

К. Е. УИКС, Ф. Е. БЛОК

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА
65 ЭЛЕМЕНТОВ,
ИХ ОКИСЛОВ, ГАЛОГЕНИДОВ,
КАРБИДОВ И НИТРИДОВ**

Перевод с английского языка
П. П. АРСЕНТЬЕВА



ИЗДАТЕЛЬСТВО • МЕТАЛЛУРГИЯ • 1965

АННОТАЦИЯ

В справочнике обобщены термодинамические данные (по теплоемкости, теплосодержанию, изменению свободной энергии) для 65 наиболее важных элементов, их окислов, карбидов, нитридов и галогидных соединений.

Справочник предназначается для инженерно-технических и научных работников многих отраслей науки и техники — металлургии, химии, физической химии, огнеупорного производства, машиностроения, оборонной промышленности и др. Может быть полезен студентам высших учебных заведений.

Содержание

Предисловие к русскому изданию ...	6
Введение	7
Обозначения и единицы	8

Часть 1

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Теплосодержание	9
Теплота реакции и теплота образования	10
Тепловой баланс	12
Свободная энергия	14

Часть 2

ДАнные ТЕПЛОСОДЕРЖАНИЯ, ТЕПЛОТ ОБРАЗОВАНИЯ И СВОБОДНОЙ ЭНЕРГИИ

Al	Алюминий и его соединения	18
	Сурьма и ее соединения	23
	Мышьяк и его соединения	26
Ba	Барий и его соединения	29
	Бериллий и его соединения	33
	Висмут и его соединения	35
B	Бор и его соединения	37
Br	Бром	41
	Кадмий и его соединения	42
Ca	Кальций и его соединения	44
C	Углерод и его соединения	48
	Церий и его соединения	54
	Хлор	57
	Хром и его соединения	57
	Кобальт и его соединения	63
Ni	Никобий и его соединения	67
Cu	Медь и ее соединения	70
	Диспрозий и его соединения	74
	Эрбий и его соединения	75
	Европий и его соединения	77
	Фтор	79
	Гадолиний и его соединения	79
	Золото и его соединения	81

Гафний и его соединения	84
Гольмий и его соединения	86
Водород и его соединения	88
Йод	94
Железо и его соединения	94 Fe
Лантан и его соединения	104 La
Свинец и его соединения	106 Pb
Литий и его соединения	111 Li
Лютеций и его соединения	115
Магний и его соединения	116 Mg
Марганец и его соединения	121 Mn
Ртуть и ее соединения	129
Молибден и его соединения	133 Mo
Неодим и его соединения	138 Nd
Никель и его соединения	140 Ni
Азот и его соединения	143
Кислород	147
Фосфор и его соединения	147
Платина и ее соединения	151
Калий и его соединения	154 K
Празеодим и его соединения	160
Прометий и его соединения	162
Рений и его соединения	163
Самарий и его соединения	167
Скандий и его соединения	170
Кремний и его соединения	172 Si
Серебро и его соединения	177
Натрий и его соединения	180 Na
Стронций и его соединения	185
Тантал и его соединения	188 Ta
Тербий и его соединения	191
Торий и его соединения	192 Th
Тулий и его соединения	195
Олово и его соединения	196
Титан и его соединения	200 Ti
Вольфрам и его соединения	208 W
Уран и его соединения	212
Ванадий и его соединения	218 V
Иттербий и его соединения	225
Иттрий и его соединения	227
Цинк и его соединения	229
Цирконий и его соединения	232
Литература	237

Предисловие к русскому изданию

В справочнике (бюллетень Горного Бюро США) К. Е. Уикса¹ и Ф. Е. Блока² обобщены и систематизированы разрозненные термодинамические данные 65 наиболее распространенных элементов, их окислов, карбидов, нитридов и галогидных соединений.

Сведения о каждом элементе и его соединениях представлены в строгой последовательности и в удобной для использования форме: в виде уравнений температурных зависимостей термодинамических функций, таблиц теплосодержаний, теплот образования, энтропий и изменений свободных энергий в сравнительно большом температурном интервале (от 298 до 2500° K), а также в виде графиков изменений свободных энергий образования веществ с изменением температуры.

Во введении справочника в краткой форме изложены основные положения термодинамики и рассмотрено несколько примеров термодинамических расчетов применительно к металлургическим процессам.

Наряду с достоинствами справочника, необходимо отметить его недостаток. К сожалению, авторы очень мало использовали накопленные в нашей стране результаты по определению термодинамических величин различных веществ и совершенно не отразили работы советских исследователей, опубликованные после 1952 г., которые по своему уровню и точности полученных результатов не уступают, а в ряде случаев превышают зарубежные.

В связи с этим при пользовании настоящим справочным руководством в ряде случаев для проверки исходных данных следует обращаться к отечественным монографиям:

Л. В. Гуревич и др. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. I и II. Изд. АН СССР, 1962.

А. Н. Крестовников и др. Справочник по расчетам равновесий металлургических реакций. Металлургиздат, 1963.

В целом справочник является полезным пособием для научных и инженерно-технических работников: металлургов, химиков, физико-химиков, металлургов при проведении термодинамических расчетов, а также для других специалистов, работающих в области высокотемпературных процессов для решения различных проблем других областей науки и техники.

П. П. АРСЕНТЬЕВ

¹ Инженер-химик металлургического исследовательского центра в Олбани. Горное бюро, Олбани, Орегон.

² Старший инженер-химик металлургического исследовательского центра в Олбани. Горное бюро, Олбани, Орегон.

Введение

Благодаря использованию научных знаний металлургия перестала быть эмпирическим искусством и развилась в точную науку. Совершенствование методов изучения физических и химических свойств веществ обеспечило более точное их определение и возможность контроля за рабочими параметрами процессов. Химическая термодинамика дала возможность получить необходимую фундаментальную информацию для оценки оптимальных условий осуществления различных процессов.

Значение термодинамических расчетов в металлургии состоит в том, что они позволяют установить и рассчитать тепловой баланс и оптимальные условия для проведения химических процессов. Количественное определение величин термодинамических характеристик элементов и их соединений является важным условием в контроле и совершенствовании основных металлургических процессов, а также в разработке новых или модернизации существующих процессов.

В связи с этим Горное Бюро подготовило бюллетень, в котором обобщены в удобной для применения форме данные о теплосодержании (энтальпии), теплотах образования, свободной энергии образования для 65 наиболее важных элементов и их соответствующих окислов, галогенидов, карбидов и нитридов.

Необходимые теоретические основы химической термодинамики изложены в первой части данного бюллетеня. Предполагалось, что они позволяют ознакомиться с основными положениями химической термодинамики. При этом все выводы и обоснования различных термодинамических функций и их взаимосвязь были исключены из рассмотрения, так как их можно найти в различных учебниках. Эта часть содержит в основном формулы, необходимые для применения основных положений к процессам и сопровождается примерами, иллюстрирующими их использование.

Обзор литературы, опубликованной до конца 1959 г., позволил обобщить все существующие экспериментальные и расчетные термодинамические величины. Эти величины включены во вторую часть бюллетеня. Указанные данные представлены в трех отдельных формах: в виде таблиц теплосодержаний, теплот образования и свободной энергии образования при различных температурах и соответствующих значений этих величин при фазовых превращениях; в виде уравнений, устанавливающих изменение термодинамических функций с температурой; в виде графиков изменения свободной энергии образования веществ с изменением температуры.

В качестве стандартного состояния элементов и их соединений была принята температура $298,15^\circ\text{K}$. Была сделана попытка установить различие между экспериментально полученными и расчетными величинами. Величины, заключенные в скобки в таблицах, и пунктирные линии на графиках, означают интервалы температур, для которых соответствующие величины были получены расчетным путем.

Необходимо особо подчеркнуть, что термохимия имеет дело только с равновесными условиями, в то время как практические результаты многих реакций в большей степени зависят от не принимаемых во внимание кинетических ограничений, чем от параметров исходного и конечного состояния. В ряде случаев невозможно оценить или предсказать скорости реакций, исходя только из термодинамических расчетов. Можно провести простую аналогию на таком факте: зная количество бензина, необходимого для движения автомашины, нельзя определить время, необходимое для пересечения оживленного города. Зависимость силы взаимодействия в реагирующей системе от исходного до конечного ее состояния можно вычислить, исходя из достаточно надежных термодинамических данных; что касается сопротивления взаимодействию, то его нельзя предсказать без дополнительной информации о кинетике реакции.

Обозначения и единицы*

- a, b, c, r, s — постоянные в различных уравнениях;
 a_A, a_B, a_R, a_S — активности реагирующих веществ и продуктов реакции;
 A, B, R, S — реагирующие вещества и продукты реакции в уравнениях основной химической реакции;
 α, β, γ — кристаллическое состояние элементов и соединений;
 $T_{\text{кип}}$ — точка кипения, °К;
 C_p — теплоемкость, кал/(моль · град);
 e — электродвижущая сила, в;
 ε — единица энтропии, кал/(моль · град) или г-атом;
 ΔF_T — изменение свободной энергии, кал/моль или г-атом;
 ΔF_T^0 — стандартное изменение свободной энергии, кал/моль или г-атом;
 F — постоянная Фарадея, кал/(в · экв);
 H_T — теплосодержание (энтальпия), кал/моль или г-атом;
 $\Delta H_{\text{пл}}$ — теплота плавления, кал/моль или г-атом;
 ΔH_T — теплота реакции, кал/моль или г-атом;
 ΔH_T — теплота образования при данной температуре, кал/моль или г-атом;
 $\Delta H_{\text{исп}}$ — теплота испарения, кал/моль или г-атом;
 K — константа равновесия;
 $T_{\text{пл}}$ — температура плавления, °К;
 N — число молей электронов, протекающих через цепь;
 P — парциальное давление, мм рт. ст.;
 Q — теплота обмена между системой и окружающей средой, кал;
 R — газовая постоянная, 1,987 кал/(моль · град)
 S_T — энтропия, кал/(град · моль);
 T — абсолютная температура, °К;
 $T_{\text{прев}}$ — температура аллотропического превращения;
 тв — твердое состояние;
 ж — жидкое состояние;
 г — газообразное состояние.

* В иллюстрациях использованы следующие обозначения:

- A — температура аллотропического превращения;
 P — температура плавления;
 K — температура кипения;
 B — температура возгонки;
 R — температура разложения.

Примечание. В настоящем переводе справочника обозначения и размерности сохранены такими же, как и в подлиннике, причем единицы измерений соответствуют прежним системам. В связи с тем, что в настоящее время принята Международная система единиц (СИ), согласно которой единицей количества теплоты является джоуль, для пересчета приведенных в справочнике данных теплоемкостей, теплосодержаний, энтропии и свободных энергий в систему СИ следует исходить из соотношения: 1 кал = 4,1868 Дж.

Термодинамические функции и их применение

Знание термодинамических функций способствует осуществлению контроля и совершенствованию основных металлургических процессов. Программирование, основанное на термодинамических расчетах, может быть также использовано для изыскания наиболее благоприятных путей в раз-

работке новых металлургических процессов. Теплосодержание, теплота реакции и свободная энергия образования являются основными термодинамическими функциями, необходимыми для оценки тепловых балансов и предвидения направления химических реакций.

Теплосодержание

Теплосодержание является основной термодинамической функцией, необходимой для составления теплового баланса, а также для многих других химических расчетов. Для системы, подвергающейся изобарическому изменению, исходя из первого закона термодинамики, можно показать, что

$$\Delta H = -Q.$$

Это соотношение указывает на то, что если процесс протекает при постоянном давлении, теплота Q , поглощаемая или выделяемая системой, равна изменению теплосодержания систем ($\pm \Delta H$). Так как теплосодержание является функцией только состояния системы, изменение теплосодержания, происходящее во время какого-либо процесса, не зависит от пути, по которому протекал данный процесс.

Таким образом, изменение теплосодержания зависит только от начального и конечного состояний и теплоту, поглощаемую или выделяемую в металлургическом процессе, можно вычислить исходя из величин теплосодержания системы в начальном и конечном состоянии.

Из-за относительной важности этого термодинамического свойства физико-химики и металлурги осуществили довольно обширные экспериментальные определения теплосодержаний чистых веществ в различных физических состояниях. Ввиду трудности подсчета абсолютных величин теплосодержания обычно экспериментально определяется теплосодержание относительно выбранной стандартной температуры. Температуры 298° К или 25° С условно при-

нята в качестве стандартной для металлургической термохимии. Для чистых элементов в их устойчивом состоянии при этой температуре теплосодержание принято равным нулю. Теплосодержание соединений в стабильном состоянии при 298° К равно теплоте образования из соответствующих элементов при этой же температуре. Изменение теплосодержания ($H_T - H_{298}$) соответствует теплосодержанию веществ при температуре выше стандартной.

Существенные усилия предприняты для составления и систематизации величин теплосодержаний элементов и их соединений. Изменение теплосодержания с изменением температуры для чистых веществ может быть представлено в виде графиков, таблиц или эмпирических уравнений.

Изменение теплосодержания с изменением температуры непосредственно связано с теплоемкостью C_P вещества следующим уравнением:

$$H_T - H_{298} = \int_{298}^T C_P dT.$$

Так как C_P обычно выражается

$$C_P = a + bT + cT^{-2},$$

то соотношение для данного агрегатного состояния вещества примет вид

$$H_T - H_{298} = aT + \frac{bT^2}{2} - cT^{-1} + d.$$

Это выражение справедливо только для данного агрегатного состояния (твердого,

жидкого или газообразного), поэтому необходимо иметь в виду, что уравнение температурной зависимости теплосодержания может быть использовано только для определенного температурного интервала.

После того как твердое вещество нагрето до точки плавления, должно быть затрачено добавочное количество тепла, необходимое для его расплавления. Тепло, требуемое для плавления при постоянном давлении, равно повышению теплосодержания и известно как теплота плавления. Такое же количество тепла освобождается, если происходит обратный процесс — затвердевание, т. е. теплота плавления равна теплоте кристаллизации.

Подобные тепловые эффекты сопровождаются другими изменениями в физическом состоянии веществ, например теплота превращения и теплота испарения.

Величины тепловых эффектов, сопровождающие переход из одного состояния вещества в другое, изменяются с температурой и давлением, при которых эти превращения происходят.

В связи с этим данные о теплотах отнесены к температуре плавления, температуре превращения или температуре кипения при 1 атм.

Величина теплосодержания для вещества, которое подогревается фазовым превращением при нагреве от 298° К до более высоких температур, может быть подсчитана по уравнению:

$$H_T - H_{298} = \int_{298}^{T_{\text{прев}}} C_p(\alpha) dT + \Delta H_{\text{прев}} + \\ + \int_{T_{\text{прев}}}^{T_{\text{пл}}} C_p(\beta) dT + \Delta H_{\text{пл}} + \int_{T_{\text{пл}}}^{T_{\text{кип}}} C_p(\text{ж}) dT + \\ + \Delta H_{\text{исп}} + \int_{T_{\text{кип}}}^T C_p(\text{г}) dT.$$

Очевидно, определение величин теплосодержания при помощи этого уравнения сопряжено с длительными расчетами. Более удобными являются таблицы, в которых даны величины теплосодержания при раз-

личных температурах. В этом отношении заслуживают особого внимания подробные обзоры Келли [78—83], Россини [112], Бривера [6—9, 11, 12], Кулина [24], Сталла [130]. Наиболее часто металлургии используют данные о теплосодержании для определения количества выделившегося или поглощенного тепла, если температура веществ изменяется во время процесса. Для подобных расчетов используются табличные данные, из которых путем простейших арифметических преобразований определяется величина теплосодержания при любой температуре. Тепло, выделившееся или поглощенное при изменении температуры при постоянном давлении, находится как разность между теплосодержаниями при двух температурах.

Пример 1. Вычислим количество тепла, необходимого для повышения температуры с 400 до 1200° К одного моля CaCl_2 , используя табличные данные, приведенные во второй части бюллетеня (CaCl_2 плавится при 1055° К).

$$\text{При } 1200^\circ \text{ К } \Delta H_{1200} - \Delta H_{298} = \\ = 24840 \text{ кал/моль.}$$

$$\text{При } 400^\circ \text{ К } \Delta H_{400} - \Delta H_{298} = 1850 \text{ кал/моль.}$$

$$\Delta H = \Delta H_{1200} - \Delta H_{400} = 22990 \text{ кал/моль.}$$

Величина ΔH может быть также определена решением следующего уравнения:

$$\Delta H = H_{1200} - H_{400} = \int_{400}^{1055} C_p(\text{тв}) dT + \\ + \Delta H_{\text{пл}} + \int_{1055}^{1200} C_p(\text{ж}) dT = \int_{400}^{1055} (17,18 + \\ + 3,04 \cdot 10^{-3}T - 0,60 \cdot 10^5 \cdot T^{-2}) dT + \\ + 6780 + \int_{1055}^{1200} 24,70dT.$$

Теплота реакции и теплота образования

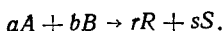
Химические реакции сопровождаются изменением в распределении энергии между реагирующей системой и окружающей средой. Об этом свидетельствует выделение или поглощение тепла. Система обычно становится более устойчивой, когда ее теплосодержание уменьшается; реакция будет протекать в направлении уменьшения

теплосодержания. Отрицательная величина теплоты реакции соответствует поглощению тепла во время реакции. Когда тепло выделяется, реакция называется экзотермической, а когда тепло поглощается — эндотермической. В ряде случаев экзотермические реакции, раз начавшись, не требуют внешнего подвода энергии, в то вре-

мя как для развития эндотермических реакций необходима дополнительная энергия.

Тепловой эффект реакции может быть определен простым сложением или вычитанием.

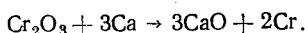
Рассмотрим в общем виде уравнение реакции



Теплота реакции может быть вычислена вычитанием алгебраической суммы теплосодержаний реагирующих веществ из алгебраической суммы теплосодержаний продуктов реакции. Общая величина теплосодержания каждого из участников реакции будет равна произведению их теплосодержаний при данной температуре на число молей взаимодействующих веществ. Для вышеуказанной реакции эти расчеты могут быть представлены в следующем виде:

$$\Delta H_r = [r(H_R) + s(H_S)] - [a(H_A) + b(H_B)].$$

Пример 2. Определим теплоту реакции восстановления окиси хрома кальцием при 298° К, а также при 500° К.



Теплота реакции при 298° К:

$$\Delta H_{\text{Cr}_2\text{O}_3} = -272650 \text{ кал/моль};$$

$$\Delta H_{\text{Ca}} = 0;$$

$$\Delta H_{\text{CaO}} = -151790 \text{ кал/моль};$$

$$\Delta H_{\text{Cr}} = 0.$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{298} &= [3(H_{\text{CaO}}) + 2(H_{\text{Cr}})] - \\ &- [(H_{\text{Cr}_2\text{O}_3}) + 3(H_{\text{Ca}})] = [3(-151790) + \\ &+ 2(0)] - [(-272650) + 3(0)] = \\ &= -455370 + 272650 = \\ &= -182720 \text{ кал/моль } \text{Cr}_2\text{O}_3. \end{aligned}$$

Теплоту реакции при 500° К можно определить исходя из теплосодержания H_T каждого из участников реакции, как это будет показано, или простым суммированием теплот образования, что проиллюстрировано в примере 3.

Вещество	$H_{500} - H_{298}$	ΔH_{298}	$\Delta H_{500} =$ $= \Delta H_{298} +$ $+ (H_{500} - H_{298})$
Cr_2O_3	5 540	-272 650	-267 110
Ca	1 330	0	1 330
CaO	2 230	-151 790	-149 560
Cr	1 280	0	1 280

$$\begin{aligned} \Delta H_{500} &= [3(H_{\text{CaO}}) + 2(H_{\text{Cr}})] - [(H_{\text{Cr}_2\text{O}_3}) + \\ &+ 3(H_{\text{Ca}})] = [3(-149560) + 2(1280)] - \\ &- [(-267110) + 3(1330)] = -448680 + \\ &+ 2560 + 267110 - 3990 = \\ &= -183000 \text{ кал/моль } \text{Cr}_2\text{O}_3. \end{aligned}$$

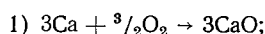
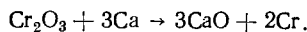
В простейшем случае при образовании одного соединения из элементов по реакции $aA + bB \rightarrow cC$ разница в теплосодержании

$$\Delta H_T = c(H_C) - [a(H_A) + b(H_B)]$$

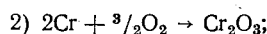
называется теплотой образования. Так как теплосодержание элемента при 298° К равно 0, теплосодержание соединения при стандартной температуре равно теплоте образования из этих элементов при 298° К.

Аддитивность теплот реакции известна как закон Гесса. Применение этого закона позволяет определить теплоту реакции простейшим сложением или вычитанием теплот образования при любой заданной температуре.

Пример 3. Определим теплоту реакции восстановления окиси хрома кальцием при 500° К.

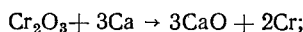


$$\begin{aligned} \Delta H_{500} &= 3(-151650) = \\ &= -454950 \text{ кал на 3 моль } \text{CaO}_3; \end{aligned}$$



$$\Delta H_{500} = -271850 \text{ кал на 1 моль } \text{Cr}_2\text{O}_3.$$

Вычитаем второе уравнение из первого:



$$\Delta H = -183100 \text{ кал/моль}.$$

Тепловой баланс

Большинство промышленных процессов, предназначенных для извлечения и рафинирования металлов, сопровождается теплообменом между системой и окружающей средой. В связи с необходимостью поддержания оптимальной температуры при проведении металлургических реакций требуется подвод тепла в случае эндотермической реакции или отвод тепловой энергии при конденсации газообразных продуктов; это может быть иллюстрировано несколькими процессами, в которых передача тепла играет важную роль. При оценке стоимости и возможности осуществления того или иного процесса большое значение имеет подвод и утилизация тепла. Таким образом, подсчет энергии, или тепловой баланс, представляет собой одно из важных средств, которым могут воспользоваться металлурги для оценки эффективности процесса.

Основой для всех тепловых балансов является закон сохранения энергии. Для определенной системы это может быть представлено в виде следующего соотношения:

$$\begin{aligned} \text{Подвод энергии} &= \text{отводу энергии} + \\ &+ \text{усвоенная энергия} \end{aligned}$$

или в тепловой терминологии:

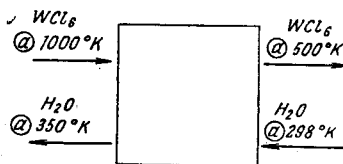
$$\begin{aligned} \text{Подвод тепла} &= \text{отводу тепла} + \\ &+ \text{усвоенное тепло.} \end{aligned}$$

Тепловой баланс основан на определенном количестве материалов, которое может быть шихтой, загружаемой в реакционное пространство металлургического агрегата, единицей производительности или производительностью за определенный промежуток времени.

Теплосодержание не зависит от пути, по которому протекает процесс, поэтому требуются только данные о начальном и конечном состояниях сложного процесса. Эти данные состоят в основном из материального баланса (показывающего количество исходных веществ и продуктов реакции, сведения о их температуре и физическом состоянии), а также из тепла, подводимого к системе или отводимого от нее. Исходя из этих данных можно оценить теплоту реакции, так же как и теплосодержание всех веществ, участвующих в реакции. Затем можно легко рассчитать энергию, введенную в систему. Схематическое изображение гипотетической системы облегчает анализ процесса.

Пример 4. При извлечении металлов хлорированием используется конденсация для улавливания летучих хлоридов. Расчет тепловой мощности конденсатора и соответственно расчет требуемой охлаждающей во-

ды иллюстрируется в простейшей форме теплового баланса. Конденсация и затвердевание 1 моль WCl_6 может быть представлено следующей системой:



Потери тепла с WCl_6 равны приросту тепла воды.

Потери тепла с WCl_6 равны

$$H_{1000} - H_{298} = (50000) \text{ кал на 1 моль } \text{WCl}_6,$$

$$H_{500} - H_{298} = (9000) \text{ кал на 1 моль } \text{WCl}_6,$$

ΔH потери на охлаждение равны 41000 кал на 1 моль WCl_6 от 1000 до 500°K.

Так как не имеется табличных данных для теплосодержания воды при заданной температуре (350°K), можно использовать эмпирическое уравнение, приведенное во второй части для воды (стр. 89, температурный интервал I):

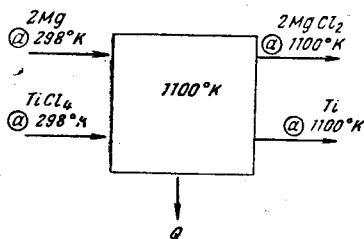
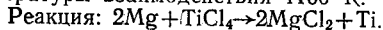
$$H_T - H_{298} = -5376 + 18,03T;$$

$$\begin{aligned} H_{350} - H_{298} &= -5376 + 18,03 \cdot 350 = \\ &= 934 \text{ кал на 1 моль } \text{H}_2\text{O}. \end{aligned}$$

Тепло, уносимое 1 моль воды при нагреве ее с 298 до 350°K, равно 934 кал. Для конденсации и затвердевания WCl_6 требуется $\frac{41000}{934} = 43,9$ моль H_2O .

Более сложная задача возникает в том случае, если в процессе происходит химическая реакция.

Пример 5. В первой стадии процесса Кролла — восстановления четыреххлористого титана магнием — необходима температура 1100°K для того, чтобы осуществить взаимодействие между расплавленным магнием и четыреххлористым титаном. Определим тепло, требуемое для реактора, в который введены хлорид и магний при комнатной температуре 298°K и нагреты до температуры взаимодействия 1100°K.



Расчет может быть выполнен для любого выбранного направления процесса, так как изменение теплосодержания зависит только от начального и конечного состояний. Часто расчеты производятся путем использования или стандартной температуры 298° К, или рекомендуемой температуры реакции. Каждый из этих методов иллюстрирует следующие расчеты.

1. Оценим подвод и отвод тепла при температуре 298° К. Теплота реакции при 298° К может быть определена из теплот образования соединений. Во всех расчетах необходимо помнить, что теплосодержание элементов при 298° К равно нулю.

$$\Delta H \text{ реакции при } 298^\circ \text{ К} = 2 (\Delta H_{\text{MgCl}_2}^\circ \text{ при } 298^\circ) - \Delta H_{\text{TiCl}_4} \text{ при } 298^\circ \text{ К} = 2(-153200) - (-181400) = -125000 \text{ кал}$$

на 1 моль TiCl_4 .

Так теплота реакции положительна, реакция экзотермична, поэтому теплота реакции будет соответствовать подводу тепла.

Тепловой баланс: подвод тепла равен отводу тепла; основание: реагирует 1 моль TiCl_4 .

Подвод тепла

Реагенты. Так как каждый реагент находится при 298° К, то не будет происходить подвода тепла за счет реагентов.

Теплота реакции —125000 кал. Ввиду того, что реакция экзотермична, тепло будет отдаваться системе. Общий расход тепла 125000 кал.

Отвод тепла

Продукты. Титан $H_{1100} - H_{298} = 5630$ кал; хлористый магний $2(H_{1100} - H_{298}) = 2(25960) = 51920$ кал.

Потери тепла Q . Общий отвод тепла равен $57550 + Q$.

Так как подвод тепла равен отводу тепла $125000 = 57550 + Q$, отсюда $Q = 67450$ кал на 1 моль реагирующего TiCl_4 .

2. Оценим подвод и отвод тепла относительно температуры реакции при 1100° К.

Теплоту реакции при 1100° К определяют исходя из теплот образования при 1100° К:

$$\Delta H \text{ реакции при } 1100^\circ \text{ К} = 2 (\Delta H_{\text{MgCl}_2} \text{ при } 1100^\circ \text{ К}) - \Delta H_{\text{TiCl}_4} \text{ при } 1100^\circ \text{ К} = 2(-141750) - (-180900) = -102600 \text{ кал/моль.}$$

Реакция также экзотермична при этой повышенной температуре. Следовательно, теплота реакции будет соответствовать подводу тепла.

Подвод тепла

Реагенты. Хотя реагенты вводятся в процесс, их подводимое тепло будет отрицательной величиной, так как их температура будет ниже выбранной температуры 1100° К.

Четыреххлористый титан $H_{298} - H_{1100} = -19965$ кал.

Магний $H_{298} - H_{1100} = 2(-7700) = -15400$ кал.

Теплота реакции 102600 кал. Общий подвод тепла равен $102600 - 35400 = 67200$ кал.

Отвод тепла

Продукты. Так как каждый продукт будет находиться при выбранной температуре, тепло не будет отводиться продуктами реакции.

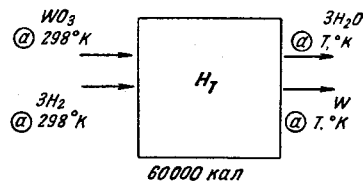
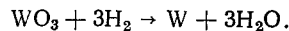
Потери тепла Q . Общее количество отведенного тепла равно Q . Так как подвод тепла равен отводу тепла, $Q = 67200$ кал на 1 моль реагирующего TiCl_4 .

Небольшое отклонение в результатах появилось вследствие округления величин теплот образования, если учитывать точность их определения с тем, чтобы придать им достаточную надежность.

Другой проблемой теплового баланса является определение конечной температуры продуктов реакции, когда предполагается, что реактор адиабатический (т. е. изолированный от окружающей системы, что исключает теплообмен между реагирующей и окружающей системами) или когда известен подвод или отвод тепла.

Пример 6. Трехокись вольфрама восстанавливается водородом до металла при температуре 700° С. Определим, как вели себя полученные продукты в электропечи при температуре выше минимума 700° С, если в систему было добавлено 60000 кал на каждый восстановленный 1 моль WO_3 .

Реакция



Так как температура реакции неизвестна, воспользуемся стандартной температурой 298° К. Теплота реакции может быть вычислена из теплот образования.

Теплота образования элементов в стандартном состоянии равна нулю.

$$\begin{aligned} \Delta H_{298} &= 3(\Delta H_{H_2O}) - \Delta H_{WO_3} = \\ &= 3(-68320) - (-200850) = -204950 + \\ &+ 200850 = -4100 \text{ кал/моль.} \end{aligned}$$

Вновь реакция экзотермична и теплота реакции соответствует подводу тепла.

