Вещество	$\Delta_f H_{298}^0$, кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(моль·К)	$\Delta_f G_{298}^0$, кДж/моль
$\text{CF}_3\text{Cl}_{(г)}$	-710	285	—	$\text{He}_{(г)}$	0	126	0
$\text{CF}_3\text{Cl}_{(г)}$	-711	285	—	$\text{Ir}_{(к)}$	0	35	0
$\text{CH}_3\text{Cl}_{(г)}$	-82	233	—	$\text{Ir}_2\text{S}_3_{(к)}$	-245	97	-224
$\text{Fe}_{(к)}$	0	27	0	$\text{Kr}_{(г)}$	0	164	0
$\text{FeO}_{(к)}$	-264	59	-251	$\text{Mn}_{(к)}$	0	32	0
$\text{Fe}_2\text{O}_3_{(к)}$	-824	87	-742	$\text{MnO}_{(к)}$	-385	60	-363
$\text{Fe}_3\text{O}_4_{(к)}$	-1117	151	-1012	$\text{MnO}_2_{(к)}$	-520	53	-465
$\text{F}_{(г)}$	79	159	62	$\text{MgO}_{(к)}$	-601	27	-569
$\text{F}_{2(г)}$	0	203	0	$\text{Mg}(\text{OH})_{2(к)}$	-925	63	-834
$\text{Ge}_{(к)}$	0	42	0	$\text{Mo}_{(к)}$	0	29	0
$\text{GeO}_2_{(к)}$	-580	40	-522	$\text{MoO}_2_{(к)}$	-585	46	-534
$\text{GeCl}_4_{(г)}$	-495	348	-457	$\text{Mo}_2\text{C}_{(к)}$	18	82	12
$\text{H}_{(г)}$	218	115	203	$\text{N}_{(г)}$	473	153	456
$\text{H}_{2(г)}$	0	131	0	$\text{N}_{2(г)}$	0	192	0
$\text{H}_2\text{O}_{(к)}$	-286	70	-238	$\text{N}_2\text{O}_{(г)}$	82	220	104
$\text{H}_2\text{O}_{(г)}$	-242	189	-228	$\text{NO}_{(г)}$	91	211	87
$\text{HCl}_{(г)}$	-92	187	-951	$\text{NO}_2_{(г)}$	33	240	51
$\text{H}_2\text{S}_{(г)}$	-21	206	-34	$\text{N}_2\text{O}_4_{(г)}$	9	304	98
$\text{HF}_{(г)}$	-271	174	-273	$\text{NH}_3_{(г)}$	-46	192	-16
$\text{Hg}_2\text{Br}_{2(к)}$	-207	218	-181	$\text{NH}_4\text{Cl}_{(к)}$	-315	95	-203

Ne _(r)	0	146	0	SO ₂ Cl _{2(r)}	-364	312	-320
Ni _(k)	0	30	0	SO _{3(r)}	-396	257	-371
NiO _(k)	-240	38	-212	Si _(k)	0	19	0
Ni(OH) _{2(k)}	-544	80	-459	SiO _{2(k)}	-859	42	-805
O _(r)	249	161	232	Sn _(k)	0	52	0
O _{2(r)}	0	205	0	Sb _(k)	0	46	0
P _(r,декаль)	0	41	0	W _(k)	0	33	0
PCl _{3(r)}	-287	312	-268	WO _{3(r)}	-293	287	-277
PCl _{5(r)}	-375	364	-305	WO _{3(k)}	-843	76	-764
Pb _(k)	0	65	0	Zn _(k)	0	42	0
HCN _(r)	131	202	—	ZrCl _{2(r)}	-326	308	-340
PbO _(k)	-217	69	-183	CH _{4(r)}	-75	186	-51
PbO _{2(k)}	-277	72	-218	C ₂ H _{2(r)}	309	244	297
PbS _(k)	-101	91	-99	C ₂ H _{4(r)}	55	232	68
Pt _(k)	0	42	0	C ₂ H _{6(r)}	-85	230	—
Rh _(k)	0	29	0	C ₂ H _{6O_(r)}	-277	161	—
S _(k)	0	32	0	C ₃ H _{6(r)}	20	227	—
S _{2(r)}	128	228	79	C ₃ H _{8(r)}	-104	270	—
SO _{2(r)}	-297	248	-300	C ₄ H _{8(r)}	1,7	307,4	—

Вещество	$\Delta_f H_{298}^0$, кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(моль·К)	$\Delta_f G_{298}^0$, кДж/моль	Вещество	$\Delta_f H_{298}^0$, кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(моль·К)	$\Delta_f G_{298}^0$, кДж/моль
$\text{CH}_2\text{O}_{(г)}$	-116	219	—	$\text{CH}_3\text{COOH}_{(ж)}$	-484	160	—
$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_{2(ж)}$	16	224	—	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(ж)}$	-277	161	—
$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}_{(ж)}$	100	178	—	$\text{C}_6\text{H}_6_{(г)}$	83	269	—
$\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}_{(к)}$	-333	105	—	$\text{C}_6\text{H}_{12(г)}$	-42	403	—
$\text{C}_{10}\text{H}_{8(к)}$	78	167	—	$\text{HCOOH}_{(ж)}$	-426	91	—
$\text{CH}_4\text{O}_{(ж)}$	-239	127	—	$\text{HCOOH}_{(г)}$	-377	252	—
$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_{(г)}$	-218	295	—	$\text{ClF}_{5(г)}$	-339	-85	—
$\text{C}_4\text{H}_{10(г)}$	-126	310	—				

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
1. Законы термодинамики и химическое равновесие	4
1.1. Первый закон термодинамики	4
1.2. Второй закон термодинамики. Химическое равновесие	6
2. Кинетика гомогенных и гетерогенных химических реакций	12
Приложение. Термодинамические характеристики индивидуальных веществ	19

Учебное издание

Слынько Лариса Евгеньевна
Ермолаева Виолетта Ивановна
Романко Ольга Ильинична
Степанов Михаил Борисович

ЭНЕРГЕТИКА
ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ
ЗАДАЧИ для ЗАЩИТЫ модуля 2
ПО КУРСУ ХИМИИ

Редактор *С.А. Серебрякова*
Корректор *Р.В. Царева*
Компьютерная верстка *И.А. Марковой*

Подписано в печать 08.05.2013. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 1,4. Изд. № 12. Тираж 500 экз. Заказ

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.
Типография МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.