Тепловой баланс: подвод тепла равен отводу тепла; основание: 1 моль WO_3 .

Подвод тепла

Реагенты. Так как каждый реагент находится при 298°K , то не будет происходить подвод тепла за счет реагентов. Теплота реакции 4100 кал.

Подвод тепла в результате электроннагрева 60000 кал.

Общий подвод тепла 64100 кал.

Отвод тепла

Продукты. Каждый из продуктов реакции будет нагрет до определенной температуры.

Из уравнения реакции общий отвод тепла будет равен утроенному теплосодержанию воды плюс теплосодержание вольфрама. Все это будет равно подведенной теплоте:

$$\begin{aligned} 64100 &= 3(H_T - H_{298})H_2O + \\ &+ (H_T - H_{298})W. \end{aligned}$$

Вычисление температуры осуществляется методом подбора; задаются различными температурами до тех пор, пока искомая температура не будет отвечать вышеприведенному уравнению.

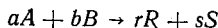
T°, K	$3(H_T - H_{298})H_2O + (H_T - H_{298})W$	Общий отвод тепла
1100	$3(17735) + 5010$	58200
1200	$3(18768) + 5670$	62000
1300	$3(19830) + 6340$	65800

Из данных следует, что продукты будут покидать реакционный сосуд при температуре $1200-1300^\circ \text{K}$.

Свободная энергия

Свободная энергия является термодинамической функцией, которая позволяет оценить возможность протекания химической реакции при данных условиях. Любая реакция или процесс сопровождается изменением свободной энергии системы и это изменение равно затраченной или совершенной механической работе во время процесса.

Величина изменения свободной энергии есть мера способности реакции к развитию ее при заданных условиях. Для обычной химической реакции



изменение свободной энергии при данной температуре и давлении выражается изотермой Вант-Гоффа:

$$\Delta F_T = -RT \ln K + RT \ln \frac{a_R^r \cdot a_S^s}{a_A^a \cdot a_B^b},$$

где K — константа равновесия реакции;
 a_R, a_S, a_A, a_B — активности продуктов реакции и исходных веществ при данной температуре.

Если исходить из определения активности, то она для чистых жидких, твердых или газообразных веществ равна единице. Если все исходные вещества и продукты реакции находятся в стандартном состоянии, т. е. все активности равны единице, то изменение свободной энергии определяется как стандартное изменение свободной энергии ΔF^0 .

Тогда предыдущее соотношение переходит в:

$$\Delta F_T^0 = -RT \ln K$$

а изотерма реакции Вант-Гоффа:

$$\Delta F_T = \Delta F_T^0 + RT \ln \frac{a_R^r \cdot a_S^s}{a_A^a \cdot a_B^b}.$$

Зависимость между изменением свободной энергии ΔF_T^0 и константой равновесия K имеет силу только тогда, когда все активности равны единице, т. е. реагирующие вещества и продукты реакции являются чистыми веществами.

Необходимо учитывать поправки для активностей в случае образования растворов. Ввиду того что имеется мало данных об активностях веществ в растворах при высоких температурах, обычно активность каждого компонента в жидком или твер-

дом растворе принимают равной их молярной доле, а активности компонентов в газовой фазе равными их парциальным давлениям.

Изменения свободной энергии чаще всего вычисляют для оценки возможности химической реакции. Простейшей интерпретацией изменения свободной энергии является то, что термодинамически возможной реакция становится при уменьшении свободной энергии, и наиболее вероятно ее завершение, если изменение свободной энергии будет большой отрицательной величиной. Важно подчеркнуть, что изменение свободной энергии показывает только движущую энергию и не может предсказать сопротивления, оказываемого реакции или процессу. Следовательно, из изменений свободной энергии невозможно предсказать скорость реакций.

Если изменение свободной энергии ΔF равно нулю, то реагирующие вещества находятся в состоянии равновесия с продуктами реакции, которому будет соответствовать определенное значение константы равновесия K . Положительное значение изменения свободной энергии свидетельствует о том, что реакция протекает в направлении, обратном выбранному, следовательно, данный процесс термодинамически невозможен при данных условиях. Изменяя условия, путем изменения температуры или давления можно обеспечить протекание процесса в выбранном направлении.

Кроме того, дополнительные реакции могут изменить энергетический баланс системы таким образом, что они снимут ограничивающие условия для протекания процесса.

Изменение свободной энергии во время процесса связано с изменением теплосодержания и энтропии следующим уравнением:

$$\Delta F_T = \Delta H_T - T\Delta S_T.$$

Это соотношение указывает, что энергия, производимая механической работой, равна общей тепловой энергии, поглощенной или выделенной, уменьшенной на величину $T\Delta S_T$, которая потеряна в результате такого необратимого фактора, как трение. Так как бюллетень ограничен, в обзоре не было предпринято попытки дать сложное объяснение энтропии или второго закона термодинамики. В упрощенном понятии изменение энтропии может рассматриваться как мера связанной энергии в системе, в которой совершается полезная работа. Следовательно, увеличение энтропии будет соответствовать увеличению связанной энергии в системе. Количественно изменение энтропии в какой-либо системе при постоянной температуре определяется поглощенной или выделенной теплотой, деленной на абсолютную температуру.

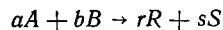
Так как изменение теплосодержания и энтропии может быть выражено непосредственно через теплоемкость и температуру, уравнение для изменения свободной энергии может быть представлено в следующем виде:

$$\Delta F_T = \left[\Delta H_{298} + \int_{298}^T \Delta C_p dT \right] - T \left[\Delta S_{298} + \int_{298}^T \frac{\Delta C_p dT}{T} \right].$$

Как и в случае теплосодержания и теплоты образования, для каждого вещества могут быть составлены уравнения и таблицы, устанавливающие соотношения между изменением свободной энергии и температурой.

Изменение свободной энергии для данной реакции можно определить простым арифметическим расчетом, используя величины свободной энергии образования каждого из соединений, участвующего в реакции. Такой расчет подобен вычислению теплоты реакции, если исходить из теплот образования.

Для обычного химического уравнения



изменение свободной энергии определяется из эмпирического соотношения

$$\Delta F_T = [r(\Delta F_R) + s(\Delta F_S)] - [a(\Delta F_A) + b(\Delta F_B)].$$

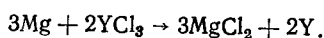
Для элементов изменение свободной энергии образования принято равным нулю. Свободная энергия не зависит от пути данного процесса. Таким образом, зная начальное и конечное состояния сложного процесса, представляется возможным оценить изменение свободной энергии, происходящее в системе.

Вероятно, наиболее важным применением термохимических расчетов в металлургии является оценка термодинамической возможности предполагаемой реакции и рабочих условий, при которых может происходить реакция.

Пример 7. При получении металлического иттрия восстанавливают галогенид иттрия активным металлом. Определим, можно ли использовать кальций или магний в качестве восстановителя, если реакция протекает при давлении 1 ат. Если реакция возможна, оценим температурный интервал, при котором процесс будет протекать.

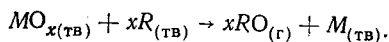
Изменение свободной энергии, соответствующее каждой реакции, подсчитывают исходя из свободной энергии образования каждого участника реакции.

Восстановление магнием:



$$\Delta F_T^0 \text{ реакции} = 3(\Delta F_{\text{MgCl}_2}^0) - 2(\Delta F_{\text{YCl}_3}^0).$$

Рассмотрим восстановление металлического окисла:



T, °K	Продукты		Исходные вещества		Реакция ΔF_T^0
	$\Delta F_{\text{MgCl}_2}^0$	$3(\Delta F_{\text{MgCl}_2}^0)$	$\Delta F_{\text{YCl}_3}^0$	$2(\Delta F_{\text{YCl}_3}^0)$	
298	-141 400	-424 200	(-215 200)	(-430 400)	(+ 6 200)
500	-133 500	-400 500	(-206 200)	(-412 400)	(+11 900)
1 000	-115 150	-345 500	(-183 700)	(-367 400)	(+21 900)
1 500	- 99 650	-299 000	(-163 700)	(-327 400)	(+28 400)

Константа равновесия K , выражаемая через парциальные давления, будет

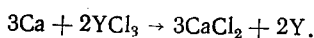
$$K_P = (P_{\text{RO}})^x.$$

Комбинируя эти два уравнения, получаем

$$\Delta F_T^0 = -RT \ln (P_{\text{RO}})^x.$$

Положительное значение изменения свободной энергии реакции свидетельствует о том, что термодинамически восстановление треххлористого иттрия магнием невозможно.

Восстановление кальцием:



$$\Delta F_T^0 \text{ реакции} = 3(\Delta F_{\text{CaCl}_2}^0) - 2(\Delta F_{\text{YCl}_3}^0).$$

T, °K	Продукты		Исходные вещества		Реакция ΔF_T^0
	$\Delta F_{\text{CaCl}_2}^0$	$3(\Delta F_{\text{CaCl}_2}^0)$	$\Delta F_{\text{YCl}_3}^0$	$2(\Delta F_{\text{YCl}_3}^0)$	
298	-179 650	-538 900	(-215 200)	(-430 400)	(-108 500)
500	-172 500	-517 500	(-206 200)	(-412 400)	(-105 100)
1 000	-155 700	-467 100	(-183 700)	(-367 400)	(-100 000)
1 500	-142 400	-427 200	(-163 700)	(-327 400)	(-100 000)

Восстановление кальцием возможно в довольно большом температурном интервале. Оптимальную рабочую температуру можно установить исходя из кинетики процесса. Необходима температура выше 1055°K с тем, чтобы предотвратить затвердевание хлористого кальция, которое может препятствовать протеканию реакции.

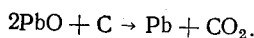
Если активности исходных веществ и продуктов реакции приняты за единицу, то соотношение между свободной энергией и константой равновесия выражается следующим уравнением:

$$\Delta F_T^0 = -RT \ln K.$$

Так как константа равновесия K выражается через концентрации веществ, участвующих в реакции, изменение свободной энергии в данном случае может быть использовано для оценки соотношения между равновесными парциальными давлениями газообразных составляющих.

Это соотношение может быть использовано для оценки давления, при котором реакция будет происходить.

Пример 8. Определим равновесное давление двуокиси углерода при восстановлении окиси свинца углеродом при 1000°K по следующей реакции:



$$\Delta F^0 \text{ реакции при } 1000^\circ\text{K} =$$

$$= (\Delta F_{\text{CO}_2}^0) -$$

$$- 2(\Delta F_{\text{PbO}}^0) =$$

$$= (-94600) -$$

$$- 2(-28250) =$$

$$= -38100 \text{ кал.}$$

Константа равновесия может быть определена из уравнения

$$\Delta F_{1000}^0 = -RT \ln K:$$

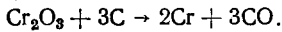
$$\ln K = \frac{-38100}{-(1,987)(1000)} = 19,18;$$

$$K = 2,14 \cdot 10^8.$$

Так как двуокись углерода является единственным газообразным участником реакции при 1000°K, константа равновесия K будет равна равновесному давлению двуокиси углерода: т. е. $P_{\text{CO}_2} = 2,14 \cdot 10^8 \text{ атм}$. Очевидно, реакция может быть осуществлена при более низких давлениях.

Пример 9. Определим равновесное парциальное давление окиси углерода при восстановлении окиси хрома углеродом при

1400° K, протекающем по следующей реакции:



$$\Delta F^0 \text{ реакции при } 1400^\circ \text{ K} = 3(\Delta F_{\text{CO}}^0) -$$

$$- (\Delta F_{\text{Cr}_2\text{O}_3}^0) = 3(-56250) -$$

$$- (-185050) = 16300 \text{ кал};$$

$$\ln K = \frac{-\Delta F_{1400}^0}{RT} =$$

$$= \frac{-16300}{1,987 \cdot 1400} = -5,87;$$

$$K = 2,78 \cdot 10^{-3}.$$

Эта константа равновесия непосредственно связана с равновесным давлением окиси углерода:

$$K = (P_{\text{CO}})^3; P_{\text{CO}} = 0,14 \text{ атм.}$$

Результат вычислений указывает, что окись хрома может быть восстановлена углеродом только при условии, если парциальное давление окиси углерода в газовой фазе будет меньше, чем 0,14 атм. Это может быть осуществлено под вакуумом или путем непрерывного удаления окиси углерода из зоны реакции потоком инертного газа.

Так как свободная энергия выражает энергию, необходимую для совершения ра-

боты во время процесса, то она может быть использована для оценки э. д. с. в гальваническом элементе:

$$\Delta F_T^0 = -NF\varepsilon,$$

где F — число Фарадея;

N — число молей электронов, протекающих через цепь;

NF — число кулонов, переносимых в процессе реакции;

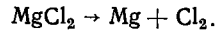
ε — э. д. с.

Если ΔF^0 выражается в калориях, а ε — в вольтах, то вышеуказанное уравнение превращается в следующее:

$$\Delta F_T^0 = -23062N\varepsilon.$$

Пример 10. Вычислим э. д. с., необходимую для разложения хлористого магния при 1000° K.

Реакция:



Так как заряд магния изменяется от +2 до 0,

$$\Delta F^0 \text{ реакции при } 1000^\circ \text{ K} =$$

$$= -(\Delta F_{\text{MgCl}_2}^0) = 115150 \text{ кал};$$

$$\Delta F_{1000}^0 = -23062 N\varepsilon;$$

$$115150 = -2 \cdot 23062 \varepsilon;$$

$$\varepsilon = -2,496 \text{ в.}$$

Данные теплосодержания, теплот образования и свободной энергии

На последующих страницах приведены табличные данные и графики термодинамических величин для 65 элементов и их известных окислов, галогенидов, карбидов и нитридов. Все данные и уравнения выражены в единицах калория — моль — °К. Табличные данные приведены к стандартной температуре 298,15° К (25° С). Во избежание каких-либо ошибок рассматриваемое

состояние веществ при выбранной стандартной температуре специально указано в каждом табличном заголовке.

При составлении этих сводных таблиц были использованы ранее опубликованные данные Келли [79—84], Бруера [6—9, 11, 12], Кофлина [24], Сталла [130], а также Россини, Уегмана, Эванса, Левини и Джоффа [112].

Алюминий и его соединения

Элемент
Al (тв)

$$S_{298} = 6,77 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{пл} = 931,7^\circ \text{ К [82]}$$

$$\Delta H_{пл} = 2570 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{кип} = 2600^\circ \text{ К [130]}$$

$$\Delta H_{исп} = 67\,950 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (тв) (298 — 931,7° К)

$$C_p = 4,94 + 2,96 \times 10^{-3} T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1605 + 4,94T + 1,48 \times 10^{-3} T^2$$

$$F_T - H_{298} = -1605 - 4,94T \ln T - 1,48 \times 10^{-3} T^2 + 27,19T$$

Интервал II (ж) (931,7 — 1300° К)

$$C_p = 7,00 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = 330 + 7,00T$$

$$F_T - H_{298} = 330 - 7,00T \ln T + 37,83T$$

Интервал III (ж) (1300 — 2500° К)

Расчетные данные [130]

$T, ^\circ \text{ К}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	6,77	6,77
400	600	8,49	6,99
500	1 230	9,91	7,45
600	1 890	11,11	7,96
700	2 580	12,17	8,48
800	3 310	13,15	9,01
900	4 060	14,03	9,53
1 000	7 330	17,53	10,20
1 100	8 030	18,19	10,89
1 200	8 730	18,80	11,52
1 300	9 430	19,36	(12,11)
1 400	(10 130)	(19,88)	(12,64)
1 500	(10 830)	(20,32)	(13,43)
1 600	(11 530)	(20,81)	(13,59)
1 700	(12 230)	(21,24)	(14,06)
1 800	(12 930)	(21,64)	(14,44)
1 900	(13 630)	(22,02)	(14,84)
2 000	(14 330)	(22,32)	(15,15)
2 500	(17 830)	(23,94)	(16,80)

Полуокись алюминия

Al₂O (г)

$$\Delta H_{298}^0 = (-33500) \text{ кал/моль [8]}$$

$$S_{298} = (68,2) \text{ э.е. [24]}$$

Реакция образования: $2Al + 1/2O_2 \rightarrow Al_2O$

Расчетные данные [24]

T, °K	H _T - H ₂₉₈	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	-33 500	-42 500
400	(560)	(-34 500)	(-45 000)
500	(1 690)	(-35 000)	(-48 000)
600	(2 880)	(-35 500)	(-50 500)
700	(4 150)	(-36 000)	(-53 000)
800	(5 010)	(-37 000)	(-55 000)
900	(7 420)	(-36 500)	(-57 500)
1 000	(7 875)	(-43 000)	(-59 000)
1 100	(9 160)	(-43 500)	(-60 500)
1 200	(10 480)	(-44 000)	(-62 000)
1 300	(11 800)	(-44 500)	(-63 500)
1 400	(13 120)	(-45 000)	(-65 000)
1 500	(14 500)	(-45 500)	(-66 500)
1 600	(15 780)	(-46 000)	(-68 000)
1 700	(17 130)	(-46 500)	(-69 500)
1 800	(18 470)	(-47 000)	(-70 500)

Одноокись алюминия

AlO (г)

$$\Delta H_{298}^0 = 10 000 \text{ кал/моль [8]}$$

$$S_{298} = 51,40 \text{ э.е. [24]}$$

Реакция образования: $Al + 1/2O_2 \rightarrow AlO$

Расчетные данные [24]

T, °K	H _T - H ₂₉₈	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	10 000	+4 000
400	(460)	(9 500)	(1 500)
500	(1 260)	(9 500)	(-500)
600	(2 000)	(9 000)	(-2 000)
700	(2 870)	(9 000)	(-4 000)
800	(3 700)	(8 500)	(-6 000)
900	(4 660)	(8 500)	(-8 000)
1 000	(5 550)	(5 500)	(-9 500)
1 100	(6 430)	(5 500)	(-11 000)
1 200	(7 250)	(5 000)	(-12 500)
1 300	(8 170)	(5 000)	(-14 000)
1 400	(9 000)	(4 500)	(-15 000)
1 500	(9 970)	(4 500)	(-16 500)
1 600	(10 750)	(4 000)	(-18 000)
1 700	(11 600)	(4 000)	(-19 500)
1 800	(12 500)	(3 500)	(-21 000)

Окись алюминия (глинозем)

Al₂O₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -400290 \text{ кал/моль [53]}$$

$$S_{298} = 12,16 \text{ э.е. [87]}$$

$$T_{пл} = 2313^\circ\text{K [112]}$$

$$\Delta H_{пл} = 26000 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (т) (298 — 1800°K)

$$C_p = 27,43 + 3,06 \times 10^{-3}T -$$

$$- 8,47 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = 11155 + 27,43T +$$

$$+ 1,53 \times 10^{-3}T^2 + 8,47 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $2Al + 3/2O_2 \rightarrow Al_2O_3$

Интервал I (298 — 931,7°K)

$$\Delta C_p = 6,81 - 4,36 \times 10^{-3}T -$$

$$- 7,87 \times 10^4 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -405 200 + 6,81T - 2,18 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 7,87 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -405 200 - 6,81T \ln T + 2,18 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 3,93 \times 10^5 T^{-1} + 123,58T$$

Интервал II (931,7 — 1300°K)

$$\Delta C_p = 2,69 + 1,56 \times 10^{-3}T -$$

$$- 7,87 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -408 660 + 2,69T + 0,78 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 7,87 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -408 660 - 2,69T \ln T -$$

$$- 0,78 \times 10^{-2}T^2 + 3,93 \times 10^5 T^{-1} + 102,38T$$

T, °K	H _T - H ₂₉₈	S _T	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	12,16	-400 300	-378 000
400	2 200	18,48	-400 400	-370 300
500	4 600	23,83	-400 300	-362 800
600	7 220	28,60	-400 200	-355 300
700	9 990	32,86	-399 900	-347 800
800	12 840	36,67	-399 700	-340 400
900	15 750	40,08	-399 500	-332 900
1 000	18 710	43,22	-404 400	-325 200
1 100	21 710	46,07	-404 000	-317 200
1 200	24 740	48,71	-403 600	-309 400
1 300	27 790	51,15	-403 200	-301 500
1 400	30 850	53,42	(-402 800)	(-293 800)
1 500	33 920	55,54	(-402 500)	(-286 100)
1 600	37 000	57,52	(-402 000)	(-278 100)
1 700	40 090	59,39	(-401 700)	(-270 600)
1 800	43 190	61,17	(-401 300)	(-263 100)

Однофтористый алюминий AlF (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-84\,000) \text{ кал/моль} [11]$$

$$S_{298} = (12) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{\text{пл}} = (1100^\circ\text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 5000 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1650^\circ\text{K} [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 38\,000 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (г) (298 — 2000°K)

$$C_p = 8,9 - 1,45 \times 10^5 T^{-2} [82]$$

Трехфтористый алюминий AlF₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -323\,000 \text{ кал/моль} [11]$$

$$S_{298} = 23,8 \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{\text{возг}} = 1\,545^\circ\text{K} [6]$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = 77\,000 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 1100°K)

$$C_p = 15,64 + 11,28 \times 10^{-3} T [82]$$

$$H_T - H_{298} = -5\,164 + 15,64T + 5,64 \times 10^{-3} T^2$$

Реакция образования: $\text{Al} + \frac{3}{2}\text{F}_2 \rightarrow \text{AlF}_3$

Интервал I (298 — 931,7°K)

$$\Delta C_p = -1,73 + 7,66 \times 10^{-3} T + 1,20 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -322\,400 - 1,73T +$$

$$+ 3,83 \times 10^{-3} T^2 - 1,20 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -322\,400 + 1,73T \ln T -$$

$$- 3,83 \times 10^{-3} T^2 - 0,60 \times 10^5 T^{-1} + 45,83T$$

Интервал II (931,7 — 1100°K)

$$\Delta C_p = -3,79 + 10,62 \times 10^{-3} T +$$

$$+ 1,20 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -323\,500 - 3,79T +$$

$$+ 5,31 \times 10^{-3} T^2 - 1,20 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -323\,500 + 3,79T \ln T -$$

$$- 5,31 \times 10^{-3} T^2 - 0,60 \times 10^5 T^{-1} + 34,32T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	23,8	-323 000	-306 400
400	1 980	29,51	-322 800	-300 700
500	4 050	34,12	-322 550	-295 200
600	6 250	38,12	-322 400	-289 900
700	8 620	41,78	-321 850	-284 400
800	11 060	45,04	-321 450	-279 100
900	13 510	47,93	-321 000	-273 800
1 000	15 980	50,52	-322 100	-268 300
1 100	18 500	52,92	-322 600	-252 900

Треххлористый алюминий AlCl₃ (тв)

$$\Delta H_{298} = -166\,800 \text{ кал/моль} [11]$$

$$S_{298} = 40,5 \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{\text{пл}} = 465,6^\circ\text{K} [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 8\,500 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 720^\circ\text{K} [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 15\,610 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 465,6°K)

$$C_p = 13,25 + 28,00 \times 10^{-3} T [82]$$

$$H_T - H_{298} = -5\,195 + 13,25T +$$

$$+ 14,00 \times 10^{-3} T^2$$

Интервал II (ж) (465,6 — 720°K)

$$C_p = 31,2 [82]$$

$$H_T - H_{298} = -2020 + 31,2T$$

Интервал III (г) (720 — 1800°K)

$$C_p = 19,8 - 2,69 \times 10^5 T^{-2} [94]$$

$$H_T - H_{298} = 20320 + 19,8T +$$

$$+ 2,69 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $Al + 3/2 Cl_2 \rightarrow AlCl_3$

Интервал I (298 — 466 °К)

$$\Delta C_p = -4,92 + 24,95 \times 10^{-3}T + 1,02 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -166\,100 - 4,92T + 12,47 \times 10^{-3}T^2 - 1,02 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -166\,100 + 4,92T \ln T + 12,47 \times 10^{-3}T^2 - 0,51 \times 10^5 T^{-1} + 20,31T$$

Интервал II (466 — 720 °К)

$$\Delta C_p = 13,03 - 3,05 \times 10^{-3}T + 1,02 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -163000 + 13,03T - 1,52 \times 10^{-3}T^2 - 1,02 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -163000 - 13,03T \ln T + 1,52 \times 10^{-3}T^2 - 0,51 \times 10^5 T^{-1} + 118,0T$$

Интервал III (720 — 931,7 °К)

$$\Delta C_p = 1,63 - 3,05 \times 10^{-3}T - 1,67 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -140\,500 + 1,63T -$$

$$- 1,52 \times 10^{-3}T^2 + 1,65 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -140\,500 - 1,63T \ln T + 1,52 \times 10^{-3}T^2 + 0,83 \times 10^5 T^{-1} + 9,48T$$

T, °К	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	40,5	-166 800	-153 000
400	2 340	47,23	-166 300	-148 300
500	13 580	71,58	-157 000	-144 500
600	16 700	75,3	-155 800	-141 000
700	19 820	80,0	-154 700	-138 600
800	36 490	105,0	-140 000	-140 700
900	38 440	107,3	-140 200	-141 000
1 000	40 390	109,5	-142 400	-141 200
1 100	42 340	111,3	-142 700	-141 800
1 200	44 300	112,9	-143 000	-142 300
1 300	46 275	114,5	-142 900	-143 000
1 400	48 230	115,9	(-143 100)	(-143 800)
1 500	50 200	117,3	(-143 400)	(-144 600)
1 600	52 170	118,5	(-142 700)	(-145 300)
1 700	54 140	119,7	(-143 900)	(-146 000)
1 800	56 110	120,9	(-144 100)	(-146 500)

Трехбромистый алюминий
 $AlBr_3$ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -127\,000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (49) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{пл} = 370,6^\circ \text{ К [82]}$$

$$\Delta H_{пл} = 2710 \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 739^\circ \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{исп} = 16\,080 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (т) (298 — 370,6 °К)

$$C_p = 18,74 + 18,66 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -6420 + 18,74T +$$

$$+ 9,33 \times 10^{-3}T^2$$

Интервал II (ж) (370,6 — 500 °К)

$$C_p = 29,5 \text{ [82]},$$

$$H_T - H_{298} = -6410 + 29,5T$$

Реакция образования: $Al + 3/2 Br_2 \rightarrow AlBr_3$

Интервал I (298 — 331 °К)

$$\Delta C_p = -11,85 + 15,7 \times 10^{-3}T$$

$$\Delta H_T = -124\,200 + 11,85T + 7,85 \times 10^{-3}T^2$$

$$\Delta F_T = -124\,200 + 11,85T \ln T -$$

$$- 7,85 \times 10^{-3}T^2 - 62,35T$$

Интервал II (331 — 500 °К)

$$\Delta C_p = 11,0 - 2,96 \times 10^{-3}T +$$

$$+ 0,55 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -139\,200 + 11,0T - 1,48 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,55 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -139\,200 - 11,0T \ln T + 1,48 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,27 \times 10^5 T^{-1} + 144,2T$$

T, °К	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T	ΔF_T
298	—	(49,0)	-127 000	(-123 300)
400	5 390	(64,0)	-135 200	(-119 800)
500	8 340	(70,58)	-134 200	(-116 000)

Трехйодистый алюминий
AlJ₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -74\,400 \text{ кал/моль [21]}$$

$$S_{298} = (46) \text{ э. е. [21]}$$

$$T_{\text{пл}} = 464^\circ \text{K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 3980 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 695^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 18\,500 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 464 °K)

$$C_p = 16,88 + 22,66 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -6040 + 16,88T + \frac{1}{2} + 11,33 \times 10^{-3}T^2$$

Интервал II (ж) (464 — 500 °K)

$$C_p = 29,0 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -5250 + 29,0T$$

Реакция образования: $\text{Al} + \frac{3}{2}\text{J}_2 \rightarrow \text{AlJ}_3$

Интервал I (298 — 386,8 °K)

$$\Delta C_p = -2,44 + 1,85 \times 10^{-3}T$$

$$\Delta H_T = -73\,800 - 2,44T + 0,92 \times 10^{-3}T^2$$

$$\Delta F_T = -73\,800 + 2,44T \ln T -$$

$$- 0,92 \times 10^{-3}T^2 - 13,24T$$

Интервал II (386,8 — 464 °K)

$$\Delta C_p = -16,86 + 19,7 \times 10^{-3}T$$

$$\Delta H_T = -68600 - 16,86T + 9,85 \times 10^{-3}T^2$$

$$\Delta F_T = -68600 + 16,86T \ln T -$$

$$- 9,85 \times 10^{-3}T^2 - 19,76T$$

Интервал III (464 — 500 °K)

$$\Delta C_p = 10,73 - 2,96 \times 10^{-3}T$$

$$\Delta H_T = -73\,000 + 10,73T - 1,48 \times 10^{-3}T^2$$

$$\Delta F_T = -73\,000 - 10,73T \ln T +$$

$$+ 1,48 \times 10^{-3}T^2 + 65,13T$$

T, °K	H _T - H ₂₉₈	S _T	ΔH _T	ΔF _T
298	—	(46,0)	-74 400	(-73 600)
400	2 525	(53,26)	-73 500	(-73 400)
500	9 250	(67,97)	-68 200	(-73 400)

Карбид алюминия
Al₄C₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -39\,900 \text{ кал/моль [9]}$$

$$S_{298} = 25,2 \text{ э. е. [9]}$$

Интервал I (тв) (298 — 600 °K)

$$C_p = 24,08 + 31,6 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -8\,585 + 24,08T + 15,8 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $4\text{Al} + 3\text{C} \rightarrow \text{Al}_4\text{C}_3$

Интервал I (298 — 600 °K)

$$\Delta C_p = -8,02 + 16,7 \times 10^{-3}T +$$

$$+ 6,30 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -36\,150 - 8,02T + 8,35 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 6,30 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -36\,150 + 8,02T \ln T -$$

$$- 8,35 \times 10^{-3}T^2 - 3,15 \times 10^5 T^{-1} - 46,2T$$

T, °K	H _T - H ₂₉₈	S _T	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	25,2	-39 900	-38 100
400	3 560	35,5	-39 500	-37 600
500	7 430	44,1	-39 100	-37 150
600	11 530	51,55	-38 800	-36 800

Нитрид алюминия

AlN (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -64\,000 \text{ кал/моль [9]}$$

$$S_{298} = 3,8 \text{ э. е. [9]}$$

$$T_{\text{пл}} = 2500^\circ \text{ К [9]}$$

Интервал I (тв) (298 — 900° К)

$$C_p = 5,47 + 7,80 \times 10^{-3} T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1\,980 + 5,47T + 3,90 \times 10^{-3} T^2$$

Реакция образования: $\text{Al} + \frac{1}{2}\text{N}_2 \rightarrow \text{AlN}$

Интервал I (298 — 900° К)

$$\Delta C_p = -2,8 + 4,33 \times 10^{-3} T$$

$$\Delta H_T = -63\,400 - 2,8T + 2,16 \times 10^{-3} T^2$$

$$\Delta F_T = -63\,400 + 2,8T \ln T - 2,16 \times 10^{-3} T^2 + 8,4T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	3,8	-64 000	-56 300
400	600	6,19	-64 100	-53 600
500	1 230	8,24	-64 200	-51 000
600	1 890	10,04	-64 200	-48 300
700	2 580	11,64	-64 200	-45 700
800	3 310	13,1	-64 200	-43 200
900	4 060	14,46	-64 200	-40 400

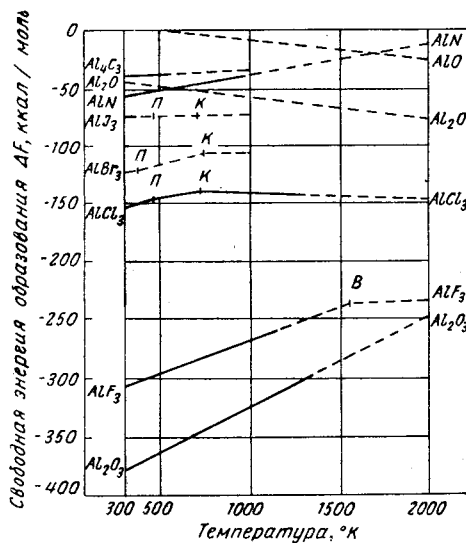


Рис. 1. Алюминий

Сурьма и ее соединения

Элемент

Sb (тв)

$$S_{298} = 10,5 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 903^\circ \text{ К [82]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 4740 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 1713^\circ \text{ К [112]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (46700) \text{ кал/г-атом [94]}$$

Интервал I (тв) (298 — 903° К)

$$C_p = 5,51 + 1,74 \times 10^{-3} T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1720 + 5,51T + 0,87 \times 10^{-3} T^2$$

$$F_T - H_{298} = 1720 - 5,51T \ln T - 0,87 \times 10^{-3} T^2 + 26,93T$$

Интервал II (ж) (903 — 1300° К)

$$C_p = 7,50 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = +1940 + 7,50T$$

$$F_T - H_{298} = +1940 - 7,50T \ln T + 35\,62T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	10,5	10,5
400	625	12,3	10,75
500	1 250	13,69	11,20
600	1 890	14,86	11,71
700	2 550	15,88	12,24
800	3 240	16,80	12,75
900	3 950	17,64	13,26
1 000	4 440	23,68	14,24
1 100	10 190	24,39	15,12
1 200	10 940	25,04	15,92
1 300	11 690	25,64	16,65
1 400	(12 440)	(26,2)	(17,26)
1 500	(13 190)	(26,8)	(17,91)
1 600	(13 940)	(27,3)	(18,47)
1 700	(14 690)	(27,8)	(19,01)
1 800	—	(28,9)	(20,35)
1 900	—	(29,3)	(20,80)
2 000	—	(39,3)	(21,43)

Трехокись сурьмы (ромбическая)
Sb₂O₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -168\,500 \text{ кал/моль [113]}$$

$$S_{298} = 29,4 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 928^\circ \text{K [24]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 13\,500 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1698^\circ \text{K [24]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 8910 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (ТВ) (298 — 929°K)

Расчетное уравнение $C_p = 19,1 + 17,1 \times 10^{-3}T$ [82]

$$H_T - H_{298} = -6450 + 19,1T + 8,55 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $2\text{Sb} + \frac{3}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{Sb}_2\text{O}_3$

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-168 500	-149 100
400	(2220)	(-168 300)	(-142 500)
500	(5180)	(-168 000)	(-136 100)

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
600	(7 800)	(-167 600)	(-129 700)
700	(10 980)	(-167 100)	(-123 500)
800	(14 260)	(-166 400)	(-117 300)
900	(17 700)	(-165 600)	(-111 200)
1 000	(35 020)	(-160 500)	(-105 200)
1 100	(38 990)	(-159 200)	(-99 800)
1 200	(42 940)	(-158 000)	(-94 400)
1 300	(46 990)	(-156 700)	(-89 200)
1 400	(50 950)	(-155 500)	(-84 000)
1 500	(55 100)	(-154 300)	(-79 000)
1 600	(58 940)	(-153 100)	(-74 000)
1 700	(61 880)	(-153 000)	(-69 100)
1 800	—	(-236 600)	(-60 000)
1 900	—	(-236 900)	(-50 200)
2 000	—	(-237 200)	(-40 300)

Трехокись сурьмы (кубическая,
ромбическая)

Sb₂O₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -169\,900 \text{ кал/моль [111]}$$

$$S_{298} = 27,7 \text{ э. е. [24]}$$

$$T_{\text{прев}} = 842^\circ \text{K [24]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 1390 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 928^\circ \text{K [24]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 13\,500 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1698^\circ \text{K [24]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 8910 \text{ кал/моль}$$

Интервал (298 — 842°K)

Расчетное уравнение: $C_p = 19,1 +$

$+ 17,1 \times 10^{-3}T$ [82]

$$H_T - H_{298} = -6450 + 19,1T +$$

$$+ 8,55 \times 10^{-3}T^2 \text{ [82]}$$

Реакция образования: $2\text{Sb} + \frac{3}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{Sb}_2\text{O}_3$

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-169 900)	(-150 000)
400	(2 220)	(-169 700)	(-143 200)
500	(5 180)	(-169 400)	(-136 600)
600	(7 800)	(-169 000)	(-130 100)
700	(11 080)	(-168 400)	(-123 700)
800	(14 260)	(-167 800)	(-117 400)
900	(19 100)	(-165 600)	(-111 200)
1 000	(36 420)	(-160 500)	(-105 200)
1 100	(40 390)	(-159 200)	(-99 800)
1 200	(44 340)	(-158 000)	(-94 400)
1 300	(48 390)	(-156 700)	(-89 200)
1 400	(52 350)	(-155 500)	(-84 000)
1 500	(56 500)	(-154 300)	(-79 000)
1 600	(60 340)	(-153 100)	(-74 000)
1 700	(63 280)	(-143 000)	(-69 100)
1 800	—	(-236 600)	(-60 000)
1 900	—	(-236 900)	(-50 200)
2 000	—	(-237 200)	(-40 300)

Четырехокись сурьмы

 Sb_2O_4 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-209\,000) \text{ кал/моль [24]}$$

$$S_{298} = 30,4 \text{ э. е. [24]}$$

Температура разложения 1203° К [24]

Реакция образования: $2\text{Sb} + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{Sb}_2\text{O}_4$

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-209 000)	(-182 500)
400	(2 700)	(-209 000)	(-173 500)
500	(5 900)	(-208 500)	(-164 500)
600	(9 200)	(-208 000)	(-156 000)
700	(12 600)	(-207 500)	(-147 500)
800	(16 000)	(-207 000)	(-138 500)
900	(19 600)	(-206 500)	(-130 000)
1 000	(23 200)	(-215 500)	(-120 500)
1 100	(27 400)	(-214 500)	(-111 500)
1 200	(31 400)	(-213 500)	(-102 000)

Пятиокись сурьмы

 Sb_2O_5 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-229\,000) \text{ кал/моль [24]}$$

$$S_{298} = 31,3 \text{ э. е. [24]}$$

Температура разложения 673° К [24]

Реакция образования $2\text{Sb} + 5/2\text{O}_2 \rightarrow \text{Sb}_2\text{O}_5$

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-229 000)	(-195 500)
400	(3 050)	(-229 000)	(-183 500)
500	(6 650)	(-228 500)	(-172 500)
600	(10 800)	(-227 500)	(-161 500)

Трехфтористая сурьма

 SbF_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -216\,600 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (38) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 565^\circ \text{ К [6]}$$

$$T_{\text{кип}} = 649^\circ \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (14000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Sb} + 3/2\text{F}_2 \rightarrow \text{SbF}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-216 600)	(-203 200)
500	(6 000)	(-213 600)	(-193 100)

Треххлористая сурьма

 SbCl_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -91\,400 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = 44,7 \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 346,4^\circ \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 3030 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 494^\circ \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 10\,362 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 346° К)

$$C_p = 10,3 + 51,1 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -5300 + 10,3T +$$

$$+ 25,55 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $\text{Sb} + \frac{3}{2}\text{Cl}_2 \rightarrow \text{SbCl}_3$

Расчетные данные [11]

Интервал I (298 — 346° К)

$$C_p = -8,44 + 49,26 \times 10^{-3}T + 1,02 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -90\,700 - 8,44T + 24,63 \times 10^{-3}T^2 - 1,02 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -90\,700 + 8,44T \ln T - 24,63 \times 10^{-3}T^2 - 0,51 \times 10^5 T^{-1} + 3,4T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-91 400	-77 800
500	(17 400)	(-78 000)	(-71 100)

Трехбромистая сурьма SbBr_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-59\,900) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = 53,5 \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 370^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 3510 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 561^\circ \text{K}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (12\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Sb} + \frac{3}{2}\text{Br}_2 \rightarrow \text{SbBr}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-59 900	(-56 000)
500	(7 000)	(-68 400)	(-51 300)

Трехйодистая сурьма SbJ_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (22\,800) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (57) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 444^\circ \text{K [6]}$$

$$T_{\text{кип}} = 700^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (15\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Sb} + \frac{3}{2}\text{J}_2 \rightarrow \text{SbJ}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-22 800)	(-24 100)
500	(7 000)	(-42 000)	(-25 500)

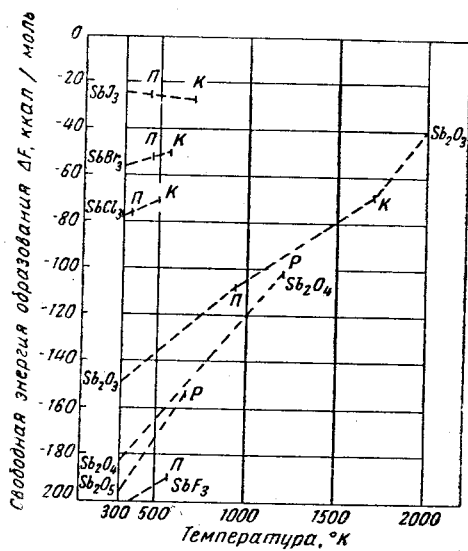


Рис. 2. Сурьма

Мышьяк и его соединения

Элемент
As (тв)

$$S_{298} = 8,40 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{возг}} = 886^\circ \text{K [130]}$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = 7630 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (тв) (298 — 883° К)

$$C_p = 5,23 + 2,22 \times 10^{-3}T [82]$$

$$H_T - H_{298} = -1658 + 5,23T +$$

$$+ 1,11 \times 10^{-3}T^2$$

$$F_T - H_{298} = -1658 - 5,23T \ln T -$$

$$-1,11 \times 10^{-3} T^2 + 27,28T$$

Выше 883° К двухатомный газ

Расчетные данные [124]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	8,40	8,4
400	610	10,16	8,64
500	1 240	11,54	9,06
600	1 880	12,73	9,60
700	2 540	13,75	10,12
800	3 230	14,68	10,64
900	(26 630)	(33,39)	(3,81)
1 000	(27 070)	(33,86)	(6,79)
1 100	(27 520)	(34,28)	(9,27)
1 200	(27 960)	(34,67)	(11,37)
1 300	(28 410)	(35,03)	(13,18)
1 400	(28 850)	(35,36)	(14,76)
1 500	(29 300)	(35,67)	(16,14)
1 600	(29 740)	(35,95)	(17,37)
1 700	(30 190)	(36,22)	(18,47)
1 800	(30 640)	(36,48)	(19,46)
1 900	(31 080)	(36,72)	(20,37)
2 000	(31 530)	(36,95)	(21,19)

Трехокись мышьяка (ромбическая)
As₂O₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = 157\,000 \text{ кал/моль [114]}$$

$$S_{298} = 25,6 \text{ э. е. [112]}$$

$$T_{\text{прев}} = 506^\circ \text{ К [24]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 4110 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 542^\circ \text{ К [24]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 7930 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 730,3^\circ \text{ К [24]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 14\,300 \text{ кал/моль As}_4\text{O}_6$$

Реакция образования: $2\text{As} + \frac{3}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{As}_2\text{O}_3$

Расчетные данные (24)

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	—157 000	—137 700
400	(2 550)	(—156 750)	(—131 150)
500	(5 610)	(—156 050)	(—124 800)
600	(17 225)	(—146 850)	(—119 500)
700	(21 200)	(—145 350)	(—115 100)
800	(31 100)	(—138 050)	(—111 500)
900	(36 500)	(—154 000)	(—107 850)
1 000	(38 200)	(—154 000)	(—102 700)
1 100	(39 800)	(—154 050)	(—97 600)
1 200	(41 500)	(—154 050)	(—92 450)
1 300	(43 000)	(—154 150)	(—87 300)
1 400	(44 700)	(—154 200)	(—82 200)
1 500	(46 500)	(—154 300)	(—77 050)
1 600	(48 000)	(—154 400)	(—71 900)
1 700	(49 700)	(—154 500)	(—66 700)
1 800	(51 400)	(—154 650)	(—61 550)
1 900	(52 900)	(—154 800)	(—56 400)
2 000	(54 500)	(—154 950)	(—51 200)

Трехокись мышьяка
(моноклиническая),
As₂O₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -152\,900 \text{ кал/моль [114]}$$

$$S_{298} = 33,6 \text{ э. е. [24]}$$

$$T_{\text{пл}} = 586^\circ \text{ К [24]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 4000 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 730,3^\circ \text{ К [24]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 14\,300 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $2\text{As} + \frac{3}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{As}_2\text{O}_3$

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	—152 900	—136 000
400	(2 600)	(—152 600)	(—130 300)
500	(5 550)	(—152 000)	(—124 800)
600	(13 200)	(—146 800)	(—119 500)
700	(17 100)	(—145 300)	(—115 100)
800	(26 900)	(—138 100)	(—111 500)
900	(32 400)	(—154 000)	(—107 800)
1 000	(34 100)	(—154 000)	(—102 700)
1 100	(35 700)	(—154 000)	(—97 600)
1 200	(37 300)	(—154 100)	(—92 500)
1 300	(39 000)	(—154 100)	(—87 300)
1 400	(40 600)	(—154 200)	(—82 200)
1 500	(42 400)	(—154 300)	(—77 000)
1 600	(43 900)	(—154 400)	(—71 900)
1 700	(45 600)	(—154 500)	(—66 700)
1 800	(47 200)	(—154 600)	(—61 600)
1 900	(48 800)	(—154 800)	(—56 400)
2 000	(50 600)	(—155 000)	(—51 200)

Четырехокись мышьяка
As₂O₄ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -175\,500 \text{ кал/моль [14]}$$

$$S_{298} = (36) \text{ э. е. [24]}$$

Реакция образования: $2\text{As} + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{As}_2\text{O}_4$

Расчетные данные [24]

<i>T</i> , °К	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	—175 500	—149 000
400	(2 700)	(—175 500)	(—140 000)
500	(5 900)	(—175 000)	(—131 000)
600	(9 200)	(—174 500)	(—122 000)
700	(12 500)	(—174 000)	(—113 500)
800	(17 000)	(—172 500)	(—105 000)
900	(22 500)	(—186 500)	(—96 000)
1 000	(26 200)	(—184 500)	(—86 000)
1 100	(30 300)	(—182 000)	(—76 500)
1 200	(35 000)	(—179 000)	(—67 000)
1 300	(39 700)	(—176 000)	(—58 000)
1 400	(44 900)	(—172 500)	(—49 000)
1 500	(50 300)	(—169 000)	(—40 000)

Пятиокись мышьяка
As₂O₅ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -218\,500 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 25,2 \text{ э. е. [112]}$$

Реакция образования: $2\text{As} + 5/2\text{O}_2 \rightarrow \text{As}_2\text{O}_5$

Расчетные данные (24)

<i>T</i> , °К	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	—218 500	—184 500
400	(3 000)	(—218 500)	(—173 000)
500	(6 600)	(—219 000)	(—161 500)
600	(9 800)	(—219 000)	(—150 000)
700	(12 500)	(—218 500)	(—138 500)
800	(15 900)	(—218 500)	(—127 000)
900	(23 100)	(—233 500)	(—115 500)
1 000	(26 600)	(—232 500)	(—102 500)
1 100	(30 000)	(—231 500)	(—89 500)
1 200	(33 500)	(—230 500)	(—76 500)
1 300	(37 600)	(—229 000)	(—63 500)
1 400	(41 700)	(—227 500)	(—51 000)
1 500	(46 000)	(—226 000)	(—38 500)
1 600	(49 800)	(—224 500)	(—26 000)
1 700	(54 500)	(—222 500)	(—13 500)
1 800	(59 200)	(—220 500)	(—1 500)
1 900	(64 400)	(—218 000)	(+10 500)
2 000	(69 400)	(—216 000)	(+22 500)

Трехфтористый мышьяк
AsF₃ (Ж)

$$\Delta H_{298}^0 = -218\,300 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 69,08 \text{ э. е. [112]}$$

$$\Delta F_{298}^0 = -214\,700 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 267,2^\circ \text{ К [112]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 2486 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 333^\circ \text{ К [94]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 7100 \text{ кал/моль}$$

Треххлористый мышьяк
AsCl₃ (Ж)

$$\Delta H_{298}^0 = -80\,200 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 55,8 \text{ э. е. [112]}$$

$$\Delta F_{298}^0 = -70\,400 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 257^\circ \text{ К [112]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 2420 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 403^\circ \text{ К [112]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 7500 \text{ кал/моль}$$

Трехбромистый мышьяк
AsBr₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -46\,610 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = (53) \text{ э. е. [112]}$$

$$T_{\text{пл}} = 304^\circ \text{ К [112]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 2810 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 494^\circ \text{ К [112]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 10\,000 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{As} + 3/2\text{Br}_2 \rightarrow \text{AsBr}_3$

Расчетные данные [11]

<i>T</i> , °К	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	—46 600	(—43 600)
500	(19 000)	(—43 000)	(—36 800)

Трехйодистый мышьяк

AsJ₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -13\,700 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = (55) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 415^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 2200 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 687^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 14\,200 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{As} + {}^3/2\text{J}_2 \rightarrow \text{AsJ}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-13 700	(-15 000)
500	(9 000)	(-31 000)	(-13 900)

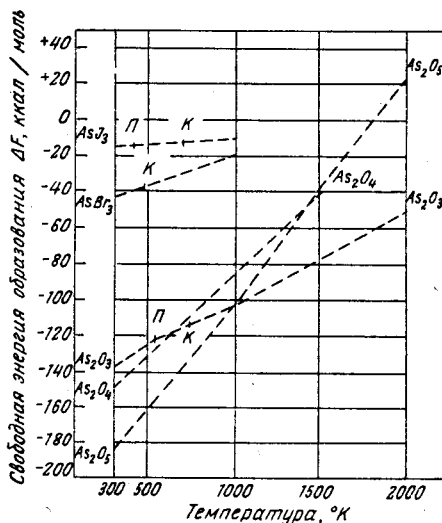


Рис. 3. Мышьак

Барий и его соединения

Элемент

Ba (тв)

$$S_{298} = 16,0 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 983^\circ \text{K [93]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 1830 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 1911^\circ \text{K [130]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 35\,700 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (тв) (298 — 983°K)

$$C_p = 5,55 + 1,50 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1720 + 5,55T +$$

$$+ 0,75 \times 10^{-3}T^2$$

$$F_T - H_{298} = 1720 - 5,55T \ln T -$$

$$- 0,75 \times 10^{-3}T^2 + 21,55T$$

Интервал II (ж) (983 — 1125°K)

$$C_p = 11,5 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -4250 + 11,5T$$

$$F_T - H_{298} = -4250 - 11,5T \ln T + 64,6T$$

Выше 1125°K расчетные данные [131]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	16,0	16,0
400	620	17,8	16,25
500	1 240	19,25	16,77
600	1 880	20,4	17,26
700	2 430	21,4	17,93
800	3 200	22,3	18,30
900	3 880	23,1	18,80
1 000	7 247	26,38	19,15
1 100	7 990	27,10	19,83
1 200	(8 750)	(27,75)	(20,47)
1 300	(9 500)	(28,35)	(21,05)
1 400	(10 250)	(28,91)	(21,60)
1 500	(11 000)	(29,42)	(22,09)
1 600	(11 750)	(29,91)	(22,57)
1 700	(13 000)	(30,36)	(23,01)
1 800	(13 250)	(30,79)	(23,44)
1 900	(14 000)	(31,20)	(23,84)

Оксид бария

BaO (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -133\,400 \text{ кал/моль [50]}$$

$$S_{298} = 16,8 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 2196^\circ \text{K [8]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 13\,800 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 3000^\circ \text{K [8]}$$

Интервал I (тв) (298 — 1300° K)

$$C_p = 12,74 + 1,040 \times 10^{-3}T -$$

$$-1,984 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -4500 + 12,74T +$$

$$+ 0,52 \times 10^{-3}T^2 + 1,984 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: Ba + 1/2 O₂ → BaO

Интервал I (298 — 983° K)

$$\Delta C_p = 3,63 - 0,96 \times 10^{-3}T - 1,78 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -135\,000 + 3,63T - 0,48 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 1,78 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -135\,000 - 3,63T \ln T + 0,48 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 0,89 \times 10^5 T^{-1} + 48,77 T$$

Интервал II (983 — 1125° K)

$$\Delta C_p = -2,32 + 0,54 \times 10^{-3}T -$$

$$-1,78 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -132\,700 - 2,32T + 0,27 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 1,78 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -132\,700 + 2,32T \ln T - 0,27 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 0,89 \times 10^5 T^{-1} + 4,8T$$

T, °K	H _T - H ₂₉₈	S _T	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	16,8	-133 400	-126 300
400	1 200	20,3	-133 200	-124 000
500	2 400	22,9	-133 000	-121 650
600	3 700	25,3	-132 700	-119 400
700	4 900	27,2	-132 400	-117 100
800	6 300	29,0	-132 200	-115 000
900	7 600	30,7	-132 000	-113 100
1 000	8 950	32,0	-134 600	-111 100
1 100	10 300	33,2	-134 200	-108 500
1 200	—	—	(-133 500)	(-106 000)
1 300	—	—	(-133 500)	(-103 500)
1 400	—	—	(-133 500)	(-101 500)
1 500	(15 900)	—	(-133 500)	(-99 000)
1 600	—	—	(-133 000)	(-96 500)
1 700	—	—	(-132 500)	(-94 500)
1 800	—	—	(-132 500)	(-92 500)
1 900	—	—	(-132 000)	(-90 000)
2 000	(23 150)	—	(-167 000)	(-86 000)

Двуокись (перекись) бария

BaO₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -151\,890 \pm 250 \text{ кал/моль [139]}$$

$$S_{298} = 22,62 \text{ э. е. [24]}$$

Реакция образования: Ba + O₂ → BaO₂

Расчетные данные [24]

T, °K	H _T - H ₂₉₈	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	152 000	-139 500
400	(1 300)	(-152 000)	(-135 500)
500	(3 200)	(-151 500)	(-131 000)
600	(5 100)	(-151 000)	(-127 000)
700	(6 400)	(-151 000)	(-123 000)
800	(8 500)	(-150 500)	(-119 500)
900	(9 500)	(-150 000)	(-115 500)
1 000	(11 900)	(-152 000)	(-111 500)
1 100	(13 000)	(-151 500)	(-107 500)
1 200	—	(-151 500)	(-103 500)
1 300	—	(-151 000)	(-99 500)
1 400	—	(-150 500)	(-95 500)
1 500	(22 000)	(-150 500)	(-91 500)

Фтористый барий

BaF₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -286\,900 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 23,03 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1593^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{пл} = 3000 \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 2473^\circ \text{K} [94]$$

$$\Delta H_{исп} = 70000 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (ТВ) (298 — 1300° K)

$$C_p = 13,98 + 10,20 \times 10^{-3}T [82]$$

$$H_T - H_{298} = -4600 + 13,98T + 5,10 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $\text{Ba} + \text{F}_2 \rightarrow \text{BaF}_2$

Интервал I (298 — 983° K)

$$C_p = 0,14 + 8,26 \times 10^{-3}T + 0,80 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -287\,000 + 0,14T + 4,13 \times 10^{-3}T^2 - 0,80 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -287\,000 - 0,14T \ln T - 4,13 \times 10^{-3}T^2 - 0,40 \times 10^5 T^{-2} + 44,48T$$

Интервал II (983 — 1125° K)

$$\Delta C_p = -5,81 + 9,76 \times 10^{-3}T + 0,80 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -284\,800 - 5,81T + 4,88 \times 10^{-3}T^2 - 0,80 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -284\,800 + 5,81T \ln T - 4,88 \times 10^{-3}T^2 - 0,40 \times 10^5 T^{-1} + 1,91T$$

Хлористый барий

BaCl_2 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -205\,300 \text{ кал/моль} [11]$$

$$S_{298} = (29) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{пл} = 1233^\circ \text{K} [6] \text{ 960}^\circ$$

$$\Delta H_{пл} = 5370 \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 2100^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{исп} = (50\,000) \text{ кал/моль}$$

Интервал I (ТВ) (298 — 1198° K)

$$C_p = 17,0 + 3,34 \times 10^{-3}T [82]$$

$$H_T - H_{298} = -5200 + 17,0T + 1,67 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $\text{Ba} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{BaCl}_2$

Интервал I (298 — 983° K)

$$\Delta C_p = 2,63 + 1,78 \times 10^{-3}T + 0,68 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -206\,000 + 2,63T + 0,89 \times 10^{-3}T^2 - 0,68 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -206\,000 - 2,63T \ln T - 0,89 \times 10^{-3}T^2 - 0,34 \times 10^5 T^{-1} + 58,13T$$

Интервал II (983 — 1125° K)

$$C_p = -3,32 + 3,28 \times 10^{-3}T +$$

$$+ 0,68 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -203\,400 - 3,32T + 1,64 \times 10^{-3}T^2 - 0,68 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -203\,400 - 3,32T \ln T - 1,64 \times 10^{-3}T^2 - 0,34 \times 10^5 T^{-1} + 14,68T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$\frac{H_{298}}{H_T}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	23,03	-286 900	-274 500
400	1 850	28,36	-286 450	-270 350
500	3 700	32,48	-286 000	-266 300
600	5 650	36,04	-285 550	-262 450
700	7 650	39,12	-284 950	-257 550
800	9 700	41,85	-284 500	-254 900
900	11 900	44,44	-283 850	-251 250
1 000	14 200	46,86	-285 800	-247 700
1 100	16 700	49,25	-283 800	-243 900
1 200	(19 500)	—	(-283 770)	(-241 600)
1 300	(22 200)	—	(-283 110)	(-238 200)

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(29, 0)	—205 300	(—193 300)
400	1 900	(34, 64)	—204 900	(—189 300)
500	3 700	(38, 67)	—204 500	(—185 300)
600	5 600	(42, 1)	—204 100	(—181 300)
700	7 500	(44, 94)	—203 650	(—178 700)
800	9 500	(47, 57)	—203 300	(—174 000)
900	11 500	(49, 9)	—202 900	(—170 500)
1 000	13 500	(51, 84)	—205 100	(—166 700)
1 100	15 500	(54, 3)	—204 600	(—163 500)
1 500	(24 050)	—	—	(—149 000)
2 000	(35 500)	—	—	(—133 000)

Бромистый барий

BaBr_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -180\,000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S = (35) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1120^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (6000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 2100^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (50\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Ba} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{BaBr}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(35)	(—180 000)	(—175 000)
500	(3 800)	(45)	(—187 000)	(—167 000)
1 000	(13 700)	(58)	(—187 000)	(—148 000)
1 500	(31 400)	(73)	(—178 000)	(—131 500)

Иодистый барий

BaI_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -144\,600 \pm 1000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = 39 \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 984^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (6800) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2000^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (45\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Ba} + \text{I}_2 \rightarrow \text{BaI}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(39)	—144 600	(—143 000)
500	(3 800)	(49)	(—158 700)	(—140 000)
1 000	(20 700)	(70)	(—151 500)	(—121 500)
1 500	(32 700)	(80)	(—148 500)	(—105 500)

Нитрид бария

Ba_3N_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -90\,600 \text{ кал/моль [9]}$$

$$S_{298} = 36,4 \text{ э. е. [9]}$$

Температура разложения 1270°K

Реакция образования $3\text{Ba} + \text{N}_2 \rightarrow \text{Ba}_3\text{N}_2$

Расчетные данные (9)

$T, ^\circ\text{K}$	ΔF_T^0
298	(—73 400)
500	(—61 900)
1 000	(—33 200)

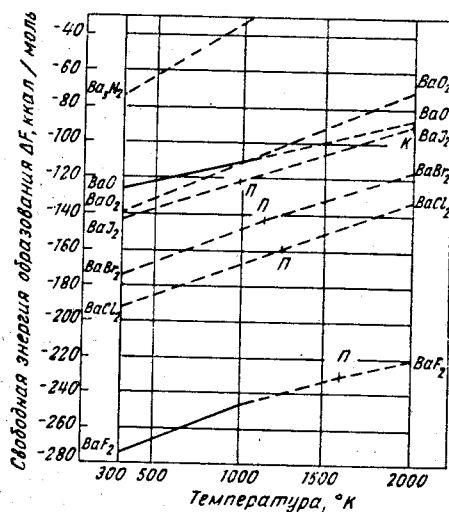


Рис. 4. Барий

Бериллий и его соединения

Элемент
Be (тв)

$$S_{298} = 2,28 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{пл} = 1556^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{пл} = 2300 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{кип} = 3243^\circ \text{K [138]}$$

$$\Delta H_{исп} = 53\,490 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (тв) (298—1300°K)

$$C_p = 3,40 + 2,90 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1143 + 3,40T + 1,45 \times 10^{-3}T^2$$

$$F_T - H_{298} = -1143 - 3,40T \ln T - 1,45 \times 10^{-3}T^2 + 21,34T$$

Интервал I (тв) (298—1200°K)

$$C_p = 8,45 + 4,00 \times 10^{-3}T - 3,17 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -3760 + 8,45T + 2,00 \times 10^{-3}T^2 + 3,17 \times 10^5 T^{-1}$$

Интервал II (тв) (1200—2000°K)

Расчетные данные [24]

Реакция образования: $\text{Be} + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{BeO}$

Интервал I (298—1000°K)

$$\Delta C_p = +1,47 + 0,60 \times 10^{-3}T - 2,97 \times 10^5 T^{-2}$$

$$H_T = -144\,560 + 1,47T + 0,30 \times 10^{-3}T^2 + 2,97 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -144\,560 + 1,47T \ln T -$$

$$-0,30 \times 10^{-3}T^2 + 1,48 \times 10^5 T^{-1} + 35,15T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	2,28	2,28
400	415	3,48	2,44
500	900	4,56	2,76
600	1 415	5,50	3,14
700	1 965	6,14	3,33
800	2 535	7,10	3,93
900	3 135	7,81	4,33
1 000	3 745	8,45	4,70
1 100	4 365	9,04	5,07
1 200	4 990	9,59	5,43
1 300	5 615	10,09	5,77
1 400	(6 460)	(10,72)	(6,11)
1 500	(7 220)	(11,25)	(6,44)

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	3,37	-143 100	-136 100
400	730	5,46	-143 150	-133 700
500	1 580	7,35	-143 250	-131 400
600	2 540	9,10	-143 100	-128 800
700	3 600	10,73	-142 900	-126 800
800	4 700	12,20	-142 800	-124 350
900	5 830	13,53	-142 700	-122 000
1 000	7 010	14,77	-142 550	-119 750
1 100	8 240	15,95	-142 300	-117 450
1 200	9 510	17,05	-142 100	-115 250
1 300	(10 870)	—	(-141 900)	(-112 850)
1 400	(12 200)	—	(-141 700)	(-111 150)
1 500	(13 630)	—	(-140 500)	(-109 250)
2 000	(21 300)	—	(-142 900)	(- 97 000)

Оксид бериллия
BeO (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -143\,100 \text{ кал/моль [22]}$$

$$S_{298} = 3,37 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{пл} = 2823^\circ \text{K [42]}$$

$$\Delta H_{пл} = 17\,000 \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 4533^\circ \text{K [42]}$$

$$\Delta H_{исп} = 117\,000 \text{ кал/моль}$$

Двуфтористый бериллий
BeF₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-227\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

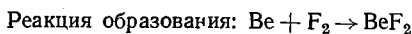
$$S_{298} = (17) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{пл} = 1070^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{пл} = (6000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = (1600^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{исп} = (40\,000) \text{ кал/моль}$$



Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(17)	—227 000	(—216 900)
500	(3 400)	(25, 5)	(—226 000)	(—210 500)
1 000	(12 000)	(38)	(—224 500)	(—195 000)
1,500	(29 000)	(52, 7)	(—215 500)	(—183 500)

Двухлористый бериллий BeCl_2 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -112\,600 \text{ кал/моль} [11]$$

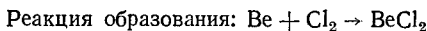
$$S_{298} = (23) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{пл} = 678^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{пл} = (3000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = (820^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{исп} = (25\,000) \text{ кал/моль}$$



Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(23)	—112 600	(—102 900)
500	(3 400)	(26, 4)	(—112 000)	(— 96 600)
1 000	(42 000)	(40)	(— 80 500)	(— 84 600)

Двубромистый бериллий BeBr_2 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -79\,400 \text{ кал/моль} [11]$$

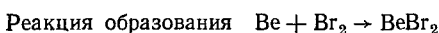
$$S_{298} = (29) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{пл} = 761^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{пл} = (4500) \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = (800^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{исп} = (22\,000) \text{ кал/моль}$$



Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(29)	—79 400	(—76 500)
500	(3 400)	(37, 5)	(—86 500)	(—70 500)
1 000	(39 000)	(58, 0)	(—58 000)	(—59 000)

Двойодистый бериллий BeJ_2 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-39\,400) \text{ кал/моль} [11]$$

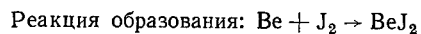
$$S_{298} = (31) \text{ э. е.} (11)$$

$$T_{пл} = 753^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{пл} = (4500) \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 760^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{исп} = (19\,000) \text{ кал/моль}$$



Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(31)	(—39 400)	(—39 400)
500	(3 400)	(39, 5)	(—53 500)	(—33 200)
1 000	(36 000)	(60)	(—28 300)	(—20 700)

Нитрид бериллия Be_3N_2 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -133\,500 \text{ кал/моль} [81]$$

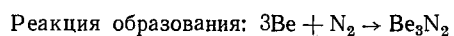
$$S_{298} = 12,0 \text{ э. е.} [81]$$

$$T_{пл} = 2470^\circ \text{K} [9]$$

Интервал I (ТВ) (298 — 800° K)

$$C_p = 7,32 + 30,8 \times 10^{-3}T [82]$$

$$H_T - H_{298} = -3550 + 7,32T + 15,4 \times 10^{-3}T^2$$



Интервал I (298 — 800° K)

$$\Delta C_p = -9,54 + 21,08 \times 10^{-3}T$$

$$\Delta H_T = -131\,600 - 9,54T + 10,54 \times 10^{-3}T^2$$

$$\Delta F_T = -131\,600 + 9,54T \ln T -$$

$$-10,54 \times 10^{-3} T^2 - 18,14T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	12,0	-133 500	-121 400
400	1 840	17,29	-133 600	-117 200
500	3 930	21,94	-133 700	-113 100
600	6 420	26,47	-133 450	-109 000
700	9 200	30,75	-133 000	-105 400
800	12 130	34,66	-132 500	-101 000
900	(15 500)	—	(-131 600)	(- 98 200)
1 000	(19 200)	—	(-130 600)	(- 94 500)
1 500	(42 200)	—	(-122 100)	(- 77 900)
2 000	(72 700)	—	(-108 500)	(- 65 100)

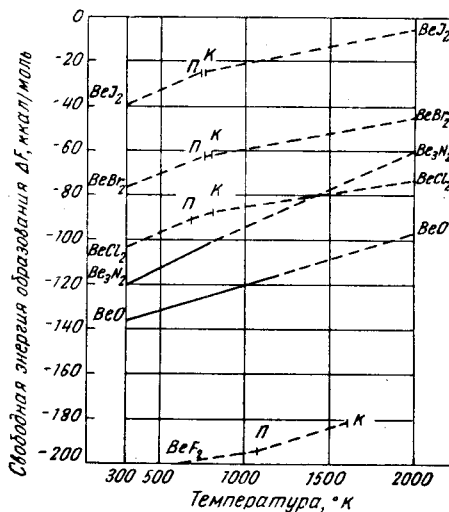


Рис. 5. Бериллий

Висмут и его соединения

Элемент

Bi (тв)

$$S_{298} = 13,6 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{пл} = 544,5^\circ \text{K [82]}$$

$$\Delta H_{пл} = 2600 \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 1832^\circ \text{K [130]}$$

$$\Delta H_{исп} = 36\,200 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298—544,5° K)

$$C_p = 4,49 + 5,40 \times 10^{-3} T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1579 + 4,49T + 2,70 \times 10^{-3} T^2$$

$$F_T - H_{298} = -1579 - 4,49T \ln T -$$

$$-2,70 \times 10^{-3} T^2 + 18,08T$$

Интервал II (ж) (544,5 — 1800° K)

$$C_p = 7,50 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = 180 + 7,50T$$

$$F_T - H_{298} = 180 - 7,50T \ln T + 32,34T$$

3*

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	$\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	13,6	13,6
400	650	15,47	13,84
500	1 340	17,01	14,33
600	4 680	23,14	15,34
700	5 430	24,30	16,54
800	6 180	25,30	17,58
900	6 930	26,18	18,48
1 000	7 680	26,97	19,29
1 100	8 430	27,67	20,01
1 200	9 180	28,32	20,67
1 300	9 930	28,92	21,29
1 400	10 680	29,47	21,85
1 500	11 430	29,99	22,37
1 600	12 180	30,48	22,87
1 700	12 930	30,93	23,32
1 800	13 680	31,36	23,76
1 900	(55 460)	(53,87)	(24,68)
2 000	(55 970)	(54,13)	(26,15)

Оксид висмута

BiO (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -49\,850 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = (16,4) \text{ э. е. [24]}$$

Реакция образования: $\text{Bi} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{BiO}$

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	—49 850	(—43 500)
400	(1 400)	(—49 500)	(—41 000)
500	(2 400)	(—49 500)	(—39 000)
600	(4 100)	(—51 500)	(—36 500)
700	(5 300)	(—51 500)	(—34 000)
800	(6 400)	(—51 500)	(—31 500)
900	(8 100)	(—51 000)	(—29 000)
1 000	(9 200)	(—51 000)	(—26 500)
1 100	(10 900)	(—50 500)	(—24 500)
1 200	(12 000)	(—50 500)	(—22 000)
1 300	(13 200)	(—50 500)	(—19 500)
1 400	(15 000)	(—50 000)	(—17 000)
1 500	(16 300)	(—50 000)	(—15 000)
1 600	(17 400)	(—49 500)	(—12 500)

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	36,2	—137 900	—118 700
400	2 770	44,2	—137 500	—112 150
500	5 630	50,56	—137 100	—105 800
600	8 550	55,89	—142 000	—99 100
700	11 550	60,51	—141 700	—92 000
800	14 620	64,61	—141 300	—84 850
900	(18 170)	(68,36)	(—140 500)	(—77 500)
1 000	(21 000)	(71,78)	(—140 300)	(—70 850)
1 100	—	—	(—132 500)	(—64 500)
1 200	—	—	(—131 500)	(—58 000)
1 300	—	—	(—130 500)	(—52 000)
1 400	—	—	(—129 000)	(—46 000)
1 500	—	—	(—128 000)	(—40 000)
1 600	—	—	(—126 500)	(—34 500)

Трехокись висмута Bi_2O_3 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -137\,900 \text{ кал/моль} \quad [112]$$

$$S_{298} = 36,2 \text{ э. е.} \quad [83]$$

$$T_{\text{пл}} = 1090^\circ \text{K} \quad [112]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 6800 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2160^\circ \text{K}) \quad [94]$$

Интервал (тв) (298—800° K)

$$C_p = 24,74 + 8,00 + 10^{-3}T \quad [82]$$

$$H_T - H_{298} = -7732 + 24,74T + \\ + 4,00 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $2\text{Bi} + \frac{3}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{Bi}_2\text{O}_3$

Интервал I (298—800° K)

$$\Delta C_p = 5,02 - 4,30 \times 10^{-3}T + \\ + 0,60 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -139\,000 + 5,02T - 2,15 \times \\ \times 10^{-3}T^2 - 0,60 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -139\,000 - 5,02T \ln T +$$

$$+ 2,15 \times 10^{-3}T^2 - 0,30 \times 10^5 T^{-1} + 96,5T$$

Выше 800° K

Фтористый висмут BiF_3 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-216\,000) \text{ кал/моль} \quad [11]$$

$$S_{298} = (34) \text{ э. е.} \quad [11]$$

$$T_{\text{пл}} = 1000^\circ \text{K} \quad [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (6200) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1300^\circ \text{K}) \quad [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (28\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Bi} + \frac{3}{2}\text{F}_2 \rightarrow \text{BiF}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(—216 000)	(—200 000)
500	(6 000)	(—213 500)	(—188,500)

Треххлористый висмут BiCl_3 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -90\,500 \text{ кал/моль} [11]$$

$$S_{298} = 45,8 \text{ э. е.} \quad [11]$$

$$T_{\text{пл}} = 502^\circ \text{K} \quad [6]$$

$$\Delta H_{пл} = 2600 \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 714^\circ \text{К} [6]$$

$$\Delta H_{исп} = 17354 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Bi} + 3/2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{BiCl}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-90 500	-76 000
500	(7 000)	(-87 500)	(-66 500)

Трехбромистый висмут

BiBr_3 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-60\,000) \text{ кал/моль} [11]$$

$$S_{298} = (54) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{пл} = 491^\circ \text{К} [6]$$

$$\Delta H_{пл} = (4000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 734^\circ \text{К} [6]$$

$$\Delta H_{исп} = 18\,024 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Bi} + 3/2\text{Br}_2 \rightarrow \text{BiBr}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-60 000)	(-55 800)
500	(7 000)	(-68 600)	(-47 500)

Трехйодистый висмут

BiI_3 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -23\,700 \text{ кал/моль} [11]$$

$$S_{298} = (55) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{пл} = 681^\circ \text{К} [6]$$

Температура разложения $733^\circ \text{К} [6]$

Реакция образования: $\text{Bi} + 3/2\text{I}_2 \rightarrow \text{BiI}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-23 700	(-23 500)
500	(6 000)	(-44 000)	(-20 000)

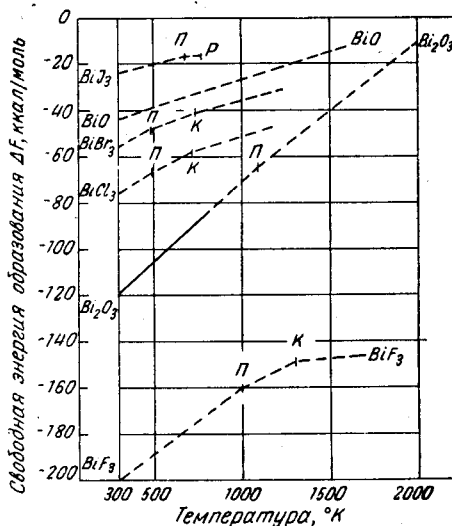


Рис. 6. Висмут

Бор и его соединения

Элемент

В (ТВ)

$$S_{298} = 1,4 \text{ э. е.} [75]$$

$$T_{пл} = 2300^\circ \text{К} [24]$$

$$\Delta H_{пл} = 5300^\circ \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (ТВ) (298 — 1200° К)

$$C_p = 1,54 + 4,40 \times 10^{-3}T [82]$$

$$H_T - H_{298} = -655 + 1,54T +$$

$$+ 2,20 \times 10^{-3}T^2$$

$$F_T - H_{298} = -655 - 1,54T \ln T -$$

$$- 2,20 \times 10^{-3}T^2 + 10,21T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	1,4	1,4
400	300	2,27	1,52
500	660	3,07	1,75
600	1 080	3,83	2,03
700	1 540	4,54	2,34
800	2 040	5,20	2,65
900	2 570	5,82	2,96
1 000	3 130	6,41	3,28
1 100	3 700	6,94	3,57
1 200	4 270	7,45	3,90
1 500	(6 600)	(9,15)	(4,88)
2 000	(11 225)	(11,15)	(6,21)

Одноокись бора BO (г)

$$\Delta H_{298}^0 = 5300 \text{ кал/моль} \quad [112]$$

$$S_{298} = 48,60 \text{ э. е.} \quad [83]$$

$$\Delta F_{298}^0 = 11 600 \text{ кал/моль}$$

Окись бора B₂O₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -305 400 \text{ кал/моль} \quad [112]$$

$$S_{298} = 13,04 \text{ э. е.} \quad [83]$$

$$T_{\text{пл}} = 723^\circ \text{K} \quad [82]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 5500 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 2300^\circ \text{K} \quad [42]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (70 000) \text{ кал/моль}$$

Интервал I (ТВ) (298 — 723° K)

$$C_P = 8,73 + 25,40 \times 10^{-3}T -$$

$$- 1,31 \times 10^5 T^{-2} \quad [82]$$

$$H_T - H_{298} = -4170 + 8,73T + 12,70 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 1,31 \times 10^5 T^{-1}$$

Интервал II (Ж) (723 — 1800° K)

$$C_P = 30,50 \quad [82]$$

$$H_T - H_{298} = -7590 + 30,50T$$

Реакция образования: $2\text{B} + \frac{3}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{B}_2\text{O}_3$

Интервал I (298 — 723° K)

$$\Delta C_P = -5,09 + 15,1 \times 10^{-3}T -$$

$$- 0,71 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -304 690 - 5,09T + 7,55 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 0,71 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -304 690 + 5,09T \ln T -$$

$$- 7,55 \times 10^{-3}T^2 + 0,355 \times 10^5 T^{-1} + 34,3T$$

Интервал II (723 — 1200° K)

$$\Delta C_P = 16,68T - 10,3 \times 10^{-3}T +$$

$$+ 0,60 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -308 150 + 16,68T -$$

$$- 5,15 \times 10^{-3}T^2 - 0,60 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -308 150 - 16,68T \ln T + 5,15 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,30 \times 10^5 T^{-1} + 173,25T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	13,04	—305 400	—286 400
400	1 640	17,75	—305 400	—279 900
500	3 700	22,33	—305 200	—273 400
600	5 860	26,27	—305 000	—267 000
700	8 350	30,10	—304 600	—261 200
800	16 810	41,65	—298 350	—254 900
900	19 860	45,24	—297 600	—249 700
1 000	22 910	48,45	—296 900	—244 500
1 100	25 960	51,36	—296 250	—239 150
1 200	29 010	54,02	—295 600	—234 000
1 300	32 060	56,45	(—295 200)	(—229 500)
1 400	35 110	58,71	(—294 900)	(—224 600)
1 500	38 160	60,82	(—294 700)	(—219 300)
1 600	41 210	62,79	(—294 500)	(—214 300)
1 700	44 260	64,64	(—294 200)	(—209 400)

Трехфтористый бор (BF₃) (г)

$$\Delta H_{298}^0 = -273 500 \text{ кал/моль} \quad [42]$$

$$S_{298} = 60,70 \text{ э. е.} \quad [112]$$

$$T_{\text{пл}} = 145^\circ \text{K} \quad [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 480 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 172,2^\circ \text{K} \quad [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 4620 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (г) (298 — 1000° K)

$$C_P = 12,44 + 6,70 \times 10^{-3}T -$$

$$- 2,12 \times 10^5 T^{-2} \quad [82]$$

$$H_T - H_{298} = -4720 + 12,44T + 3,35 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 2,12 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $B + \frac{3}{2}F_2 \rightarrow BF_3$

Интервал I (298 — 1000° K)

$$\Delta C_p = -1,54 + 1,64 \times 10^{-3} T - 0,92 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -273\,420 - 1,54T + 0,82 \times 10^{-3} T^2 + 0,92 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -273\,420 + 1,54T \ln T - 0,82 \times 10^{-3} T^2 + 0,46 \times 10^5 T^{-1} + 4,54T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	60,70	-273 500	-269 400
400	1 320	64,50	-273 660	-267 950
500	2 765	67,72	-273 780	-266 500
600	4 320	70,55	-273 890	-265 000
700	5 965	73,08	-273 970	-263 500
800	7 695	75,36	-274 050	-262 050
900	9 430	77,43	-274 110	-260 550
1 000	11 230	79,33	-274 175	-259 050
1 100	(13 240)	—	(-274 050)	(-257 600)
1 200	(15 160)	—	(-274 010)	(-256 100)
1 300	—	—	(-273 960)	(-255 200)
1 400	—	—	(-273 900)	(-253 650)
1 500	(21 640)	—	(-273 820)	(-252 050)
1 600	—	—	(-273 720)	(-250 450)
1 700	—	—	(-273 640)	(-248 900)
1 800	—	—	(-273 480)	(-247 300)
1 900	—	—	(-273 330)	(-245 700)
2 000	(33 560)	—	(-273 170)	(-244 050)

Треххлористый бор
BCl₃ (г)

$$\Delta H_{298}^0 = -94\,500 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 69,29 \text{ э. е. [112]}$$

$$T_{пл} = 166^\circ \text{ K [6]}$$

$$\Delta H_{пл} = (500) \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 285,6^\circ \text{ K [6]}$$

$$\Delta H_{исп} = 5700 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (з) (298 — 1000° K)

$$C_p = 16,86 + 2,86 \times 10^{-3} T - 2,44 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -5970 + 16,86T +$$

$$+ 1,43 \times 10^{-3} T^2 + 2,44 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $B + \frac{3}{2}Cl_2 \rightarrow BCl_3$

Интервал I (298 — 1000° K)

$$\Delta C_p = 2,09 - 1,63 \times 10^{-3} T - 1,42 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -95\,525 + 2,09T - 0,815 \times 10^{-3} T^2 + 1,42 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -95\,525 - 2,09T \ln T + 0,815 \times 10^{-3} T^2 + 0,71 \times 10^5 T^{-1} + 26,68T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	69,29	-94 500	-90 800
400	1 610	73,93	-94 450	-89 450
500	3 295	77,68	-94 395	-88 250
600	5 065	80,91	-94 330	-87 050
700	6 885	83,71	-94 285	-85 900
800	8 745	86,19	-94 240	-84 550
900	10 630	88,41	-94 205	-83 500
1 000	12 530	90,41	-94 190	-82 150
1 100	(14 530)	—	(-94 080)	(-81 250)
1 200	(16 500)	—	(-94 080)	(-80 150)
1 300	—	—	(-94 090)	(-79 050)
1 400	—	—	(-94 100)	(-77 750)
1 500	(22 700)	—	(-94 130)	(-76 650)
1 600	—	—	(-94 200)	(-75 550)
1 700	—	—	(-94 250)	(-74 300)
1 800	—	—	(-94 330)	(-73 100)
1 900	—	—	(-94 420)	(-71 850)
2 000	(33 600)	—	(-94 530)	(-70 600)

Трехбромистый бор
BBr₃ (ж)

$$\Delta H_{298}^0 = -57\,900 \text{ кал/моль [120]}$$

$$S_{298} = 53,9 \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{пл} = 227^\circ \text{ K [6]}$$

$$\Delta H_{пл} = (700) \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 364,4^\circ \text{ K [6]}$$

$$\Delta H_{исп} = 7298 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (з) (364,4 — 1000° K)

$$C_p = 17,83 + 2,04 \times 10^{-3} T - 1,95 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = 7160 + 17,83T +$$

$$+ 1,02 \times 10^{-3}T^2 + 1,95 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $B + \frac{3}{2}B_2 \rightarrow BB_3$

Интервал I (400 — 1000° K)

$$\Delta C_P = 2,73 - 2,36 \times 10^{-3}T - 1,40 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -57460 + 2,73T - 1,18 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 1,40 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -57460 - 2,73T \ln T + 1,18 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 0,70 \times 10^5 T^{-1} + 32,81T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	53,9	-57 900	-57 200
400	14 960	82,46	-56 200	-50 500
500	16 740	86,43	-56 120	-49 100
600	18 575	89,77	-56 030	-47 700
700	20 450	92,66	-55 960	-46 300
800	22 350	95,19	-55 900	-45 000
900	24 270	97,45	-55 860	-43 600
1 000	26 200	99,49	-55 840	-42 300
1 100	(28 450)	—	—	(-40 900)
1 200	(30 450)	—	—	(-39 500)
1 300	(32 500)	—	—	(-38 100)
1 400	(34 700)	—	—	(-36 700)
1 500	(36 600)	—	(-55 900)	(-35 400)
2 000	(46 600)	—	(-56 850)	(-28 600)

Трехйодистый бор

BJ_3 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-27 600) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (55) \text{ э. е. [11]}$$

$$\Delta F_{298}^0 = (-31 100) \text{ кал/моль}$$

$$T_{пл} = 316^\circ \text{ K [6]}$$

$$\Delta H_{пл} = (1000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 483^\circ \text{ K [6]}$$

$$\Delta H_{исп} = (10000) \text{ кал/моль}$$

Карбид бора

B_4C (ТВ)

$$\Delta H_{298} = -13 800 \text{ кал/моль [122]}$$

$$S_{298} = 6,47 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{пл} = 2623^\circ \text{ K [9]}$$

Интервал I (ТВ) (298 — 1200° K)

$$C_P = 22,99 + 5,40 \times 10^{-3}T -$$

$$- 10,72 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -10 690 + 22,99T +$$

$$+ 2,70 \times 10^{-3}T^2 + 10,72 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $4B + C \rightarrow B_4C$

Интервал I (298 — 1200° K)

$$\Delta C_P = 12,73 - 13,22 \times 10^{-3}T -$$

$$- 8,62 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -20 000 + 12,73T - 6,61 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 8,62 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -20 000 - 12,73T \ln T + 6,61 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 4,31 \times 10^5 T^{-1} + 87,7T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	6,47	-13 800	-13 300
400	1 620	10,82	-13 600	-13 150
500	3 610	15,65	-13 450	-13 100
600	5 850	19,54	-13 300	-13 100
700	8 340	23,38	-13 150	-13 050
800	10 760	26,77	-13 050	-13 000
900	13 325	29,52	-13 000	-12 950
1 000	16 070	32,55	-13 000	-12 900
1 100	18 800	35,20	-12 950	-12 850
1 200	21 665	37,66	-12 900	-12 750
1 500	30 550	44,35	(-12 800)	(-12 500)
2 000	(46 550)	(53,64)	—	—

Нитрид бора

BN (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -60 700 \text{ кал/моль [33]}$$

$$S_{298} = 3,67 \text{ э. е. [33]}$$

$$T_{возг} = 3270^\circ \text{ K [9]}$$

Интервал I (ТВ) (298 — 1200° K)

$$C_P = 3,64 + 7,24 \times 10^{-3}T \text{ [78]}$$

$$H_T - H_{298} = -1380 + 3,64T +$$

$$+ 3,62 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $B + \frac{1}{2}N_2 \rightarrow BN$

Интервал I (298 — 1200° K)

$$\Delta C_p = 1,23 + 2,33 \times 10^{-3} T^2$$

$$\Delta H_T = -60950 - 1,23T + 1,16 \times 10^{-3} T^2$$

$$\Delta F_T = -60950 + 1,23T \ln T - 1,16 \times 10^{-3} T^2 + 9,94T$$

$T, ^\circ K$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	7,34	-60700	-55650
400	630	9,16	-60700	-53900
500	1340	10,74	-60700	-52200
600	2070	12,06	-60750	-50500
700	2900	13,34	-60750	-48800
800	3840	14,60	-60750	-47150
900	4840	15,78	-60600	-45400
1000	5900	16,90	-60500	-43750
1100	6980	17,92	-60400	-42100
1200	8100	18,88	-60250	-40300

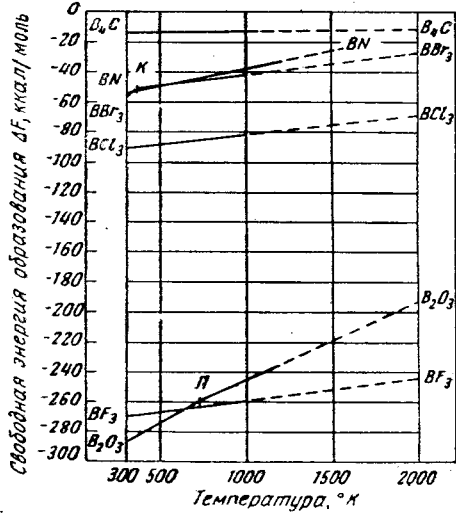


Рис. 7. Бор

Бром

Элемент
Br₂ (ж)

$$S_{298} = 36,4 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{пл} = 265,7^\circ K [112]$$

$$\Delta H_{пл} = 2580 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{кип} = 331^\circ K [112]$$

$$\Delta H_{исп} = 7418 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (ж) (298 — 331° K)

$$C_p = 17,1 [82]$$

$$H_T - H_{298} = -5090 + 17,1T$$

$$F_T - H_{298} = -5090 - 17,1T \ln T + 77,6T$$

Интервал (г) (331 — 1600° K)

$$C_p = 9,04 - 0,37 \times 10^{-5} T^{-2} [82]$$

$$H_T - H_{298} = 4940 + 9,04T + 0,37 \times 10^5 T^{-1} + 0,51T$$

$$F_T - H_{298} = 4940 - 9,04T \ln T + 0,185 \times 10^5 T^{-1} + 0,51T$$

$T, ^\circ K$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	36,4	36,4
400	8648	62,74	41,12
500	9531	64,71	45,65
600	10420	66,33	48,96
700	11313	67,71	51,55
800	12209	68,91	53,65
900	13109	69,96	55,39
1000	14011	70,91	56,90
1100	14900	71,85	58,30
1200	15819	72,56	59,37
1300	16720	73,24	60,38
1400	17635	73,96	61,36
1500	18530	74,54	62,19
1600	19457	75,18	63,02
1700	(20340)	(75,74)	(63,78)
1800	(21240)	(76,29)	(64,49)
1900	(22140)	(76,74)	(65,08)
2000	(23040)	(77,24)	(65,72)

Кадмий и его соединения

Элемент
Cd (ТВ)

$$S_{298} = 12,37 \text{ э. е. [28]}$$

$$T_{\text{пл}} = 594^\circ \text{ К [82]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 1450 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 1038^\circ \text{ К [7]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 23\,870 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (ТВ) (298 — 594° К)

$$C_p = 5,31 + 2,94 \times 10^{-3} T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1714 + 5,31T +$$

$$+ 1,47 \times 10^{-3} T^2$$

$$F_T - H_{298} = -1714 - 5,31T \ln T -$$

$$- 1,47 \times 10^{-3} T^2 + 24,07T$$

Интервал II (ж) (594 — 1038° К)

$$C_p = 7,10 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -810 + 7,10T$$

$$F_T - H_{298} = -810 - 7,10T \ln T + 32,99T$$

Интервал III (г) (1038 — 2000° К)

$$C_p = (5,0) \text{ [141]}$$

$$H_T - H_{298} = +25\,370 + 5,0T$$

$$F_T - H_{298} = +25\,370 - 5,0T \ln T - 6,57T$$

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	12,37	12,37
400	645	14,23	12,62
500	1310	15,71	13,08
600	3450	19,41	13,67
700	4160	20,50	14,57
800	4870	21,45	15,36
900	5580	22,29	16,09
1000	6290	23,04	16,75
1100	(30700)	(46,55)	(18,62)
1200	(31200)	(46,98)	(20,96)
1300	(31700)	(47,38)	(22,98)
1400	(32200)	(47,75)	(24,74)
1500	(32700)	(48,09)	(26,28)
1600	(33200)	(48,41)	(27,65)
1700	(33700)	(48,72)	(28,90)
1800	(34200)	(49,00)	(30,00)
1900	(34700)	(49,27)	(31,01)
2000	(35200)	(49,52)	(31,92)

Оксид кадмия
CdO (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -61\,200 \text{ кал/моль [98]}$$

$$S_{298} = 13,1 \text{ э. е. [24]}$$

Реакция образования: $\text{Cd} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{CdO}$

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-61 200	-54 100
400	(1 100)	(-61 100)	(-51 700)
500	(2 150)	(-61 100)	(-47 000)
600	(3 250)	(-62 500)	(-44 400)
700	(4 350)	(-62 500)	(-41 800)
800	(5 450)	(-62 500)	(-39 200)
900	(6 600)	(-62 500)	(-36 700)
1 000	(7 800)	(-62 400)	(-32 700)
1 100	(9 050)	(-86 100)	(-27 800)
1 500	(14 150)	(-84 800)	(-8 700)

Фтористый кадмий
CdF₂ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -167\,000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$F_{298} = (22) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1383^\circ \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 5400 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 2023^\circ \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 52\,000 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Cd} + \text{F}_2 \rightarrow \text{CdF}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-167 000	(-155 400)
500	(4 000)	(-165 900)	(-147 000)
1 000	(14 000)	(-165 000)	(-129 000)
1 500	(32 000)		

Хлористый кадмий
CdCl₂ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -93\,000 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 31,2 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 841^\circ \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 5300 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1240^\circ \text{K}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 29\,860 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (298 — 800° K)

$$C_p = 14,64 + 9,60 \times 10^{-3}T \quad [82]$$

$$H_T - H_{298} = -4790 + 14,64T + 4,80 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $\text{Cd} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CdCl}_2$

Интервал I (298 — 594° K)

$$\Delta C_p = 0,51 + 6,60 \times 10^{-3}T + 0,68 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -93\,215 + 0,51T + 3,30 \times 10^{-3}T^2 - 0,68 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -93\,215 - 0,51T \ln T - 3,30 \times 10^{-3}T^2 - 0,34 \times 10^5 T^{-1} + 39,48T$$

Интервал II (594 — 800° K)

$$\Delta C_p = -1,28 + 9,54 \times 10^{-3}T + 0,68 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -94\,100 - 1,28T + 4,77 \times 10^{-3}T^2 - 0,68 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -94\,100 + 1,28T \ln T - 4,77 \times 10^{-3}T^2 - 0,34 \times 10^5 T^{-1} + 30,5T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	31,2	-93 000	-82 700
400	1 780	36,33	-92 700	-79 200
500	3 720	40,66	-92 300	-75 900
600	5 750	44,36	-93 250	-72 650
700	7 840	47,58	-92 750	-69 300
800	9 990	50,45	-92 200	-65 900
1 000	(20 000)	—	(-85 350)	(-60 700)
1 500	(62 000)	—	(-74 000)	(-47 900)

Бромистый кадмий
 CdBr_2 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -75\,800 \text{ кал/моль} \quad [11]$$

$$S_{298} = 34,4 \text{ э. е.} \quad [83]$$

$$T_{\text{пл}} = 841^\circ \text{K} \quad [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 5000 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1136^\circ \text{K} \quad [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 27\,000 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Cd} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{CdBr}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-75 800	-71 500
500	(4 000)	(-82 650)	(-64 250)
1 000	(20 000)	(-76 100)	(-47 000)
1 500	(59 000)	(-68 200)	

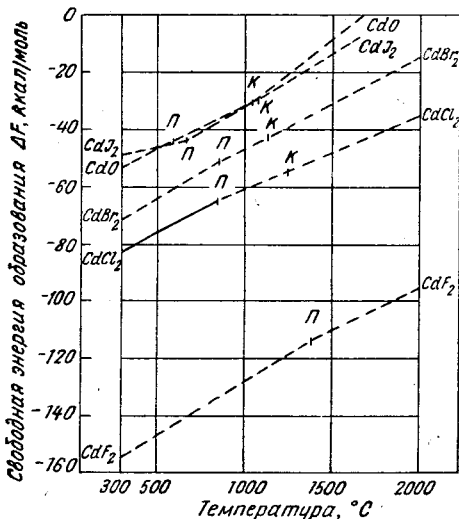


Рис. 8. Кадмий

Иодистый кадмий
 CdJ_2 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -48\,750 \text{ кал/моль} \quad [11]$$

$$S_{298} = 39,5 \text{ э. е.} \quad [11]$$

$$T_{\text{пл}} = 660^\circ \text{K} \quad [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 3660 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1069^\circ \text{K} \quad [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 25\,400 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Cd} + \text{J}_2 \rightarrow \text{CdJ}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-48 750	-49 000
500	(4 000)	(-62 700)	(-46 300)
1 000	(19 000)	(-56 200)	(-32 000)
1 500	(56 400)	(-50 800)	(-13 000)

Кальций и его соединения

Элемент
Ca (ТВ)

$$S_{298} = 9,95 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{прев}} = 673^\circ \text{K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 115 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{пл}} = 1124^\circ \text{K [80]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 2230 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 1760^\circ \text{K [130]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 35\,840 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (α)(298 — 673° K)

$$C_p = 5,24 + 3,50 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1718 + 5,24T +$$

$$+ 1,75 \times 10^{-3}T^2$$

$$F_T - H_{298} = -1718 - 5,24T \ln T -$$

$$- 1,75 \times 10^{-3}T^2 + 26,13T$$

Интервал II (β)(673 — 1124° K)

$$C_p = 6,29 + 1,40 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1834 + 6,29T +$$

$$+ 0,70 \times 10^{-3}T^2$$

$$F_T - H_{298} = -1834 - 6,29T \ln T -$$

$$- 0,70 \times 10^{-3}T^2 + 32,49T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	9,95	9,95
400	650	11,82	10,20
500	1 330	13,34	10,88
600	2 060	14,67	11,23
700	2 910	15,97	11,81
800	3 650	16,96	12,41
900	4 390	17,83	12,94
1 000	5 160	18,64	13,48
1 100	5 930	19,38	13,97
1 200	(8 880)	(21,88)	(14,47)
1 300	(9 630)	(22,58)	(15,18)
1 400	(10 380)	(23,08)	(15,58)
1 500	(11 210)	(23,69)	(16,20)

Оксид кальция
CaO (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -151\,790 \text{ кал/моль [57]}$$

$$S_{298} = 9,5 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 2873^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 12\,000 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 3800^\circ \text{K [94]}$$

Интервал I (ТВ)(298 — 1800° K)

$$C_p = 11,67 + 1,08 \times 10^{-3}T -$$

$$- 1,56 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -4050 + 11,67T + 0,54 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 1,56 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $\text{Ca} + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{CaO}$

Интервал I (298 — 673° K)

$$\Delta C_p = 2,85 - 2,92 \times 10^{-3}T -$$

$$- 1,36 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -152\,950 + 2,85T - 1,46 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 1,36 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -152\,850 - 2,85T \ln T + 1,46 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 0,68 \times 10^5 T^{-1} + 43,87T$$

Интервал II (673 — 1124° K)

$$\Delta C_p = 1,80 - 0,82 \times 10^{-3}T -$$

$$- 1,36 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -152\,850 + 1,80T - 0,41 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 1,36 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -152\,850 - 1,80T \ln T + 0,41 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 0,68 \times 10^5 T^{-1} + 37,57T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	9,5	-151 790	-144 350
400	1 100	12,67	-151 700	-141 850
500	2 230	15,19	-151 650	-139 400
600	3 400	17,32	-151 550	-136 950
700	4 600	19,17	-151 600	-134 500
800	5 820	20,80	-151 500	-132 050
900	7 040	22,23	-151 450	-129 650
1 000	8 270	23,53	-151 400	-127 200
1 100	9 520	24,72	-151 300	-124 700
1 200	10 800	25,84	(-153 400)	(-122 400)
1 300	12 110	26,88	(-153 300)	(-119 900)
1 400	13 430	27,86	(-153 200)	(-117 250)
1 500	14 760	28,78	(-153 100)	(-114 500)

Двуокись (перекись) кальцияCaO₂ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-156\,500) \text{ кал/моль [24]}$$

$$S_{298} = (15,4) \text{ э. е. [24]}$$

Температура разложения 548° К [8]

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-156 500)	(-143 500)
400	(1 875)	(-156 000)	(-139 500)
500	(3 800)	(-155 500)	(-135 000)

Фтористый кальцийCaF₂ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -290\,200 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 16,48 \text{ э. е. [134]}$$

$$T_{\text{прев}} = 1424^\circ \text{ К [82]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 1140 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 1691^\circ \text{ К [82]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 6780 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 2145^\circ \text{ К [112]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 83\,000 \text{ кал/моль}$$

Интервал I(α) (298 — 1424° К)

$$C_p = 14,30 + 7,28 \times 10^{-3}T +$$

$$+ 0,47 \times 10^5 T^{-2} [82]$$

$$H_T - H_{298} = -4400 + 14,30T + 3,64 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,47 \times 10^5 T^{-1}$$

Интервал II (β) (1424 — 1691° К)

$$C_p = 25,81 + 2,50 \times 10^{-3}T [82]$$

$$H_T - H_{298} = -14\,900 + 25,81T +$$

$$+ 1,25 \times 10^{-3}T^2$$

Интервал III (ж) (1691 — 1800° К)

$$C_p = 23,90 [82]$$

$$H_T - H_{298} = -1000 + 23,90T$$

Реакция образования: Ca + F₂ → CaF₂

Интервал I (298 — 673° К)

$$\Delta C_p = 0,77 + 3,34 \times 10^{-3}T + 1,27 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -290\,150 + 0,77T + 1,67 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 1,27 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -290\,150 - 0,77T \ln T - 1,67 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,63 \times 10^5 T^{-1} + 47,48T$$

Интервал II (673 — 1124° К)

$$\Delta C_p = -0,28 + 5,44 \times 10^{-3}T +$$

$$+ 1,27 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -290\,010 - 0,28T + 2,72 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 1,27 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -290\,010 + 0,28T \ln T - 2,72 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,63 \times 10^5 T^{-1} + 41,11T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	16,48	-290 200	-277 700
400	1 760	21,54	-289 900	-273 500
500	3 540	25,52	-289 600	-269 400
600	5 400	28,91	-289 300	-265 300
700	7 320	31,87	-289 050	-261 400
800	9 280	34,49	-288 700	-257 500
900	11 300	36,86	-288 250	-253 500
1 000	13 380	39,06	-287 850	-249 750
1 100	15 550	41,12	-287 300	(-246 000)
1 200	17 850	43,12	(-288 750)	(-242 150)
1 300	20 230	45,03	(-287 800)	(-238 300)
1 400	22 680	46,84	(-286 850)	(-234 600)
1 500	26 660	49,60	(-284 990)	(-230 900)

Хлористый кальцийCaCl₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -190\,400 \text{ кал/моль [94]}$$

$$S_{298} = 27,2 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1055^\circ \text{ K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 6780 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2300^\circ \text{ K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (55\,000) \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 1055° K)

$$C_p = 17,18 + 3,04 \times 10^{-3} T -$$

$$- 0,60 \times 10^5 T^{-2} \text{ [83]}$$

$$H_T - H_{298} = -5460 + 17,18T +$$

$$+ 1,52 \times 10^{-3} T^2 + 0,60 \times 10^5 T^{-1}$$

Интервал II (ж) (1055 — 1700° K)

$$C_p = 24,70 \text{ [83]}$$

$$H_T - H_{298} = -4880 + 24,70T$$

Реакция образования: Ca + Cl₂ → CaCl₂

Интервал I (298 — 673° K)

$$\Delta C_p = 3,12 - 0,52 \times 10^{-3} T + 0,08 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -191\,280 + 3,12T - 0,26 \times$$

$$\times 10^{-3} T^2 - 0,08 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -191\,280 - 3,12T \ln T + 0,26 \times$$

$$\times 10^{-3} T^2 - 0,04 \times 10^5 T^{-1} + 56,41T$$

Интервал II (673 — 1055° K)

$$\Delta C_p = 2,07 + 1,58 \times 10^{-3} T +$$

$$+ 0,08 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -191\,150 + 2,07T + 0,79 \times$$

$$\times 10^{-3} T^2 - 0,08 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -191\,150 + 2,07T \ln T - 0,79 \times$$

$$\times 10^{-3} T^2 - 0,04 \times 10^5 T^{-1} + 50,32T$$

Интервал III (1055 — 1124° K)

$$\Delta C_p = 9,59 - 1,46 \times 10^{-3} T -$$

$$- 0,68 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -190\,500 + 9,59T - 0,73 \times$$

$$\times 10^{-3} T^2 + 0,68 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -190\,500 - 9,59T \ln T + 0,73 \times$$

$$\times 10^{-3} T^2 + 0,34 \times 10^5 T^{-1} + 100,69T$$

T, °K	H _T - H ₂₉₈	S _T	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	27,2	-190 400	-179 650
400	1 850	32,53	-190 050	-175 950
500	3 700	36,66	-189 700	-172 500
600	5 540	40,02	-189 450	-169 050
700	7 400	42,88	-189 350	-165 750
800	9 290	45,4	-189 050	-162 350
900	11 230	47,69	-188 750	-159 150
1 000	13 270	49,84	-188 350	-155 700
1 100	15 340	51,84	-187 800	-152 800
1 200	17 440	53,62	(-187 300)	(-150 300)
1 300	19 560	55,16	(-186 800)	(-147 700)
1 400	21 700	56,48	(-186 300)	(-145 100)
1 500	23 860	57,56	(-185 800)	(-142 400)

Бромистый кальцийCaBr₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -161\,300 \text{ кал/моль [114]}$$

$$S_{298} = (31) \text{ э. е. [114]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1033^\circ \text{ K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 4180 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2100^\circ \text{ K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (50\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: Ca + Br₂ → CaBr₂

Расчетные данные [11]

T, °K	H _T - H ₂₉₈	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	-161 300	(-157 500)
500	(3 500)	(-168 700)	(-150 350)
1 000	(13 900)	(-166 600)	(-133 500)
1 500	(30 100)	(-160 900)	(-119 500)

Йодистый кальцийCaI₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -127\,500 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = (34) \text{ э. е. [112]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1013^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (5000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1500^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (35\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Ca} + \text{J}_2 \rightarrow \text{CaJ}_2$

Расчетные данные (11)

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	—127 500	(—126 400)
500	(3 900)	(—141 600)	(—124 000)
1 100	(14 100)	(—139 700)	(—106 000)
1 500	(31 100)	(—132 200)	(—91 000)

Карбид кальция

CaC_2 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -15\,000 \text{ кал/моль} [112]$$

$$S_{298} = 16,8 \text{ э. е.} [82]$$

$$T_{\text{прев}} = 720^\circ \text{K} [82]$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 1330 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 2573^\circ \text{K} [9]$$

Интервал I (α) ($298 - 720^\circ \text{K}$)

$$C_p = 16,40 + 2,84 \times 10^{-3}T - 2,07 \times 10^{-5}T^{-2} [82]$$

$$H_T - H_{298} = -5700 + 16,40T + 1,42 \times 10^{-3}T^2 + 2,07 \times 10^5T^{-1}$$

Интервал II (β) ($720 - 1300^\circ \text{K}$)

$$C_p = 15,40 + 2,00 \times 10^{-3}T [82]$$

$$H_T - H_{298} = -3150 + 15,40T + 1,00 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $\text{Ca} + 2\text{C} \rightarrow \text{CaC}_2$

Интервал I ($298 - 673^\circ \text{K}$)

$$\Delta C_p = 2,96 - 2,7 \times 10^{-3}T + 2,13 \times 10^{-5}T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -15\,000 + 2,96T - 1,35 \times 10^{-3}T^2 - 2,13 \times 10^5T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -15\,000 - 2,96T \ln T +$$

$$+ 1,35 \times 10^{-3}T^2 - 1,07 \times 10^5T^{-1} + 13,72T$$

Интервал II ($673 - 720^\circ \text{K}$)

$$\Delta C_p = 1,91 - 0,60 \times 10^{-3}T + 2,13 \times 10^{-5}T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -14\,700 + 1,91T - 0,30 \times 10^{-3}T^2 - 2,13 \times 10^5T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -14\,700 - 1,91T \ln T + 0,30 \times 10^{-3}T^2 - 1,06 \times 10^5T^{-1} + 7,02T$$

Интервал III ($720 - 1124^\circ \text{K}$)

$$\Delta C_p = 0,91 - 1,44 \times 10^{-3}T + 4,20 \times 10^{-5}T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -12\,320 + 0,91T - 0,72 \times 10^{-3}T^2 - 4,20 \times 10^5T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -12\,320 - 0,91T \ln T + 0,72 \times 10^{-3}T^2 - 2,10 \times 10^5T^{-1} - 3,17T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	16,8	—15 000	—16 200
400	1 600	21,41	—14 550	—16 700
500	3 260	25,11	—14 200	—17 300
600	5 000	28,27	—13 950	—17 950
700	6 760	30,99	—13 900	—18 600
800	9 790	35,12	—12 500	—19 450
900	11 510	37,14	—12 500	—20 300
1 000	13 250	38,98	—12 550	—21 200
1 100	15 010	40,65	—12 600	—22 100
1 200	16 780	42,19	(—14 800)	(—22 900)

Нитрид кальция

Ca_3N_2 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -108\,200 \text{ кал/моль} [9]$$

$$S_{298} = 25,4 \text{ э. е.} [9]$$

$$T_{пл} = 1468^\circ \text{K} [112]$$

Интервал I (тв) (298 — 800° K)

$$C_p = 20,44 + 22,00 \times 10^{-3} T [82]$$

$$H_T - H_{298} = -7100 + 20,44T + 11,00 \times 10^{-3} T^2$$

Реакция образования: $3\text{Ca} + \text{N}_2 \rightarrow \text{Ca}_3\text{N}_2$

Интервал I (298 — 673° K)

$$\Delta C_p = 1,94 + 10,48 \times 10^{-3} T$$

$$\Delta H_T = -108100 - 1,94T + 5,24 \times 10^{-3} T^2$$

$$\Delta F_T = -108100 + 1,94T \ln T - 5,24 \times 10^{-3} T^2 + 40,46T$$

Интервал II (673 — 800° K)

$$\Delta C_p = -5,09 + 16,78 \times 10^{-3} T$$

$$\Delta H_T = -107670 - 5,09T + 8,39 \times 10^{-3} T^2$$

$$\Delta F_T = -107670 + 5,09T \ln T - 8,39 \times 10^{-3} T^2 + 21,28T$$

T°, K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	25,4	-108 200	-93 200
400	2 850	33,61	-108 100	-88 100
500	5 900	40,41	-107 700	-83 200
600	9 150	46,33	-107 350	-78 350
700	12 650	51,73	-107 100	-73 550
800	16 300	56,59	-106 500	-68 750

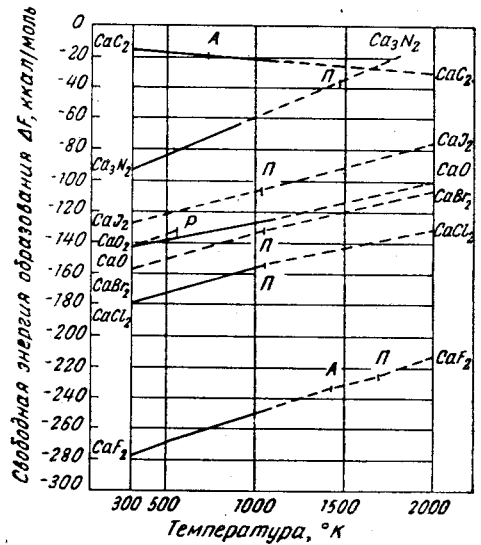


Рис. 9. Кальций

Углерод и его соединения

Элемент

C (тв)

$$S_{298} = 1,366 \text{ э. е.} [83]$$

$$T_{возг} = 4620^\circ \text{K} [130]$$

Интервал I (тв) (298 — 2300° K)

$$C_p = 4,10 + 1,02 \times 10^{-3} T - 2,10 \times 10^5 T^{-2} [82]$$

$$H_T - H_{298} = -1972 + 4,10T + 0,51 \times 10^{-3} T^2 + 2,10 \times 10^5 T^{-1}$$

$$F_T - H_{298} = -1972 - 4,10T \ln T - 0,51 \times 10^{-3} T^2 + 1,05 \times 10^5 T^{-1} + 27,72T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	1,36	1,36
400	250	2,08	1,42
500	570	2,79	1,65
600	950	3,48	1,90
700	1 370	4,13	2,17
800	1 830	4,74	2,43
900	2 310	5,31	2,74
1 000	2 810	5,83	3,02
1 100	3 320	6,32	3,10
1 200	3 850	6,78	3,58
1 300	4 390	7,21	3,84
1 400	4 930	7,61	4,10
1 500	5 480	7,99	4,33
1 600	6 040	8,35	4,57
1 700	6 610	8,69	4,81
1 800	7 190	9,02	5,02
1 900	7 780	9,34	5,25
2 000	8 380	9,65	5,46

Окись углерода
CO₂ (г)

$$\Delta H_{298}^0 = -26416 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 47,31 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 68,10^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 200 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 81,66^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 1444 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (г) (298 — 2500° K)

$$C_p = 6,79 - 0,98 \times 10^{-3}T - 0,11 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -2100 + 6,79T + 0,49 \times 10^{-3}T^2 + 0,11 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: C + 1/2 O₂ → CO

Интервал I (298 — 2000° K)

$$\Delta C_p = -0,89 - 0,54 \times 10^{-3}T + 2,19 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -25380 - 0,89T - 0,27 \times 10^{-3}T^2 - 2,19 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -25380 + 0,89T \ln T +$$

$$+ 0,27 \times 10^{-3}T^2 - 1,10 \times 10^5 T^{-1} - 28,84T$$

T, °K	H _T - H ₂₉₈	S _T	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	47,31	-26 400	-32 800
400	711	49,36	-26 300	-35 000
500	1 418	50,94	-26 200	-37 100
600	2 137	52,25	-26 350	-39 350
700	2 874	53,38	-26 400	-41 550
800	3 628	54,39	-26 500	-43 700
900	4 400	55,30	-26 600	-45 850
1 000	5 186	56,13	-26 750	-47 950
1 100	5 960	56,94	-26 900	-50 100
1 200	6 798	57,59	-27 000	-52 150
1 300	7 460	58,23	-27 300	-54 350
1 400	8 370	58,83	-27 350	-56 250
1 500	9 291	59,45	-27 450	-58 400
1 600	10 020	60,03	-27 650	-60 600
1 700	10 850	60,53	-27 850	-62 650
1 800	11 700	60,92	-28 000	-64 650
1 900	12 580	61,42	-28 250	-66 750
2 000	13 570	61,91	-28 450	-68 750

Двуокись углерода
CO₂ (г)

$$\Delta H_{298}^0 = -94 052 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 51,05 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{возг}} = 194,7^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = 6031 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (г) (298 — 2500° K)

$$C_p = 10,55 + 2,16 \times 10^{-3}T - 2,04 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -3926 + 10,55T + 1,08 \times 10^{-3}T^2 + 2,04 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: C + O₂ → CO₂

Интервал I (298 — 2000° K)

$$\Delta C_p = -0,71 + 0,14 \times 10^{-3}T + 0,46 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -93 650 - 0,71T + 0,07 \times 10^{-3}T^2 - 0,46 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -93 650 + 0,71T \ln T - 0,7 \times 10^{-3}T^2 - 0,23 \times 10^5 T^{-1} - 5,56T$$

T, °K	H _T - H ₂₉₈	S _T	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	51,05	-94 050	-94 250
400	958	53,76	-94 050	-94 300
500	1 987	56,10	-94 100	-94 400
600	3 088	58,11	-94 150	-94 450
700	4 248	59,89	-94 150	-94 500
800	5 458	61,51	-94 200	-94 500
900	6 708	62,98	-94 250	-94 550
1 000	7 993	64,33	-94 400	-94 600
1 100	9 308	65,59	-94 250	-94 600
1 200	10 650	66,75	-94 300	-94 650
1 300	12 010	67,84	-94 300	-94 700
1 400	13 380	68,86	-94 300	-94 750
1 500	14 780	69,82	-94 400	-94 750
1 600	15 850	70,39	-94 700	-94 800
1 700	17 240	71,34	-94 750	-94 850
1 800	18 690	72,09	-94 800	-94 900
1 900	20 100	72,85	-94 850	-94 900
2 000	21 920	73,93	-94 850	-95 000

Четырехфтористый углерод
CF₄ (г)

$$\Delta H_{298}^0 = -162\,500 \text{ кал/моль [106]}$$

$$S_{298} = 62,8 \text{ э. е. [80]}$$

$$T_{\text{пл}} = 89,47^\circ \text{K [106]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 167 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 145,14^\circ \text{K [106]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 3010 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (г) (298 — 1200° K)

$$C_p = 16,64 + 7,84 \times 10^{-3}T - 4,00 \times 10^5 T^{-2} \text{ [79]}$$

$$H_T - H_{298} = -6650 + 16,64T + 3,92 \times 10^{-3}T^2 + 4,00 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: C + 2F₂ → CF₄

Интервал I (298 — 1200° K)

$$\Delta C_p = -4,04 + 5,94 \times 10^{-3}T - 0,30 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -161\,700 - 4,04T + 2,97 \times 10^{-3}T^2 + 0,30 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -161\,700 + 4,04T \ln T - 2,97 \times 10^{-3}T^2 + 0,15 \times 10^5 T^{-1} + 10,8T$$

T, °K	H _T - H ₂₉₈	S _T	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	62,8	-162 500	-151 850
400	1 615	67,47	-162 600	-148 100
500	3 430	71,49	-162 700	-144 450
600	5 410	75,10	-162 900	-140 900
700	7 520	78,35	-162 900	-137 200
800	9 720	81,28	-162 850	-133 550
900	11 995	83,96	-162 800	-129 900
1 000	14 315	86,41	-162 700	-126 250
1 100	16 760	88,72	-162 500	-122 900
1 200	19 085	90,75	-162 500	-119 000
1 500	(27 400)	—	(-160 500)	(-107 700)
2 000	(42 650)	—	(-156 900)	(-85 100)

Четыреххлористый углерод
CCl₄ (ж)

$$\Delta H_{298}^0 = -33\,200 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 51,3 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 249,1^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 644 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 350^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 7283 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (г) (350 — 1000° K)

$$C_p = 23,34 + 2,30 \times 10^{-3}T - 3,60 \times 10^5 T^{-2} \text{ [83]}$$

$$H_T - H_{298} = -1560 + 23,34T + 1,15 \times 10^{-3}T^2 + 3,60 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: C + 2Cl₂ → CCl₄

Интервал I (350 — 1000° K)

$$\Delta C_p = 1,6 + 1,16 \times 10^{-3}T - 0,14 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -27\,020 + 1,6T + 0,58 \times 10^{-3}T^2 + 0,14 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -27\,020 - 1,6T \ln T - 0,58 \times 10^{-3}T^2 + 0,07 \times 10^5 T^{-1} + 45,44T$$

T, °K	H _T - H ₂₉₈	S _T	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	51,3	-33 200	-16 300
400	8 845	79,98	-26 300	-12 750
500	11 100	84,99	-26 050	-9 400
600	13 450	89,29	-25 800	-6 150
700	15 860	92,99	-25 550	-2 950
800	18 310	96,26	-25 300	+450
900	20 790	99,18	-25 050	+3 500
1 000	23 290	101,82	-24 850	+6 850
1 500	(36 250)	—	(-23 600)	(+22 300)
2 000	(49 900)	—	(-22 350)	(+37 300)

Карбонил хлористый (фосген)
COCl₂ (г)

$$\Delta H_{298}^0 = -53\,300 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 69,13 \text{ э. е. [38]}$$

$$T_{\text{пл}} = 145,34^\circ \text{K} [38]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 1371 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 280,7^\circ \text{K} [38]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 5825 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (γ) (298 — 1000° K)

$$C_p = 15,60 + 3,46 \times 10^{-3} T -$$

$$- 1,91 \times 10^5 T^{-2} [82]$$

$$H_T - H_{298} = -5446 + 15,60T + 1,73 \times$$

$$\times 10^{-3} T^2 + 1,91 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $\text{C} + 1/2 \text{O}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{COCl}_2$

Интервал I (298 — 1000° K)

$$\Delta C_p = -0,90 + 1,88 \times 10^{-3} T + 1,07 \times$$

$$\times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -52700 - 0,90T + 0,94 \times$$

$$\times 10^{-3} T^2 - 1,07 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -52700 + 0,90T \ln T - 0,94 \times$$

$$\times 10^{-3} T^2 - 0,54 \times 10^5 T^{-1} + 3,92T$$

$$T_{\text{пл}} = 363^\circ \text{K} [82]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 950 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 463^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (9700) \text{ кал/моль}$$

Интервал I (α) (298 — 320° K)

$$C_p = 34,5 [82]$$

$$H_T - H_{298} = -10287 + 34,5T$$

Интервал II (β) (320 — 363° K)

$$C_p = 43,0 [82]$$

$$H_T - H_{298} = -11580 + 43,0T$$

Интервал III (ζ) (363 — 463° K)

$$C_p = 36,7 [82]$$

$$H_T - H_{298} = -8340 + 36,7T$$

Интервал IV (η) (463 — 1000° K)

$$C_p = 25,03 + 0,60 \times 10^{-3} T - 3,03 \times$$

$$\times 10^5 T^{-2} [82]$$

$$H_T - H_{298} = 5200 + 25,03T + 0,30 \times$$

$$\times 10^{-3} T^2 + 3,03 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $\text{C} + 2\text{Br}_2 \rightarrow \text{CBr}_4$

Интервал I (298 — 320° K)

$$\Delta C_p = -3,8 - 1,02 \times 10^{-3} T +$$

$$+ 2,10 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = 1877 - 3,8T - 0,51 \times$$

$$\times 10^{-3} T^2 - 2,10 \cdot 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = 1877 + 3,8T \ln T + 0,51 \times$$

$$\times 10^{-3} T^2 - 1,05 \times 10^5 T^{-1} - 10,1T$$

Интервал II (331 — 363° K)

$$\Delta C_p = 20,86 - 1,02 \times 10^{-3} T +$$

$$+ 2,84 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -20000 + 20,86T - 0,51 \times$$

$$\times 10^{-3} T^2 - 2,84 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -20000 - 20,86T \ln T + 0,51 \times$$

$$\times 10^{-3} T^2 - 1,42 \times 10^5 T^{-1} + 201,0T$$

$T, ^\circ \text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	69,13	-53 300	-50 300
400	1 545	73,58	-53 200	-49 300
500	3 165	77,19	-53 100	-48 300
600	4 855	80,27	-53 050	-47 300
700	6 600	82,96	-53 000	-46 400
800	8 400	85,36	-52 900	-45 450
900	10 210	87,49	-52 900	-44 500
1 000	12 060	89,44	-52 800	-43 500
1 500	(22 000)	—	(-51 800)	(-39 400)
2 000	(32 800)	—	(-50 600)	(-35 400)

Четырехбромистый углерод
 CBr_4 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-500) \text{ кал/моль} [11]$$

$$S_{298} = (56) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{\text{прев}} = 320^\circ \text{K} [82]$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 1430 \text{ кал/моль}$$

Интервал III (363 — 463° K)

$$\Delta C_p = -14,55 - 1,02 \times 10^{-3}T + 2,84 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -16730 + 14,55T - 0,51 \times 10^{-3}T^2 - 2,84 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -16730 - 14,55T \ln T + 0,51 \times 10^{-3}T^2 - 1,42 \times 10^5 T^{-1} + 154,2T$$

Интервал IV (463 — 1000° K)

$$\Delta C_p = 2,89 - 0,42 \times 10^{-3}T - 0,19 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -3310 + 2,89T - 0,21 \times 10^{-3}T^2 + 0,19 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -3310 - 2,89T \ln T + 0,21 \times 10^{-3}T^2 + 0,1 \times 10^5 T^{-1} + 52,9T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(56)	(-500)	(+5 000)
400	6 340	(74, 02)	(-11 700)	(9 700)
500	18 400	(100, 0)	(-1 840)	(15 400)
600	20 840	(104, 7)	(-1 450)	(18 300)
700	23 300	(108, 5)	(-1 200)	(20 700)
800	25 790	(111, 7)	(-950)	(23 750)
900	28 310	(114, 8)	(-700)	(26 700)
1 000	30 840	(117, 4)	(-500)	(29 700)
1 500	(42 000)	—	(+1 750)	(46 100)
2 000	(68 100)	—	(2 800)	(62 500)

Четыреххлористый углерод CJ₄ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (39 700) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (60) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 444^\circ \text{ K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (1150) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (580^\circ \text{ K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (12 000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $C + 2J_2 \rightarrow CJ_4$

Расчетные данные [11]

T, °K	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(39 700)	(29 800)
500	(10 000)	(30 100)	(40 500)

Дициан C₂N₂ (г)

$$\Delta H_{298}^0 = 73 600 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 57,86 \text{ э. е. [112]}$$

$$T_{\text{пл}} = 245,3^\circ \text{ K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 1938 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 252^\circ \text{ K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 5576 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (г) (298 — 2000° K)

$$C_p = 14,90 + 3,20 \times 10^{-3}T - 2,04 \times 10^5 T^{-2} [82]$$

$$H_T - H_{298} = -5270 + 14,90T + 1,60 \times 10^{-3}T^2 + 2,04 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $2C + N_2 = C_2N_2$

Интервал I (298 — 2000° K)

$$\Delta C_p = 0,04 + 0,14 \times 10^{-3}T + 2,16 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = 74 250 + 0,04T + 0,07 \times 10^{-3}T^2 - 2,16 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = 74 250 - 0,04T \ln T - 0,07 \times 10^{-3}T^2 - 1,08 \times 10^5 T^{-1} - 10,45T$$

$T, ^\circ K$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	57,86	+73 600	+71 800
400	1 445	62,02	73 800	69 800
500	2 965	65,41	74 000	68 800
600	4 560	68,32	74 100	67 700
700	6 220	70,88	74 200	66 650
800	7 930	73,16	74 250	65 550
900	9 695	75,24	74 300	64 500
1 000	11 500	77,14	74 350	63 400
1 100	13 250	78,75	74 300	62 350
1 200	15 205	80,51	74 400	61 200
1 300	16 990	82,08	74 400	60 100
1 400	19 015	83,46	74 450	59 100
1 500	20 900	84,34	74 450	57 900
1 600	22 900	86,24	74 450	56 400
1 700	24 820	87,34	74 450	55 400
1 800	26 840	88,34	74 450	54 750
1 900	28 900	89,47	74 450	53 500
2 000	30 810	90,45	74 450	52 500

$T, ^\circ K$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	56,31	34 500	32 900
400	1 135	59,58	34 600	32 350
500	2 315	62,21	34 700	31 800
600	3 540	64,45	34 750	31 150
700	4 805	66,39	34 800	30 550
800	6 100	68,12	34 800	29 800
900	7 425	69,68	34 850	29 350
1 000	8 770	71,10	34 850	28 750
1 100	10 060	72,35	34 900	28 150
1 200	11 515	73,60	34 900	27 500
1 300	12 850	74,56	34 900	27 000
1 400	14 310	75,76	34 950	26 400
1 500	15 690	76,68	34 950	25 700
1 600	17 145	77,65	34 950	25 000
1 700	18 645	78,55	34 950	24 350
1 800	20 010	79,34	34 950	23 800
1 900	21 475	80,21	34 950	23 100
2 000	22 890	80,85	34 950	22 650

Циан хлористый
CNCl (г)

$$\Delta H_{298}^0 = 34\,500 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 56,31 \text{ э. е. [112]}$$

$$T_{пл} = 266,3^\circ \text{ K [112]}$$

$$\Delta H_{пл} = 2720 \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 286,1^\circ \text{ K [112]}$$

$$\Delta H_{исп} = 6290 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (г) (298 — 2000° K)

$$C_p = 11,88 + 1,64 \times 10^{-3}T - 1,49 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -4115 + 11,88T + 0,82 \times 10^{-3}T^2 + 1,49 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $C + 1/2 Cl_2 + 1/2 N_2 \rightarrow CNCl$

Интервал I (298 — 2000° K)

$$\Delta C_p = 0,04 + 0,08 \times 10^{-3}T + 0,95 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = 34\,800 + 0,04T + 0,04 \times 10^{-3}T^2 - 0,95 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = 34\,800 - 0,04T \ln T - 0,04 \times 10^{-3}T^2 - 0,47 \times 10^5 T^{-1} - 5,66T$$

Циан бромистый
CNBr (ж)

$$S_{298} = 59,05 \text{ э. е. [112]}$$

$$T_{возг} = 334^\circ \text{ K [112]}$$

$$\Delta H_{возг} = 11\,300 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (г) (334 — 2000° K)

$$C_p = 12,20 + 1,42 \times 10^{-3}T - 1,34 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -4150 + 12,20T + 0,71 \times 10^{-3}T^2 + 1,34 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $C + 1/2 Br_2 + 1/2 N_2 \rightarrow CNBr$

$T, ^\circ K$	$H_T - H_{298}$	S_T
298	—	59,05
400	1 175	52,44
500	2 380	55,13
600	3 630	57,40
700	4 910	59,37
800	6 220	61,12
900	7 550	62,69
1 000	8 910	64,12
1 200	11 665	66,63
1 400	14 475	68,79
1 600	17 310	70,69
1 800	20 185	72,38
2 000	23 095	73,91

Циан йодистый

CNJ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = 40\,400 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 30,8 \text{ э. е. [112]}$$

$$T_{\text{в озг}} = 413^\circ \text{ К [112]}$$

$$\Delta H_{\text{в озг}} = 14\,200 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (Г) (413 — 2000° К)

$$C_p = 12,30 + 1,38 \times 10^{-3}T - 1,04 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = 10\,100 + 12,30T + 0,69 \times 10^{-3}T^2 + 1,04 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $C + \frac{1}{2}N_2 + \frac{1}{2}J_2 \rightarrow CJN$

Интервал I (456 — 1500° К)

$$\Delta C_p = 0,43 - 0,15 \times 10^{-3}T + 1,06 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = 47\,450 + 0,43T - 0,075 \times 10^{-3}T^2 - 1,06 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = 47\,450 - 0,43T \ln T + 0,075 \times 10^{-3}T^2 - 0,53 \times 10^5 T^{-1} - 7,0T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	30,80	40 400	42 600
400	1 210	34,07	38 400	43 550
500	16 640	71,10	47 450	42 400
600	17 910	73,34	47 500	41 300
700	19 205	75,28	47 600	40 450
800	20 530	77,01	47 650	39 450
900	21 875	78,57	47 650	38 400
1 000	23 235	79,91	47 700	37 500
1 100	24 570	81,25	47 700	36 400
1 200	26 005	82,49	47 750	35 400
1 300	27 370	83,51	47 750	34 500
1 400	28 825	84,65	47 800	33 400
1 500	30 180	85,58	47 800	32 400
2 000	37 440	89,74	(47 750)	(27 150)

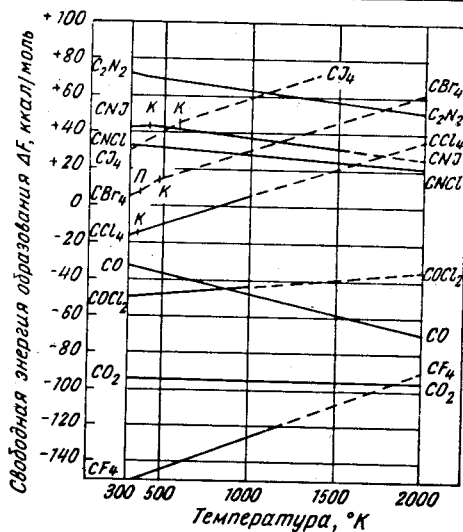


Рис. 10. Углерод

Церий и его соединения

Элемент

Ce (ТВ)

$$S_{298} = 13,64 \text{ э. е. [121]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1077^\circ \text{ К [126]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 2120 \text{ кал/г-атом [112]}$$

Интервал I (ТВ) (298 — 800° К)

$$C_p = 4,40 + 6,00 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1575 + 4,40T + 3,00 \times 10^{-3}T^2$$

$$F_T - H_{298} = -1575 - 4,40T \ln T - 3,00 \times 10^{-3}T^2 + 17,65T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	13,64	13,64
400	670	15,57	13,87
500	1 380	17,15	14,38
600	2 140	18,54	14,97
700	2 970	19,82	15,57
800	3 860	21,00	16,16
900	(4 810)	(22,05)	(16,78)
1 000	(5 820)	(23,15)	(17,33)
1 500	(12 350)	(29,00)	(20,7)
2 000	(16 350)	(31,3)	(23,1)

Оксид церия Ce_2O_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-435\,000) \text{ кал/моль [24]}$$

$$S_{298} = (21,81) \text{ э. е. [24]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1960^\circ \text{K [42]}$$

Реакция образования: $2\text{Ce} + \frac{3}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{Ce}_2\text{O}_3$

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-435 000)	(-411 500)
400	(2 400)	(-435 000)	(-403 500)
500	(5 500)	(-434 500)	(-395 500)
600	(8 100)	(-434 500)	(-387 500)
700	(11 400)	(-434 000)	(-380 000)
800	(14 400)	(-434 000)	(-372 000)
900	(17 500)	(-434 000)	(-364 500)
1 000	(21 300)	(-433 500)	(-356 500)
1 100	—	(-438 000)	(-348 500)
1 200	—	(-438 000)	(-340 500)
1 300	—	(-438 000)	(-332 500)
1 400	—	(-437 500)	(-324 500)
1 500	—	(-437 500)	(-316 000)
1 600	—	(-437 000)	(-308 000)
1 700	—	(-437 000)	(-300 000)
1 800	—	(-437 000)	(-292 000)
1 900	—	(-436 500)	(-284 000)

Двуокись церия CeO_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -260\,180 \text{ кал/моль [28]}$$

$$S_{298} = 14,88 \text{ э. е. [24]}$$

$$T_{\text{пл}} = > 2873^\circ \text{K [42]}$$

Интервал I (тв) (298 — 2500° K)

$$C_P = 15,0 + 2,5 \times 10^{-3}T [94]$$

$$H_T - H_{298} = -4580 + 15,0T + 1,25 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $\text{Ce} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CeO}_2$

Интервал I (298 — 800° K)

$$\Delta C_P = 3,44 - 4,50 \times 10^{-3}T +$$

$$+ 0,40 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -259\,500 + 3,44T - 2,25 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,40 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -259\,500 - 3,44 T \ln T + 2,25 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,20 \times 10^5 T^{-1} + 69,25T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	14,88	-260 180	-245 940
400	1 620	19,53	-259 950	-241 250
500	3 230	23,28	-259 780	-236 480
600	4 870	26,23	-259 660	-231 860
700	6 530	28,68	-259 610	-227 110
800	8 220	30,93	-259 600	-222 460
900	9 930	32,98	(-259 600)	(-217 950)
1 000	11 680	34,83	(-259 550)	(-213 200)
1 500	20 730	42,28	(-261 500)	(-189 500)
2 000	30 400	47,73	(261 000)	(-161 000)

Трифтористый церий CeF_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -391\,000 \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (24) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1703^\circ \text{K}) [29]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (9000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2600^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (62\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Ce} + \frac{3}{2}\text{F}_2 \rightarrow \text{CeF}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-391 000	(-372 100)
500	(4 000)	(-391 000)	(-360 500)
1 000	(17 000)	(-388 500)	(-330 000)
1 500	(32 000)	(-386 500)	(-307 000)

Четырехфтористый церий

CeF₄ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -442\,000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (37) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1250^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (10\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Ce} + 2\text{F}_2 \rightarrow \text{CeF}_4$

Расчетные данные [11]

T, °K	H _T -H ₂₉₈	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	-422 000	(-420 000)
500	(6 000)	(-440 500)	(-436 000)
1 000	(23 000)	(-436 500)	(-419 000)
1 500	(52 000)	—	(-390 000)

Треххлористый церий

CeCl₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -252\,840 \text{ кал/моль [128]}$$

$$S_{298} = 34,5 \text{ э. е. [128]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1095^\circ \text{K} [29]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2000^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (46\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Ce} + 3/2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{CeCl}_3$

Расчетные данные [11]

T, °K	H _T -H ₂₉₈	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	-252 840	-235 160
500	(5 000)	(-251 500)	(-225 300)
1 000	(19 000)	(-248 500)	(-198 800)
1 500	(43 000)	(-246 500)	(-179 300)

Трехбромистый церий

CeBr₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -192\,000 \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (45) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1005^\circ \text{K} [29]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1830^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (44\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Ce} + 3/2\text{Br}_2 \rightarrow \text{CeBr}_3$

Расчетные данные [11]

T, °K	H _T -H ₂₉₈	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	-192 000	(-185 000)
500	(5 000)	(-202 500)	(-174 000)
1 000	(18 000)	(-200 500)	(-148 000)
1 500	(43 000)	(-189 000)	(-127 000)

Трехйодистый церий

CeI₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -163\,000 \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (50) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1038^\circ \text{K} [29]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1670^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (40\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Ce} + 3/2\text{I}_2 \rightarrow \text{CeI}_3$

Расчетные данные [11]

T, °K	H _T -H ₂₉₈	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	-163 000	(-161 000)
500	(5 000)	(-184 500)	(-156 500)
1 000	(19 000)	(-181 500)	(-130 000)
1 500	(44 000)	(-169 700)	(-107 000)

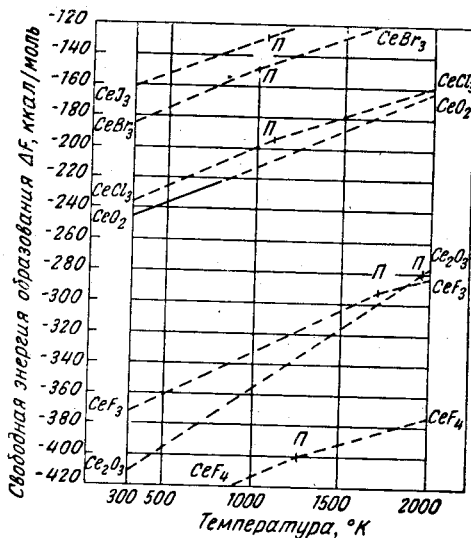


Рис. 11. Церий

Хлор

Элемент

Cl₂ (г)

$$S_{298} = 53,31 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 172,16^\circ \text{ К [112]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 1531 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 239,1^\circ \text{ К [112]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 4878 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I(г) (298 — 3000° К)

$$C_p = 8,82 + 0,06 \times 10^{-3} T -$$

$$- 0,68 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -2861 + 8,82T + 0,03 \times$$

$$\times 10^{-3} T^2 + 0,68 \times 10^5 T^{-1}$$

$$F_T - H_{298} = -2861 - 8,82T \ln T - 0,03 \times$$

$$\times 10^{-3} T^2 + 0,34 \times 10^5 T^{-1} + 6,06T$$

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	53,31	53,31
400	840	55,89	53,79
500	1 688	57,75	54,33
600	2 544	59,29	55,05
700	3 420	60,57	55,68
800	4 296	61,86	56,39
900	5 176	62,80	57,05
1 000	6 059	63,84	57,74
1 100	6 813	64,56	58,36
1 200	7 830	65,35	58,82
1 300	8 618	66,06	59,41
1 400	9 606	66,76	59,90
1 500	10 372	67,37	60,46
1 600	11 385	67,87	60,75
1 700	12 187	68,47	61,28
1 800	13 165	68,88	61,57
1 900	13 981	69,38	62,02
2 000	14 950	69,89	62,41

Хром и его соединения

Элемент

Cr (ТВ)

$$S_{298} = 5,68 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 2173^\circ \text{ К [112]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 3500 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 2915^\circ \text{ К [130]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 83 360 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (ТВ) (298 — 1800° К)

$$C_p = 5,84 + 2,36 \times 10^{-3} T -$$

$$- 0,88 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -2140 + 5,84T + 1,18 \times$$

$$\times 10^{-3} T^2 + 0,88 \times 10^5 T^{-1}$$

$$F_T - H_{298} = -2140 - 5,84T \ln T - 1,18 \times$$

$$\times 10^{-3} T^2 + 0,44 \times 10^5 T^{-1} + 34,56T$$

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	5,68	5,68
400	620	7,46	5,75
500	1 280	8,93	6,38
600	1 960	10,17	6,75
700	2 660	11,25	7,45
800	3 380	12,21	8,01
900	4 140	13,11	8,51
1 000	4 940	13,95	9,04
1 100	5 770	14,74	9,49
1 200	6 630	15,49	9,96
1 300	7 520	16,20	10,41
1 400	8 430	16,88	10,84
1 500	9 350	17,51	11,27
1 600	10 290	18,12	11,70
1 700	11 250	18,70	12,09
1 800	12 230	19,27	12,44
1 900	13 260	19,78	12,79
2 000	14 300	20,41	13,26

Оксид хрома
 Cr_2O_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -272\,650 \text{ кал/моль [98]}$$

$$S_{298} = 19,4 \text{ э. е. [112]}$$

$$T_{\text{прев}} = 298,16^\circ \text{K [24]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 100 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 2553^\circ \text{K [94]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 4200 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 3273^\circ \text{K [94]}$$

Интервал I (тв) (298 — 1800° K)

$$C_p = 28,53 + 2,20 \times 10^{-3}T - \\ - 3,74 \times 10^5 T^{-2} [82]$$

$$H_T - H_{298} = -9760 + 28,53T + 1,10 \times \\ \times 10^{-3}T^2 + 3,74 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $2\text{Cr} + 3/2\text{O}_2 \rightarrow \text{Cr}_2\text{O}_3$

Интервал I (298 — 1800° K)

$$\Delta C_p = 6,11 - 4,02 \times 10^{-3}T - \\ - 1,38 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -274\,750 + 6,11T - 2,01 \times \\ \times 10^{-3}T^2 + 1,38 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -274\,750 - 6,11T \ln T + 2,01 \times \\ \times 10^{-3}T^2 + 0,69 \times 10^5 T^{-1} + 105,95T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	19,4	-272 650	-253 150
400	2 740	27,66	-272 650	-247 100
500	5 540	33,92	-271 850	-240 300
600	8 380	39,09	-271 500	-234 050
700	11 280	43,56	-271 150	-227 850
800	14 230	47,50	-270 850	-221 700
900	17 210	51,00	-270 600	-215 550
1 000	20 240	54,20	-270 450	-209 450
1 100	23 320	57,14	-270 200	-203 250
1 200	26 430	59,84	-270 050	-197 200
1 300	29 550	62,33	-269 950	-191 050
1 400	32 670	64,65	-269 900	-185 050
1 500	35 790	66,80	-269 950	-178 750
1 600	38 920	68,82	-270 000	-172 800
1 700	42 050	70,72	-270 100	-166 850
1 800	45 180	72,51	-270 250	-161 000

Двуокись хрома
 CrO_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -142\,500 \text{ кал/моль [24]}$$

$$S_{298} = (12,70) \text{ э. е. [24]}$$

Диспропорционируется при 700° K [8]

Реакция образования: $\text{Cr} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CrO}_2$

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-142 500	(-130 000)
400	(1 300)	(-142 500)	(-125 500)
500	(2 700)	(-142 500)	(-121 500)
600	(4 200)	(-142 500)	(-117 500)
700	(5 600)	(-142 500)	(-113 000)

Трехокись хрома
 CrO_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-140\,000) \text{ кал/моль [24]}$$

$$S_{298} = (24) \text{ э. е. [24]}$$

$$T_{\text{пл}} = 471^\circ \text{K [24]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 3770 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Cr} + 3/2\text{O}_2 \rightarrow \text{CrO}_3$

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-140 000)	(-121 000)
400	(2 700)	(-139 000)	(-114 500)
500	(9 500)	(-134 000)	(-108 500)
600	(12 300)	(-133 000)	(-103 500)

Двухфтористый хром
 CrF_2 (тв)

$$\Delta H^0 = -182\,000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = 20 \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1375^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (5500) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2400^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (60\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Cr} + \text{F}_2 \rightarrow \text{CrF}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	—182 000	(—172 000)
500	(3 000)	(—181 900)	(—165 500)
1 000	(13 000)	(—179 800)	(—148 000)
1 500	(32 000)	(—169 600)	(—137 000)

Трехфтористый хром
 CrF_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -266\,000 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = (25) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1373^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (11\,000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1700^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (48\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Cr} + \frac{3}{2}\text{F}_2 \rightarrow \text{CrF}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	—266 000	(—250 000)
500	(5 000)	(—264 700)	(—239 000)
1 000	(18 000)	(—261 100)	(—215 000)
1 500	(42 000)	(—248 700)	(—197 000)

Четырехфтористый хром
 CrF_4 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-286\,500) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (38) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (550^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (5500) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (570^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (14\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Cr} + 2\text{F}_2 \rightarrow \text{CrF}_4$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(—286 500)	(—267 100)
500	(6 000)	(—284 500)	(—254 000)
1 000	—	—	(—241 000)
1 500	—	—	(—220 000)

Двухлористый хром
 CrCl_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -94\,560 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 27,8 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1088^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 7700 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1573^\circ \text{K [94]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 47\,500 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 1088° K)

$$C_p = 15,23 + 5,30 \times 10^{-3}T [94]$$

$$H_T - H_{298} = -4770 + 15,23T +$$

$$+ 2,65 \times 10^{-3}T^2$$

Интервал II (ж) (1088 — 1573° K)

$$C_p = 24,0 [94]$$

$$H_T - H_{298} = -3400 + 24T$$

Реакция образования: $\text{Cr} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CrCl}_2$

Интервал I (тв) (298 — 1088° K)

$$\Delta C_p = 0,57 + 2,88 \times 10^{-3}T +$$

$$+ 1,56 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -94\,330 + 0,57T + 1,44 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 1,56 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -94\,330 - 0,57T \ln T - 1,44 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,78 \times 10^5 T^{-1} + 34,98T$$

Интервал II (ж) (1088 — 1573° K)

$$\Delta C_p = 9,34 - 2,42 \times 10^{-3}T +$$

$$+ 1,56 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -92\,900 + 9,34T - 1,21 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 1,56 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -92\,900 - 9,34T \ln T + 1,21 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,78 \times 10^5 T^{-1} + 90,87T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	27,8	-94 560	-85 250
400	1 750	33,0	-94 270	-82 150
500	3 507	36,71	-94 020	-79 050
600	5 330	40,00	-93 730	-76 050
700	7 215	43,02	-93 430	-73 050
800	9 123	45,66	-93 110	-70 350
900	11 085	48,08	-92 780	-67 700
1 000	13 105	49,93	-92 450	-65 600
1 100	22 985	60,4	-84 160	-63 400
1 200	25 385	62,4	-83 635	-61 000
1 300	27 785	64,4	-82 910	-59 700
1 400	30 185	66,4	-82 410	-58 250
1 500	32 585	67,8	-81 700	-56 100

Треххлористый хром CrCl_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -132\,500 \text{ кал/моль [94]}$$

$$S_{298} = (30) \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{возг}} = 1220^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = 56\,800 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 1200° K)

$$C_p = 19,44 + 7,03 \times 10^{-3} T \text{ [94]}$$

$$H_T - H_{298} = -6105 + 19,44T + 3,51 \times 10^{-3} T^2$$

Реакция образования: $\text{Cr} + \frac{3}{2}\text{Cl}_2 \rightarrow \text{CrCl}_3$

Интервал I (298 — 1220° K)

$$\Delta C_p = 0,37 + 4,58 \times 10^{-3} T +$$

$$+ 1,90 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -132\,300 + 0,37T + 2,29 \times$$

$$\times 10^{-3} T^2 - 1,90 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -132\,300 - 0,37T \ln T - 2,29 \times$$

$$\times 10^{-3} T^2 - 0,95 \times 10^5 T^{-1} + 58,90T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(30, 0)	-132 500	(-115 900)
400	2 200	(36, 23)	-132 180	(-110 200)
500	4 475	(41, 44)	-131 840	(-104 800)
600	6 830	(45, 74)	-131 450	(-99 450)
700	9 130	(49, 24)	-131 160	(-94 150)
800	11 710	(52, 75)	-130 610	(-88 800)
900	13 240	(55, 55)	-130 160	(-83 650)
1 000	16 850	(58, 35)	-129 680	(-78 300)
1 100	19 540	(60, 95)	-128 950	(-73 200)
1 200	22 290	(63, 45)	-128 580	(-68 550)

Четыреххлористый хром CrCl_4 (ж)

$$\Delta H_{298}^0 = -110\,000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (61) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (245^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (2000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (430^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (9000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Cr} + 2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{CrCl}_4$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-110 000	(-95 000)
500	(17 000)	(-97 500)	(-85 500)

Двубромистый хром CrBr_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-74\,000) \text{ кал/мол [11]}$$

$$S_{298} = (30) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1115^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (6500) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1400^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (35\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Cr} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{CrBr}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-74 000)	(-70 000)
500	(4 000)	(-80 500)	(-63 500)
1 000	(14 000)	(-79 000)	(-48 000)
1 500	(69 000)	(-33 000)	(-36 000)

Трехбромистый хром. CrBr_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -91\,000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (44) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{возг}} = (1200^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = (54\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Cr} + 3/2\text{Br}_2 \rightarrow \text{CrBr}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	— 91 000	(—86 000)
500	(5 000)	(—101 600)	(—77 000)

Двухвалентный хром

CrJ_2 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-43\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (34) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1066^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (6000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1100^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (24\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Cr} + \text{J}_2 \rightarrow \text{CrJ}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(—43 000)	(—43 000)
500	(4 000)	(—57 000)	(—41 000)
1 000	(14 000)	(—55 100)	(—26 000)
1 500	(58 000)	(—20 000)	(—16 000)

Карбид хрома (кубический)

Cr_4C (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -16\,400 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 25,3 \text{ э. е. [112]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1793^\circ \text{K [94]}$$

Интервал I (ТВ) (298 — 1700° K)

$$C_P = 29,35 + 7,40 \times 10^{-3}T - 5,02 \times$$

$$\times 10^5 T^{-2} [82]$$

$$H_T - H_{298} = -10\,764 + 29,35T + 3,70 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 5,02 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $4\text{Cr} + \text{C} \rightarrow \text{Cr}_4\text{C}$

Интервал I (298 — 1700° K)

$$\Delta C_P = 1,89 - 3,06 \times 10^{-3}T + 0,60 \times$$

$$\times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -16\,620 + 1,89T - 1,53 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,60 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -16\,620 - 1,89T \ln T + 1,53 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,30 \times 10^5 T^{-1} + 10,19T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	25,3	—16 400	—16 750
400	2 800	33,36	—16 350	—16 900
500	5 850	40,16	—16 250	—17 050
600	9 010	45,92	—16 200	—17 250
700	12 290	50,97	—16 100	—17 400
800	15 700	55,52	—16 050	—17 600
900	19 200	59,64	—16 050	—17 750
1 000	22 770	63,41	—16 200	—17 950
1 100	26 420	66,88	—16 400	—18 150
1 200	30 160	70,14	—16 600	—18 150
1 300	34 000	73,12	—16 850	—18 450
1 400	37 950	76,14	—17 100	—18 500
1 500	42 010	78,94	—17 250	—18 650
1 600	46 180	81,63	—17 550	—18 700
1 700	50 480	84,23	—17 850	—18 750

Карбид хрома (гексагональный)

Cr_7C_3 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -42\,600 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 48,0 \text{ э. е. [112]}$$

Диспропорционируется при 1940° K [8]

Интервал I (ТВ) (298 — 1500° K)

$$C_P = 56,96 + 14,54 \times 10^{-3}T -$$

$$-10,12 \times 10^5 T^{-2} [82]$$

$$H_T - H_{298} = -21\,010 + 56,96T +$$

$$+ 7,27 \times 10^{-3}T^2 + 10,12 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $7\text{Cr} + 3\text{C} \rightarrow \text{Cr}_7\text{C}_3$

Интервал I (298 — 1500° K)

$$\Delta C_p = 3,78 - 5,04 \times 10^{-3}T +$$

$$+ 2,34 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -42\,600 + 3,78T - 2,52 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 2,34 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -42\,600 - 3,78T \ln T +$$

$$+ 2,52 \times 10^{-3}T^2 - 1,17 \times$$

$$\times 10^5 T^{-1} + 18,30T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	48,0	-42 600	-43 840
400	5 440	63,66	-42 250	-43 350
500	11 320	76,77	-41 950	-44 900
600	17 450	87,94	-41 720	-45 500
700	23 860	97,81	-41 470	-46 150
800	30 480	106,65	-41 270	-46 850
900	37 240	114,60	-41 270	-47 500
1 000	44 230	121,97	-41 380	-48 200
1 100	51 360	128,76	-41 590	-48 850
1 200	58 600	135,06	-41 960	-49 500
1 300	66 000	140,98	-42 410	-50 150
1 400	73 700	146,69	-42 700	-50 700
1 500	81 750	152,24	-42 840	-51 300

$$\Delta C_p = 0,47 + 0,36 \times 10^{-3}T +$$

$$+ 2,12 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -20\,450 + 0,47T + 0,18 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 2,12 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -20\,450 - 0,47T \ln T - 0,18 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 1,06 \times 10^5 T^{-1} + 1,40T$$

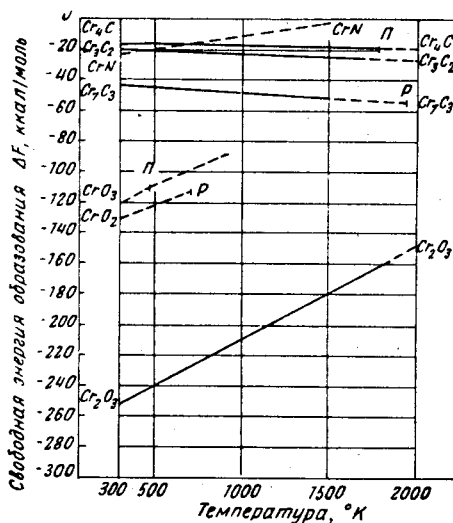


Рис. 12. Хром (а)

Карбид хрома (ромбический)

Cr_3C_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -21\,000 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 20,42 \text{ э. е. [31]}$$

$$T_{\text{пл}} = 2163^\circ \text{K [112]}$$

Интервал I (тв) (298 — 1700° K)

$$C_p = 26,19 + 9,48 \times 10^{-3}T - 4,72 \times$$

$$\times 10^5 T^{-2} [84]$$

$$H_T - H_{298} = -9790 + 26,19T +$$

$$+ 4,74 \times 10^{-3}T^2 + 4,72 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $3\text{Cr} + 2\text{C} \rightarrow \text{Cr}_3\text{C}_2$

Интервал I (298 — 1700° K)

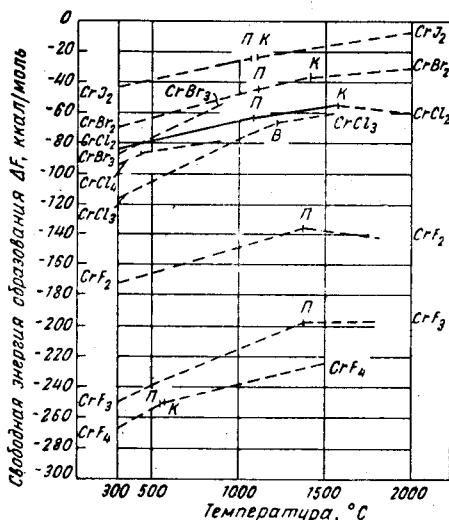


Рис. 13. Хром (б)

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	20,4	-21 000	-21 200
400	2 610	28,09	-20 750	-21 350
500	5 420	34,37	-20 560	-21 550
600	8 350	39,78	-20 430	-21 800
700	11 510	44,40	-20 210	-21 900
800	14 780	48,89	-20 020	-22 250
900	18 130	52,71	-19 910	-22 400
1 000	21 580	56,36	-19 860	-22 700
1 100	25 140	59,71	-19 810	-22 950
1 200	28 790	63,08	-19 800	-23 450
1 300	32 540	66,16	-19 800	-23 900
1 400	36 400	69,04	-19 750	-24 200
1 500	40 340	71,62	-19 670	-24 350
1 600	44 400	74,32	-19 550	-24 650
1 700	48 600	76,72	-19 370	-24 850
1 800	(52 800)	(79,0)	(-19 250)	(-24 950)
1 900	(57 150)	(81,32)	(-19 200)	(-25 450)
2 000	(61 650)	(83,92)	(-19 050)	(-25 850)

Нитрид хрома CrN (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -29\,500 \text{ кал/моль [81]}$$

$$S_{298} = 8,9 \text{ э. е. [81]}$$

Диспропорционируется при 1800° К [94]

Интервал I (тв) (298 — 800° К)

$$C_p = 9,84 + 3,9 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -3110 + 9,84T + \\ + 1,95 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $\text{Cr} + 1/2\text{N}_2 \rightarrow \text{CrN}$

Интервал I (298 — 800° К)

$$\Delta C_p = 0,67 + 1,03 \times 10^{-3}T + \\ + 0,88 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -29\,450 + 0,67T + 0,51 \times \\ \times 10^{-3}T^2 - 0,88 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -29\,450 - 0,67T \ln T - 0,51 \times \\ \times 10^{-3}T^2 - 0,44 \times 10^5 T^{-1} + 23,96T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	8,9	-29 500	-23 650
400	1 140	12,20	-29 330	-21 650
500	2 300	14,79	-29 180	-19 750
600	3 500	16,98	-29 020	-17 850
700	4 730	18,92	-28 850	-16 050
800	5 990	20,56	-28 690	-14 250

Кобальт и его соединения

Элемент Co (тв)

$$S_{298} = 6,86 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{прсв}} = 718^\circ \text{ К [82]}$$

$$\Delta H_{\text{прсв}} = 0 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{прсв}} = 1400^\circ \text{ К [82]}$$

$$\Delta H_{\text{прсв}} = 130 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{пл}} = 1763^\circ \text{ К [82]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 3640 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 3373^\circ \text{ К [112]}$$

Интервал I (α) (298 — 718° К)

$$C_p = 4,72 + 4,30 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1600 + 4,72T + \\ + 2,15 \times 10^{-3}T^2$$

$$F_T - H_{298} = 1600 - 4,72T \ln T - \\ - 2,15 \times 10^{-3}T^2 + 25,94T$$

Интервал II (β) (718 — 1400° К)

$$C_p = 3,30 + 5,86 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -979 + 3,30T + \\ + 2,93 \times 10^{-3}T^2$$

$$F_T - H_{298} = -979 - 3,30T \ln T - 2,93 \times \\ \times 10^{-3}T^2 + 16,36T$$

Интервал III (γ) (1400 — 1763° К)

$$C_p = 9,60 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -3920 + 9,60T$$

$$F_T - H_{298} = 3920 - 9,60T \ln T + 60,0T$$

Интервал IV (ж) (1763 — 1900° К)

$$C_p = 8,30 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = 2010 + 8,30T$$

$$F_T - H_{298} = 2010 - 8,30T \ln T + 47,07T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	6,86	6,86
400	640	8,70	7,10
500	1 300	10,17	7,56
600	2 010	11,47	8,12
700	2 760	12,62	8,67
800	3 550	13,67	9,24
900	4 380	14,65	9,78
1 000	5 250	15,57	10,32
1 100	6 180	16,45	10,83
1 200	7 180	17,32	11,33
1 300	8 250	18,18	11,83
1 400	9 390	19,02	12,31
1 500	10 480	19,78	12,80
1 600	11 440	20,40	13,25
1 700	12 400	20,98	13,69
1 800	16 950	23,56	14,14
1 900	17 780	24,01	14,65
2 000	(18 610)	—	(14,60)

Закись кобальта

CoO (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -57 300 \text{ кал/моль [4]}$$

$$S_{298} = 12,63 \text{ э. е. [88]}$$

$$T_{пл} = 2078^\circ \text{K [112]}$$

Интервал I (тв) (298 — 1800° К)

$$C_p = 11,54 + 2,04 \times 10^{-3}T +$$

$$+ 0,40 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -3400 + 11,54T + 1,02 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,40 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $\text{Co} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{CoO}$

Интервал I (298 — 718° К)

$$\Delta C_p = 3,24 - 2,76 \times 10^{-3}T +$$

$$+ 0,6 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -57 940 + 3,24T - 1,38 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,60 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -57 940 - 3,24T \ln T + 1,38 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,30 \times 10^5 T^{-1} + 39,28T$$

Интервал II (718 — 1400°К)

$$\Delta C_p = 4,66 - 4,32 \times 10^{-3}T +$$

$$+ 0,60 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -58 590 + 4,66T - 2,16 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,60 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -58 590 - 4,66T \ln T + 2,16 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,30 \times 10^5 T^{-1} + 48,9T$$

Интервал III (1400 — 1673° К)

$$\Delta C_p = 1,64 + 1,54 \times 10^{-3}T +$$

$$+ 0,60 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -55 750 - 1,64T + 0,77 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,60 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -55 750 + 1,64T \ln T - 0,77 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,30 \times 10^5 T^{-1} + 5,47T$$

Интервал IV (1673 — 1800°К)

$$\Delta C_p = -0,34 + 1,54 \times 10^{-3}T +$$

$$+ 0,60 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -61 480 - 0,34T + 0,77 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,60 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -61 480 + 0,34T \ln T - 0,77 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,30 \times 10^5 T^{-1} + 18,27T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	12,63	-57 300	-51 700
400	1 290	16,35	-57 000	-49 850
500	2 570	19,21	-56 750	-48 100
600	3 860	21,56	-56 550	-46 400
700	5 160	23,56	-56 400	-44 700
800	6 470	25,31	-56 250	-43 050
900	7 790	26,87	-56 200	-41 100
1 000	9 120	28,27	-56 150	-39 750
1 100	10 460	29,55	-56 100	-38 100
1 200	11 820	30,73	-56 200	-36 450
1 300	13 210	31,84	-56 150	-34 650
1 400	14 640	32,90	-56 400	-33 150
1 500	16 100	33,81	-56 500	-31 300
1 600	17 600	34,88	-56 350	-29 750
1 700	19 140	35,81	-56 250	-28 150
1 800	20 750	36,72	-59 650	-26 500

Закись — окись кобальта

 Co_3O_4 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -207\,000 \text{ кал/моль [24]}$$

$$S_{298} = 35,66 \text{ э. е. [24]}$$

Интервал I (тв) (298 — 1000° K)

$$C_p = 30,84 + 17,08 \times 10^{-3}T - 5,72 \times 10^5 T^{-2} \text{ [91]}$$

$$H_T - H_{298} = -11\,870 + 30,84T +$$

$$+ 8,54 \times 10^{-3}T^2 + 5,72 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $3\text{Co} + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{Co}_3\text{O}_4$

Интервал I (298 — 718° K)

$$\Delta C_p = 2,36 + 2,18 \times 10^{-3}T -$$

$$- 4,92 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -209\,450 + 2,36T + 1,09 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 4,92 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -209\,450 - 2,36T \ln T - 1,09 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 2,46 \times 10^5 T^{-1} + 102,16T$$

Интервал II (718 — 1000° K)

5 Зак. 1168

$$C_p = 6,62 - 2,50 \times 10^{-3}T -$$

$$- 4,92 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -211\,220 + 6,62T - 1,25 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 4,92 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -211\,220 - 6,62T \ln T + 1,25 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 2,46 \times 10^5 T^{-1} + 131,03T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	35,66	-207 000	-182 300
400	3 270	45,06	-207 100	-173 800
500	6 850	53,04	-206 950	-165 500
600	10 660	59,98	-206 800	-157 200
700	14 640	66,11	-206 600	-149 000
800	18 820	71,69	-206 400	-140 750
900	23 300	76,96	-206 050	-132 550
1 000	28 250	82,18	-205 350	-124 650
1 500	—	—	—	(- 82 500)

Двухфтористый кобальт

 CoF_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -158\,000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (21) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1475^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (9000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2000^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (48\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Co} + \text{F}_2 \rightarrow \text{CoF}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-158 000	(-147 900)
500	(3 500)	(-157 400)	(-141 000)
1 000	(13 000)	(-156 100)	(-125 000)
1 500	(34 000)	(-144 700)	(-108 500)

Трифтористый кобальт
CoF₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-190\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (27) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1300^\circ \text{ K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (12\,000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1600^\circ \text{ K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (40\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Co} + \frac{3}{2}\text{F}_2 \rightarrow \text{CoF}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-190 000)	(-174 000)
500	(5 000)	(-188 700)	(-163 500)
1 000	(19 000)	(-185 000)	(-140 000)

Двухлористый кобальт
CoCl₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -77\,800 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 25,4 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 997^\circ \text{ K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 7400 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1323^\circ \text{ K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 27\,200 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 997° K)

$$C_p = 14,41 + 14,60 \times 10^{-5}T [82]$$

$$H_T - H_{298} = -4945 + 14,41T + 7,30 \times 10^{-2}T^2$$

Реакция образования: $\text{Co} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CoCl}_2$

Интервал I (298 — 718° K)

$$\Delta C_p = 0,87 + 10,24 \times 10^{-3}T + 0,68 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -78\,300 + 0,87T + 5,12 \times 10^{-3}T^2 - 0,68 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -78\,300 - 0,87T \ln T - 5,12 \times 10^{-3}T^2 - 0,34 \times 10^5 T^{-1} + 43,3T$$

Интервал II (718 — 997° K)

$$\Delta C_p = 2,29 + 8,68 \times 10^{-3}T + 0,68 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -79\,000 + 2,29T + 4,34 \times 10^{-3}T^2 - 0,68 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -79\,000 - 2,29T \ln T - 4,34 \times 10^{-3}T^2 - 0,34 \times 10^5 T^{-1} + 53,02T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	25,4	-77 800	-67 430
400	2 020	31,22	-77 260	-63 900
500	4 120	35,9	-76 670	-60 650
600	6 340	39,94	-76 010	-57 500
700	8 720	43,61	-75 260	-54 550
800	11 260	47,0	-74 400	-51 600
900	13 920	50,12	-73 440	-48 850
1 000	24 100	60,45	-65 000	-46 000

Двубромистый кобальт
CoBr₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = 50\,600 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (33) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 951^\circ \text{ K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1200^\circ \text{ K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (25\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Co} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{CoBr}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-50 600	(-47 500)
500	(4 000)	(-57 000)	(-42 000)
1 000	(24 000)	(-45 900)	(-29 000)
1 500	(61 000)	(-18 500)	(-20 500)

Двуйодистый кобальт
CoJ₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -21\,000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (37) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 790^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (6000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1100^\circ \text{K [6]})$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (24\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Co} + \text{J}_2 \rightarrow \text{CoJ}_2$

Расчетные данные [11]

T, °K	H _T - H ₂₉₈	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	-21 000	(-21 900)
500	(4 000)	(-35 000)	(-20 000)
1 000	(24 000)	(-23 400)	(-7 000)
1 500	(60 000)	(+ 3 000)	(+ 1 000)

Карбид кобальта
Co₃C (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = +9330 \text{ кал/моль [81]}$$

$$S_{298} = 22,9 \text{ э. е. [9]}$$

$$\Delta F_{298} = 9000 \text{ кал/моль}$$

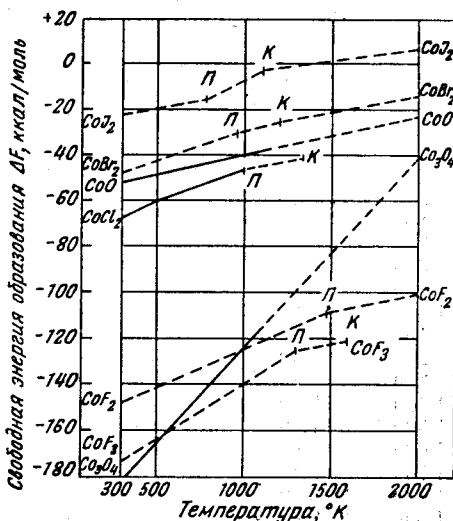


Рис. 14. Кобальт

Ниобий и его соединения

Элемент
Nb (тв)

$$S_{298} = 8,7 \text{ э. е. [7]}$$

$$T_{\text{пл}} = 2770^\circ \text{K [7]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (6500) \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = (5400^\circ \text{K [7]})$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (155\,000) \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (тв) (298 — 1900°K)

$$C_p = 5,66 + 0,96 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1730 + 5,66T + 0,48 \times 10^{-3}T^2$$

$$F_T - H_{298} = -1730 - 5,66T \ln T - 0,48 \times 10^{-3}T^2 + 29,45T$$

T, °K	H _T - H ₂₉₈	S _T	$\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	8,7	8,7
400	610	10,46	8,91
500	1 215	11,81	9,36
600	1 835	12,94	9,86
700	2 470	13,92	10,40
800	3 110	14,77	10,86
900	3 750	15,53	11,39
1 000	4 400	16,21	11,81
1 100	5 070	16,85	12,23
1 200	5 760	17,45	12,67
1 300	6 450	18,00	13,04
1 400	7 160	18,53	13,44
1 500	7 870	19,02	13,78
1 600	8 580	19,48	14,11
1 700	9 300	19,91	14,44
1 800	10 020	20,34	14,77
1 900	10 760	20,72	15,05
(2 000)	(11 410)	(21,13)	(15,42)

Двуокись ниобия NbO₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-190\,400) \text{ кал/моль [24]}$$

$$S_{298} = 13,03 \text{ э. е. [91]}$$

Реакция образования: Nb + O₂ → NbO₂

Расчетные данные [24]

T, °K	H _T - H ₂₉₈	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	(-190 400)	(-177 200)
400	(1 500)	(-190 200)	(-172 800)
500	(3 100)	(-190 000)	(-168 500)
600	(4 700)	(-189 700)	(-164 200)
700	(6 400)	(-189 500)	(-160 000)
800	(8 000)	(-189 300)	(-155 700)
900	(9 600)	(-189 100)	(-151 600)
1 000	(10 300)	(-188 900)	(-147 400)
1 100	(13 000)	(-188 700)	(-143 300)
1 200	(14 700)	(-188 500)	(-139 100)
1 300	(16 400)	(-188 300)	(-135 000)
1 400	(18 200)	(-188 100)	(-130 900)
1 500	(20 100)	(-187 900)	(-126 900)
1 600	(21 700)	(-187 700)	(-122 800)
1 700	(23 500)	(-187 500)	(-118 800)
1 800	(25 300)	(-187 300)	(-114 700)
1 900	(27 200)	(-187 100)	(-110 700)
2 000	(29 200)	(-186 800)	(-106 700)

Пятиокись ниобия Nb₂O₅ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -455\,000 \text{ кал/моль [67]}$$

$$S_{298} = 32,8 \text{ э. е. [90]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1785^\circ \text{K [107]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 24200 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} > 2500^\circ \text{K [42]}$$

Интервал I (тв) (298 — 1785° K)

$$C_p = 36,23 + 5,54 \times 10^{-3}T -$$

$$- 4,88 \times 10^5 T^{-2} \text{ [107]}$$

$$H_T - H_{298} = -12\,680 + 36,23T +$$

$$+ 2,77 \times 10^{-3}T^2 + 4,88 \times 10^5 T^{-1}$$

Интервал II (ж) (1785 — 1810° K)

$$C_p = 57,90 \text{ [107]}$$

$$H_T - H_{298} = -17\,255 + 57,90T$$

Реакция образования: 2Nb + 5/2 O₂ → Nb₂O₅

Интервал I (298 — 1785° K)

$$\Delta C_p = 7,01 + 1,12 \times 10^{-3}T -$$

$$- 3,88 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -458\,440 - 7,01T + 0,56 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 3,88 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -458\,440 - 7,01T \ln T - 0,56 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 1,94 \times 10^5 T^{-1} + 156,52T$$

Интервал II (1785 — 1810° K)

$$\Delta C_p = 28,68 - 4,42 \times 10^{-3}T +$$

$$+ 1,0 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -463\,750 + 28,68T - 2,21 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 1,0 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -463\,750 - 28,68T \ln T + 2,21 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,50 \times 10^5 T^{-1} + 317,0T$$

T, °K	H _T - H ₂₉₈	S _T	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	32,8	-455 000	-423 050
400	3 500	42,91	-454 550	-412 250
500	7 100	51,00	-453 950	-401 750
600	10 880	57,85	-453 200	-391 200
700	14 500	63,82	-452 900	-381 300
800	18 700	69,08	-452 000	-370 900
900	23 000	73,82	-451 000	-360 500
1 000	26 800	78,14	-450 600	-350 800
1 100	30 940	82,11	-449 700	-340 600
1 200	35 260	85,78	-448 850	-330 850
1 300	39 470	89,20	-448 100	-321 100
1 400	43 890	92,42	-447 200	-311 100
1 500	48 070	95,56	-446 900	-301 900
1 600	52 720	98,34	-445 550	-291 650
1 700	57 150	100,68	-444 800	-281 800
1 800	86 430	117,35	-419 150	-273 150
1 900	(92 370)	(120,48)	(-416 950)	(-264 650)
2 000	(98 230)	(123,45)	(-415 000)	(-256 200)

Хлористый ниобий NbCl₅ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -190\,600 \text{ кал/моль [48]}$$

$$S_{298} = (65) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{пл} = 485^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{пл} = 8400 \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 516^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{исп} = 11\,500 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Nb} + 5/2 \text{Cl}_2 \rightarrow \text{NbCl}_5$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-190 600	(-167 500)
500	(13 000)	(-183 000)	(-153 000)

$$H_T - H_{298} = -2831 + 8,69T + 2,70 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $\text{Nb} + 1/2 \text{N}_2 \rightarrow \text{NbN}$

Интервал I (298 — 600 °K)

$$\Delta C_p = -0,30 + 3,93 \times 10^{-3}T$$

$$\Delta H_T = -56\,900 - 0,30T + 1,96 \times 10^{-3}T^2$$

$$\Delta F_T = -56\,900 + 0,30T \ln T - 1,96 \times 10^{-3}T^2 + 20,42T$$

Бромистый ниобий

NbBr_5 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -132\,850 \text{ кал/моль} [48]$$

$$S_{298} = (78) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{пл} = 500^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{пл} = (8500) \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 545^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{исп} = (12\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Nb} + 5/2 \text{Br}_2 \rightarrow \text{NbBr}_5$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-132 850	(-126 200)
500	(12 000)	(-108 500)	(-114 500)

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	10,5	-56 800	-50 550
400	1 080	13,61	-56 700	-48 400
500	2 190	16,09	-56 550	-46 300
600	3 355	18,21	-56 350	-44 300
700	(4 570)	—	(-56 150)	(-42 300)
800	(5 850)	—	(-55 900)	(-40 350)
900	(7 170)	—	(-55 600)	(-38 400)
1 000	(8 560)	—	(-55 250)	(-36 550)
1 100	(10 000)	—	(-54 850)	(-34 700)
1 200	(11 480)	—	(-54 450)	(-32 850)
1 300	(13 030)	—	(-54 000)	(-31 050)
1 400	(14 640)	—	(-53 500)	(-29 350)
1 500	(16 270)	—	(-52 950)	(-27 600)
1 600	(18 000)	—	(-52 350)	(-26 000)
1 700	(19 670)	—	(-51 750)	(-24 350)
1 800	(21 550)	—	(-51 100)	(-22 800)
1 900	(23 420)	—	(-50 400)	(-21 250)
2 000	(25 350)	—	(-49 600)	(-19 700)

Нитрид ниобия

NbN (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -56\,800 \text{ кал/моль} [100]$$

$$S_{298} = 10,5 \text{ э. е.} [9]$$

$$T_{пл} = 2372^\circ \text{K} [94]$$

$$\Delta H_{пл} = (14\,500) \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 600 °K)

$$C_p = 8,69 + 5,40 \times 10^{-3}T [94]$$

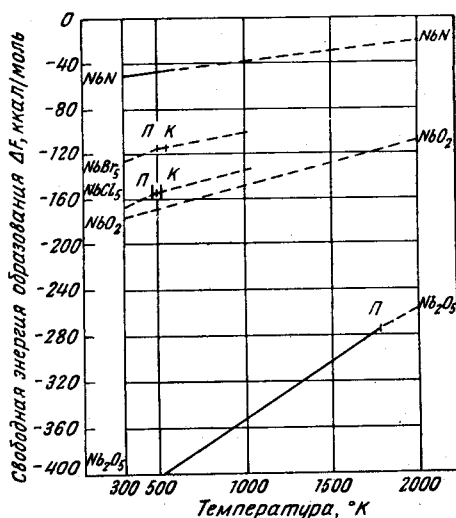


Рис. 15. Ниобий

Медь и ее соединения

Элемент
Cu (тв)

$$S_{298} = 7,97 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1357^\circ \text{K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 3120 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 2855^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 72\,800 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (тв) (298 — 1357° K)

$$C_P = 5,41 + 1,50 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1680 + 5,41T +$$

$$+ 0,75 \times 10^{-3}T^2$$

$$F_T - H_{298} = -1680 - 5,41T \ln T -$$

$$- 0,75 \times 10^{-3}T^2 + 28,7T$$

Интервал II (ж) (1357 — 1600° K)

$$C_P = 7,50 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -20 + 7,50T$$

$$F_T - H_{298} = -20 - 7,50T \ln T + 41,54T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	$\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	7,97	7,97
400	600	9,70	8,20
500	1 215	11,07	8,64
600	1 845	12,22	9,14
700	2 480	13,20	9,66
800	3 130	14,07	10,16
900	3 800	14,86	10,64
1 000	4 490	15,58	11,09
1 100	5 190	16,25	11,53
1 200	5 895	16,87	11,96
1 300	6 615	17,44	12,35
1 400	10 480	20,29	12,80
1 500	11 230	20,81	13,32
1 600	11 980	21,29	13,80
1 700	(12 740)	(21,74)	(14,24)
1 800	(13 480)	(22,17)	(14,68)
1 900	(14 230)	(22,58)	(15,09)
2 000	(14 980)	(22,96)	(15,47)

Закись меди

Cu₂O (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -40\,800 \text{ кал/моль [2]}$$

$$S_{298} = 22,44 \text{ э. е. [24]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1502^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 13\,400 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 1200° K)

$$C_P = 14,90 + 5,70 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -4696 + 14,90T +$$

$$+ 2,85 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $2\text{Cu} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{Cu}_2\text{O}$

Интервал I (298 — 1200° K)

$$\Delta C_P = 0,50 + 2,2 \times 10^{-3}T +$$

$$+ 0,20 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -40\,980 + 0,50T + 1,1 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,20 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -40\,980 - 0,50T \ln T - 1,1 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,10 \times 10^5 T^{-1} + 21,98T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	22,44	-40 800	-35 450
400	1 720	27,40	-40 650	-33 650
500	3 470	31,31	-40 500	-31 900
600	5 280	34,70	-40 300	-30 250
700	7 150	37,58	-40 100	-28 550
800	9 050	40,12	-39 900	-26 950
900	11 000	42,42	-39 700	-25 350
1 000	13 020	44,54	-39 500	-23 750
1 100	15 120	46,54	-39 150	-22 150
1 200	17 320	48,46	-38 800	-20 650
1 300	(19 570)	(50,2)	(-38 400)	(-19 100)
1 400	(22 020)	(52,0)	(-44 100)	(-17 500)
1 500	(24 600)	(53,2)	(-43 500)	(-15 600)
1 600	(40 400)	(63,7)	(-29 600)	(-13 700)

Окись меди

CuO (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -37\,500 \text{ кал/моль [2]}$$

$$S_{298} = 10,19 \text{ э. е. [56]}$$

$$T_{пл} = 1720^\circ \text{K} [24]$$

$$\Delta H_{пл} = 2820 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 1250° K)

$$C_p = 9,27 + 4,80 \times 10^{-3}T [82]$$

$$H_T - H_{298} = -2977 + 9,27T + 2,40 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $\text{Cu} + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{CuO}$

Интервал I (298 — 1250° K)

$$\Delta C_p = 0,28 + 2,8 \times 10^{-3}T +$$

$$+ 0,20 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -37\,640 + 0,28T + 1,4 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,20 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -37\,640 - 0,28T \ln T - 1,4 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,10 \times 10^5 T^{-1} + 24,93T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	10,19	-37 500	-30 850
400	1 110	13,40	-37 350	-28 600
500	2 260	15,95	-37 200	-26 450
600	3 460	18,14	-37 000	-24 300
700	4 710	20,07	-36 750	-22 200
800	6 000	21,79	-36 500	-20 150
900	7 320	23,34	-36 300	-18 100
1 000	8 680	24,77	-36 000	-16 050
1 100	10 120	26,15	-35 700	-14 100
1 200	11 600	27,43	-35 300	-12 150
1 300	(12 860)	(28,6)	(-35 000)	(-10 250)
1 400	(14 640)	(29,9)	(-37 700)	(-8 500)
1 500	(15 870)	(31,0)	(-37 300)	(-6 400)
1 600	(18 800)	(32,0)	(-36 900)	(-4 300)

Однофтористая медь

CuF (тв)

$$\Delta H_{298} = -6000 \text{ кал/моль} [11]$$

$$S_{298} = (16) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{пл} = (1020^\circ \text{K}) [42]$$

$$\Delta H_{пл} = (4500) \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = (1660^\circ \text{K}) [42]$$

$$\Delta H_{исп} = (36\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Cu} + 1/2\text{F}_2 \rightarrow \text{CuF}$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-60 000	(-55 200)
500	(3 000)	(-59 000)	(-52 000)
1 000	(10 000)	(-57 400)	(-46 000)
1 500	(22 000)	(-50 300)	(-39 000)

Двухфтористая медь

CuF_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -128\,000 \text{ кал/моль} [11]$$

$$S_{298} = (22) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{пл} = (1200^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{пл} = (6000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = (1800^\circ \text{K}) [6]$$

Реакция образования: $\text{Cu} + \text{F}_2 \rightarrow \text{CuF}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-128 000	(-117 600)
500	(4 000)	(-126 800)	(-110 500)
1 000	(13 000)	(-125 300)	(-95 000)

Однхлористая медь

CuCl (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -32\,600 \text{ кал/моль} [11]$$

$$S_{298} = 20,8 \text{ э. е.} [83]$$

$$T_{пл} = 703^\circ \text{K} [82]$$

$$\Delta H_{пл} = 2620 \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 1963^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{исп} = 39\,600 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 703° K)

$$C_p = 5,87 + 19,20 \times 10^{-3}T [82]$$

$$H_T - H_{298} = -2605 + 5,87T +$$

$$+ 9,60 \times 10^{-3}T^2$$

Интервал II (ж) (703 — 1200° K)

$$C_p = 15,80 [79]$$

$$H_T - H_{298} = -2220 + 15,80T$$

Реакция образования: $\text{Cu} + \frac{1}{2}\text{Cl}_2 \rightarrow \text{CuCl}$

Интервал I (298 — 703° К)

$$\Delta C_p = -3,95 + 17,67 \times 10^{-3}T + 0,34 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -31\,066 - 3,95T + 8,83 \times 10^{-3}T^2 - 0,34 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -31\,066 + 3,95T \ln T - 8,83 \times 10^{-3}T^2 - 0,17 \times 10^5 T^{-1} - 7,56T$$

Интервал II (703 — 1200° К)

$$\Delta C_p = 6,0 - 1,53 \times 10^{-3}T + 0,34 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta H_T = -31\,800 + 6,0T - 0,765 \times 10^{-3}T^2 - 0,34 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -31\,800 - 6,0T \ln T + 0,765 \times 10^{-3}T^2 - 0,17 \times 10^5 T^{-1} + 50,5T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	20,8	-32 600	-28 500
400	1 280	24,48	-32 450	-27 200
500	2 720	27,68	-31 950	-25 800
600	4 385	30,71	-31 500	-24 850
700	6 210	33,52	-30 600	-23 600
800	10 420	39,37	-27 450	-22 950
900	12 000	41,23	-27 000	-22 500
1 000	13 580	42,9	-26 550	-21 950
1 100	15 160	44,41	-26 050	-21 400
1 200	16 740	45,78	-25 650	-21 150

Двухлористая медь
 CuCl_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -53\,400 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (27) \text{ э. е. [11]}$$

Температура разложения 810° К, 1 ат Cl_2 [6]

Интервал I (тв) (298 — 800° К)

$$C_p = 15,42 + 12,00 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -5131 + 15,42T + 6,00 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $\text{Cu} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CuCl}_2$

Интервал I (298 — 800° К)

$$\Delta C_p = 1,19 + 10,44 \times 10^{-3}T + 0,68 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -53\,990 + 1,19T + 5,22 \times 10^{-3}T^2 - 0,68 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -53\,990 - 1,19T \ln T - 5,22 \times 10^{-3}T^2 - 0,34 \times 10^5 T^{-1} + 45,0T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(27,0)	-53 400	(-43 200)
400	2 000	(32,7)	-52 850	(-39 700)
500	4 080	(37,4)	-52 200	(-36 500)
600	6 290	(41,4)	-51 500	(-33 450)
700	8 620	(45,0)	-50 700	(-30 550)
800	11 030	(49,2)	-49 800	(-28 450)

Однобромистая медь
 CuBr (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -25\,450 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = 22,97 \text{ э. е. [55]}$$

$$T_{\text{пл}} = 761^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (2300) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1591^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (33\,400) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Cu} + \frac{1}{2}\text{Br}_2 \rightarrow \text{CuBr}$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-25 450	-24 400
500	(3 000)	(-28 400)	(-21 500)
1 000	(13 000)	(-24 000)	(-17 000)
1 500	(21 000)	(-24 900)	(-13 400)

Двубромистая медь
 CuBr_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -33\,200 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = (33) \text{ э. е. [11]}$$

Температура разложения 600° К, 1 ат Вг₂ [6]

Реакция образования: $\text{Cu} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{CuBr}_2$

Расчетные данные [112]

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	—33 200	(—30 400)
500	(4 000)	(—40 000)	(—24 300)

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	23,1	—16 500	—17 000
400	1 335	26,95	—18 400	—16 900
500	2 670	29,95	—23 400	—16 100
600	4 040	32,44	—23 100	—14 700
1 000	(13 000)	—	(—18 500)	(—9 500)
1 500	(52 000)	—	(+11 500)	(—5 800)

Однодыстая медь

CuJ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -16\,500 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = 23,1 \text{ э. е. [112]}$$

$$T_{\text{пл}} = 861^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (2600) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1480^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (31\,100) \text{ кал/моль}$$

Интервал I (ТВ) (298 — 675° К)

$$C_p = 12,1 + 2,86 \times 10^{-3} T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -3733 + 12,1T + 1,43 \times 10^{-3} T^2$$

Реакция образования: $\text{Cu} + 1/2 \text{J}_2 \rightarrow \text{CuJ}$

Интервал I (298 — 386,1° К)

$$\Delta C_p = 1,9 - 4,59 \times 10^{-3} T$$

$$\Delta H_T = -16\,850 + 1,9T - 2,29 \times 10^{-3} T^2$$

$$\Delta F_T = -16\,850 - 1,9T \ln T + 2,29 \times 10^{-3} T^2 + 9,47T$$

Интервал II (386,1 — 456° К)

$$\Delta C_p = -2,91 + 1,36 \times 10^{-3} T$$

$$\Delta H_T = -17\,350 - 2,91T + 0,68 \times 10^{-3} T^2$$

$$\Delta F_T = -17\,350 + 2,91T \ln T - 0,68 \times 10^{-3} T^2 - 16,1T$$

Интервал III (456 — 675° К)

$$\Delta C_p = 2,21 + 1,36 \times 10^{-3} T$$

$$\Delta H_T = -24\,700 - 2,21T + 0,68 \times 10^{-3} T^2$$

$$\Delta F_T = -24\,700 - 2,21T \ln T - 0,68 \times 10^{-3} T^2 + 31,3T$$

Расчетные данные [11]

Нитрид меди

Cu_3N (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = 17\,800 \text{ кал/моль [9]}$$

Метастабильный, температура разложения > 740° К

Нитрид меди

CuN (ТВ)

$$\Delta H_{298} = -60\,230 \text{ кал/моль [131]}$$

$$S_{298} = 39,68 \text{ э. е.}$$

$$\Delta F_{298}^0 = -62\,850 \text{ кал/моль}$$

Нитрид меди

CuN_3 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = 67\,230 \text{ кал/моль [43]}$$

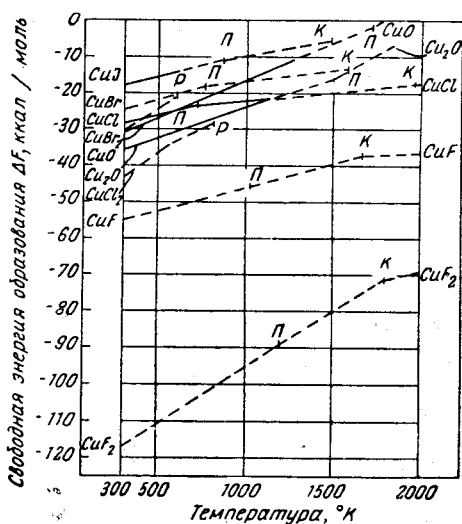


Рис. 16. Медь

Диспрозий и его соединения**Элемент**

Dy (тв)

$$S_{298} = 17,87 \text{ э. е. [127]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1673^\circ \text{K [125]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 4100 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 2600^\circ \text{K [125]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 67\,000 \text{ кал/г-атом}$$

Данные выше 298° K вычислены [130]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	17,87	17,87
400	(670)	(19,81)	(18,14)
500	(1 350)	(21,31)	(18,61)
600	(2 040)	(22,58)	(19,18)
700	(2 750)	(23,67)	(19,75)
800	(3 480)	(24,64)	(20,29)
900	(4 220)	(25,52)	(20,84)
1 000	(4 990)	(26,32)	(21,33)
1 100	(5 760)	(27,06)	(21,83)
1 200	(6 560)	(27,76)	(22,30)
1 300	(7 370)	(28,41)	(22,75)
1 400	(8 200)	(29,02)	(23,17)
1 500	(9 050)	(29,61)	(23,58)
1 600	(9 911)	(30,16)	(23,97)
1 700	(10 790)	(30,70)	(24,36)
1 800	(15 760)	(33,51)	(24,76)
1 900	(16 560)	(33,94)	(25,23)
2 000	(17 360)	(34,36)	(25,68)

Фтористый диспрозийDyF₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-373\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (25) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1427^\circ \text{K}) [29]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2500^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (60\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Dy} + \frac{3}{2}\text{F}_2 \rightarrow \text{DyF}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-373 000)	(-355 000)
500	(4 000)	(-372 500)	(-343 000)
1 000	(17 000)	(-370 000)	(-313 000)
1 500	(32 000)	(-365 500)	(-287 500)

Хлористый диспрозийDyCl₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-211\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (40) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 920^\circ \text{K [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (7000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1800^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (45\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Dy} + \frac{3}{2}\text{Cl}_2 \rightarrow \text{DyCl}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-211 000)	(-195 000)
500	(5 000)	(-210 000)	(-185 000)
1 000	(19 000)	(-206 000)	(-161 000)
1 500	(43 000)	(-202 500)	(-142 000)

Бромистый диспрозийDyBr₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-173\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (45) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1152^\circ \text{K [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (9000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1750^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (44\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Dy} + \frac{3}{2}\text{Br}_2 \rightarrow \text{DyBr}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-173 000)	(-166 500)
500	(5 000)	(-183 500)	(-156 000)
1 000	(18 000)	(-181 000)	(-131 000)
1 500	(43 000)	(-167 000)	(-112 000)

Йодистый диспрозий
DyJ₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -143\,700 \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (47) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1243^\circ \text{ К [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (10\,000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1590^\circ \text{ К [6]})$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (41\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: Dy + ³/₂J₂ → DyJ₃

Расчетные данные [11]

T, °K	H _T -H ₂₉₈	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	-143 700	(-141 000)
500	(5 000)	(-165 000)	(-143 600)
1 000	(19 000)	(-161 500)	(-108 000)
1 500	(46 000)	(-145 000)	(-84 000)

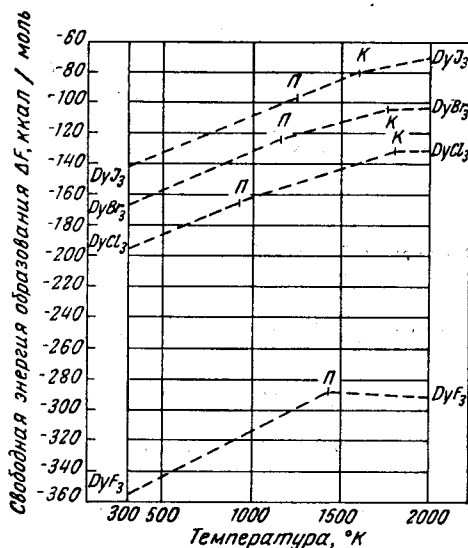


Рис. 17. Диспрозий

Эрбий и его соединения

Элемент Er (тв)

$$S_{298} = 17,48 \text{ э. е. [122]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1800^\circ \text{ К [125]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 4100 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 2900^\circ \text{ К [125]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 70\,000 \text{ кал/г-атом}$$

Расчетные данные [130]

T, °K	H _T -H ₂₉₈	S _T	$-\frac{(F_T-H_{298})}{T}$
298	—	17,48	17,48
400	(690)	(19,47)	(17,75)
500	(1 390)	(21,02)	(18,24)
600	(2 095)	(22,32)	(18,83)
700	(2 820)	(23,43)	(19,41)
800	(3 560)	(24,42)	(19,97)
900	(4 310)	(25,31)	(20,53)
1 000	(5 080)	(26,12)	(21,04)
1 100	(5 870)	(26,87)	(21,54)
1 200	(6 670)	(27,56)	(22,01)
1 300	(7 480)	(28,21)	(22,46)
1 400	(8 310)	(28,83)	(22,90)
1 500	(9 160)	(29,41)	(23,31)

Продолжение

T, °K	H _T -H ₂₉₈	S _T	$-\frac{(F_T-H_{298})}{T}$
1 600	(10 020)	(29,97)	(23,71)
1 700	(10 890)	(30,50)	(24,10)
1 800	(15 880)	(33,29)	(24,47)
1 900	(16 680)	(33,72)	(24,95)
2 000	(17 480)	(34,13)	(25,39)

Фтористый эрбий
ErF₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-367\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (25) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1413^\circ \text{ К [29]})$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2500^\circ \text{ К [6]})$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (60\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: Er + ³/₂F₂ → ErF₃

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-367 000)	(-349 000)
500	(4 000)	(-367 000)	(-337 000)
1 000	(17 000)	(-364 000)	(-308 000)
1 500	(32 000)	(-359 500)	(-281 500)

Хлористый эрбий

ErCl_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -229\,070 \text{ кал/моль [127]}$$

$$S_{298} = 35,1 \text{ э. е. [127]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1049^\circ \text{K}) [29]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1770^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (44000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Er} + \frac{3}{2} \text{Cl}_2 \rightarrow \text{ErCl}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-229 000	-211 400
500	(5 000)	(-228 000)	(-201 900)
1 000	(19 000)	(-224 000)	(-177 100)
1 500	(43 000)	(-210 500)	(-158 600)

Бромистый эрбий

ErBr_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-169\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (44) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1196^\circ \text{K} [29]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (10\,000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1730^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (43\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Er} + \frac{3}{2} \text{Br}_2 \rightarrow \text{ErBr}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-169 000)	(-162 000)
500	(5 000)	(-179 500)	(-153 000)
1 000	(18 000)	(-177 000)	(-126 000)
1 500	(43 000)	(-163 000)	(-106 500)

Иодистый эрбий

ErI_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -140\,000 \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = 47 \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1273^\circ \text{K} [29]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (10\,000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1550^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (40\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Er} + \frac{3}{2} \text{I}_2 \rightarrow \text{ErI}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-140 000	(-137 000)
500	(5 000)	(-161 500)	(-132 000)
1 000	(19 000)	(-157 500)	(-104 000)
1 500	(44 000)	(-143 000)	(-79 500)

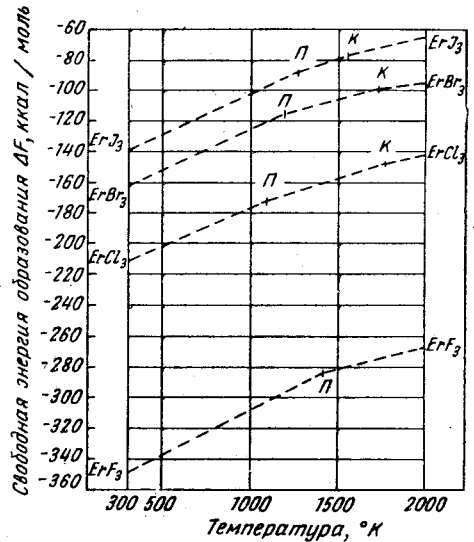


Рис. 18. Эрбий

Европий и его соединения

Элемент

Eu (ТВ)

$$S_{298} = (17,0) \text{ э. е. [130]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1173^\circ \text{K}) [125]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 2500 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = (1700^\circ \text{K}) [25]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 40\,000 \text{ кал/г-атом}$$

Расчетные данные [130]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	(17,0)	(17,0)
400	(660)	(18,91)	(17,26)
500	(1 330)	(20,40)	(17,74)
600	(2 020)	(21,66)	(18,30)
700	(2 730)	(22,76)	(18,86)
800	(3 460)	(23,73)	(19,41)
900	(4 210)	(24,62)	(19,95)
1 000	(4 980)	(25,43)	(20,45)
1 100	(5 770)	(26,18)	(20,94)
1 200	(6 580)	(26,88)	(21,40)
1 300	(7 410)	(27,53)	(21,83)
1 400	(8 260)	(28,14)	(22,23)
1 500	(9 130)	(28,71)	(22,60)
1 600	(10 020)	(29,24)	(22,94)
1 700	(10 930)	(29,73)	(23,25)
1 800	(11 860)	(30,19)	(23,53)
1 900	(12 810)	(30,61)	(23,78)
2 000	(13 780)	(30,99)	(24,00)

Двухфтористый европий

EuF₂ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-282\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (20) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1571^\circ \text{K}) [29]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (5000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2700^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (78\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Eu} + \text{F}_2 \rightarrow \text{EuF}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-282 000)	(-270 000)
500	(4 000)	(-281 000)	(-261 000)
1 000	(13 000)	(-280 000)	(-243 000)
1 500	(24 000)	(-279 500)	(-223 500)

Трехфтористый европий

EuF₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298} = (-366\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (25) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1560^\circ \text{K}) [29]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2550^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (60\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Eu} + \frac{3}{2}\text{F}_2 \rightarrow \text{EuF}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-366 000)	(-347 800)
500	(4 000)	(-366 000)	(-336 000)
1 000	(17 000)	(-363 000)	(-306 000)
1 500	(32 000)	(-361 000)	(-279 000)

Двуххлористый европий

EuCl₂ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-192\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (30) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1000^\circ \text{K}) [29]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (6000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2300^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (55\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Eu} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{EuCl}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-192 000)	(-181 000)
500	(4 000)	(-191 000)	(-173 500)
1 000	(13 000)	(-190 000)	(-158 000)
1 500	(31 000)	(-183 000)	(-145 500)

Треххлористый европий

EuCl_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-208\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (40) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 896^\circ \text{ К [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (7000) \text{ кал/моль}$$

Разлагается [6]

Реакция образования: $\text{Eu} + 3/2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{EuCl}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-208 000)	(-192 000)
500	(5 000)	(-207 000)	(-181 500)
1 000	(19 000)	(-203 000)	(-158 000)
1 500	(43 000)	(-192 000)	(-139 000)

Двубромистый европий

EuBr_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-162\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (40) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (950^\circ \text{ К [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (6000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2150^\circ \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (50\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Eu} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{EuBr}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-162 000)	(-158 000)
500	(4 000)	(-169 000)	(-151 000)
1 000	(20 000)	(-161 000)	(-133 000)
1 500	(32 000)	(-160 000)	(-122 500)

Трехбромистый европий

EuBr_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-166\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (46) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (975^\circ \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

Разлагается [6]

Реакция образования: $\text{Eu} + 3/2\text{Br}_2 \rightarrow \text{EuBr}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-166 000)	(-159 000)
500	(5 000)	(-176 500)	(-149 500)
1 000	(18 000)	(-174 000)	(-125 000)
1 500	(43 000)	(-162 000)	(-106 500)

Двуйодистый европий

EuJ_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-127\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (40) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (800^\circ \text{ К [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (5000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1850^\circ \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (40\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Eu} + \text{J}_2 \rightarrow \text{EuJ}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-127 000)	(-127 000)
500	(4 000)	(-141 000)	(-124 000)
1 000	(19 000)	(-134 000)	(-110 000)
1 500	(31 000)	(-133 000)	(-99 000)

Трехйодистый европий

EuJ_3 (тв)

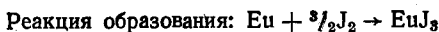
$$\Delta H_{298}^0 = (-112\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (48) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{пл} = (1150^\circ \text{K}) [29]$$

$$\Delta H_{пл} = (9000) \text{ кал/моль}$$

Разлагается [6]



Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-112 000)	(-110 000)
500	(5 000)	(-133 000)	(-104 000)
1 000	(19 000)	(-129 500)	(-77 000)
1 500	(44 000)	(-118 000)	(-53 000)

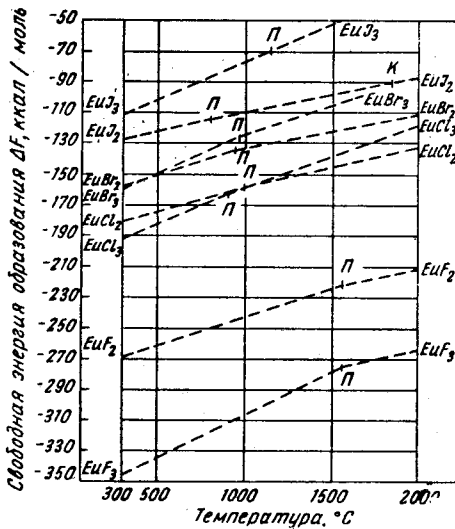


Рис. 19. Европий

Фтор

Элемент

F_2 (г)

$$S_{298} = 48,56 \text{ э. е.} [83]$$

$$T_{пл} = 53,54^\circ \text{K} [112]$$

$$\Delta H_{пл} = 122 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{кип} = 85,0^\circ \text{K} [112]$$

$$\Delta H_{исп} = 1562 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (г) (298—2000°K)

$$C_p = 8,29 + 0,44 \times 10^{-3}T - 0,80 \times 10^5 T^{-2} [82]$$

$$H_T - H_{298} = -2760 + 8,29T + 0,22 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 0,80 \times 10^5 T^{-1}$$

$$F_T - H_{298} = -2760 - 8,29T \ln T -$$

$$-0,22 \times 10^{-3}T^2 + 0,40 \times 10^5 T^{-1} + 7,3T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	48,56	48,56
400	786	50,83	48,86
500	1 590	52,62	49,44
600	2 420	54,14	50,11
700	3 265	55,44	50,77
800	4 120	56,58	51,43
900	4 980	57,59	52,06
1 000	5 850	58,51	52,66
1 100	6 725	59,34	53,14
1 200	7 600	60,11	53,77
1 300	8 480	60,81	54,29
1 400	9 360	61,46	54,77
1 500	10 240	62,07	55,24
1 600	11 125	62,64	55,69
1 700	12 010	63,18	56,11
1 800	12 895	63,68	56,52
1 900	13 785	64,16	56,90
2 000	14 670	64,62	57,29

Гадолиний и его соединения

Элемент

Gd (г)

$$S_{298} = 15,83 [121] \text{ э. е.}$$

$$T_{пл} = 1523^\circ \text{K} [127]$$

$$\Delta H_{пл} = 3700 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{кип} = 3000^\circ \text{K} [127]$$

$$\Delta H_{исп} = 72 000 \text{ кал/г-атом}$$

Расчетные данные [130]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	15,83	15,83
400	(780)	(18,12)	(15,93)
500	(1 480)	(19,66)	(16,70)
600	(2 200)	(20,98)	(17,31)
700	(2 940)	(22,13)	(17,93)
800	(3 700)	(23,14)	(18,51)
900	(4 480)	(24,05)	(19,07)
1 000	(5 270)	(24,89)	(19,62)
1 100	(6 080)	(25,66)	(20,13)
1 200	(6 900)	(26,37)	(20,62)
1 300	(7 740)	(27,05)	(21,09)
1 400	(8 600)	(27,68)	(21,53)
1 500	(9 480)	(28,29)	(21,97)
1 600	(14 070)	(31,17)	(22,37)
1 700	(14 870)	(31,66)	(22,91)
1 800	(15 670)	(32,12)	(23,41)
1 900	(16 470)	(32,55)	(23,88)
2 000	(17 270)	(32,96)	(24,32)

Оксид гадолиния

Gd_2O_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -433\,940 \pm 860 \text{ кал/моль [59]}$$

Фтористый гадолиний

GdF_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-379\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (25) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{прев}} = 1280^\circ \text{K [29]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1650^\circ \text{K [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2550^\circ \text{K [6]})$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (60\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Gd} + \frac{3}{2}\text{F}_2 \rightarrow \text{GdF}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-379 000)	(-361 000)
500	(4 000)	(-379 000)	(-349 000)
1 000	(17 000)	(-376 000)	(-319 000)
1 500	(32 000)	(-372 000)	(-290 500)

Хлористый гадолиний

GdCl_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -240\,080 \text{ кал/моль [127]}$$

$$S_{298} = 34,9 \text{ э. е. [127]}$$

$$T_{\text{пл}} = 882^\circ \text{K [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (7000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1850^\circ \text{K [6]})$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (45\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Gd} + \frac{3}{2}\text{Cl}_2 \rightarrow \text{GdCl}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-240 100	-222 000
500	(5 000)	(-239 000)	(-211 000)
1 000	(19 000)	(-235 500)	(-188 000)
1 500	(43 000)	(-222 000)	(-170 000)

Бромистый гадолиний

GdBr_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -178\,000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (46) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1043^\circ \text{K [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1760^\circ \text{K [6]})$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (44\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Gd} + \frac{3}{2}\text{Br}_2 \rightarrow \text{GdBr}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-178 000	(-171 500)
500	(5 000)	(-189 000)	(-161 500)
1 000	(18 000)	(-186 000)	(-137 000)
1 500	(43 000)	(-172 000)	(-118 500)

Йодистый гадолиний

GdJ₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -147\,000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (48) \text{ э. е.}$$

$$T_{\text{пл}} = 1199^\circ \text{ К [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (10\,000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1610^\circ \text{ К}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (40\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Gd} + 3/2 \text{J}_2 \rightarrow \text{GdJ}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-147 000	(-144 000)
500	(5 000)	(-168 000)	(-140 500)
1 000	(19 000)	(-165 000)	(-113 000)
1 500	(44 000)	(-151 000)	(-89 000)

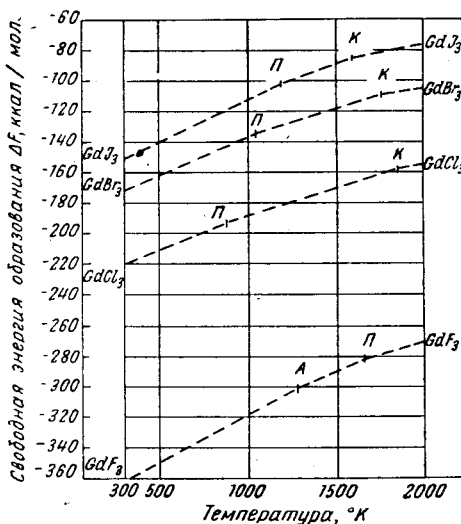


Рис. 20. Гадолиний

Золото и его соединения

Элемент

Au (тв)

$$S_{298} = 11,32 \text{ э. е. [37]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1336^\circ \text{ К [82]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 2955 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 2980^\circ \text{ К [130]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 77540 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (тв) (298—1336° К)

$$C_p = 5,66 + 1,24 \times 10^{-3}T [82]$$

$$H_T - H_{298} = -1743 + 5,66T + 0,62 \times 10^{-3}T^2$$

$$F_T - H_{298} = -1743 - 5,66T \ln T -$$

$$- 0,62 \times 10^{-3}T^2 + 26,95T$$

Интервал II (ж) (1336—1600° К)

$$C_p = 7,00 [82]$$

$$H_T - H_{298} = 530 + 7,00T$$

$$F_T - H_{298} = 530 - 7,00T \ln T + 34,1T$$

6 Зак. 1168

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	11,32	11,32
400	625	13,12	11,56
500	1 245	14,51	12,02
600	1 880	15,66	12,53
700	2 530	16,67	13,06
800	3 180	17,53	13,56
900	3 850	18,32	14,04
1 000	4 530	19,04	14,51
1 100	5 220	19,70	14,95
1 200	5 930	20,32	15,37
1 300	6 660	20,90	15,78
1 400	10 330	23,64	16,26
1 500	11 030	24,12	16,77
1 600	11 730	24,57	17,24
1 700	(12 430)	(24,99)	(17,68)
1 800	(13 130)	(25,39)	(18,10)
1 900	(13 830)	(25,77)	(18,50)
2 000	(14 530)	(26,13)	(18,87)

Окись золота

Au₂O₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-800) \text{ кал/моль [24]}$$

$$S_{298} = (31) \text{ э. е. [24]}$$

Реакция образования: $2\text{Au} + \frac{3}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{Au}_2\text{O}_3$

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-800)	(18 550)
400	(2 800)	(-350)	(25 100)
500	(6 000)	(+100)	(31 450)

Однофтористое золото

AuF (г)

$$\Delta H_{298}^0 = -18\,000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (23) \text{ э. е. [11]}$$

Реакция образования: $\text{Au} + \frac{1}{2}\text{F}_2 \rightarrow \text{AuF}$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-18 000	(-14 100)
500	(3 000)	(-17 000)	(-11 500)
1 000	(12 000)	(-13 500)	(-9 000)

Двухфтористое золото

AuF_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-57\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (28) \text{ э. е. [11]}$$

Реакция образования: $\text{Au} + \text{F}_2 \rightarrow \text{AuF}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-57 000)	(-47 400)
500	(4 000)	(-55 800)	(-40 500)

Трехфтористое золото

AuF_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-100\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (38) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1000^\circ\text{K}) [6]$$

Реакция образования: $\text{Au} + \frac{3}{2}\text{F}_2 \rightarrow \text{AuF}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-100 000)	(-86 200)
500	(4 000)	(-99 600)	(-77 500)

Однохлористое золото

AuCl (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -8400 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = (24) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{кип}} = (1600^\circ\text{K}) [6]$$

Реакция образования: $\text{Au} + \frac{1}{2}\text{Cl}_2 \rightarrow \text{AuCl}$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-8 400	(-4 200)
500	(3 000)	(-7 500)	(-1 400)
1 000	(13 000)	(-2 900)	(+2 600)

Двуххлористое золото

AuCl_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -18\,100 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = (36) \text{ э. е. [11]}$$

Температура разложения $> 460^\circ\text{K}$ [6]

Реакция образования: $\text{Au} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{AuCl}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-18 100	(-9 500)
500	(4 000)	(-17 000)	(-3 600)

Треххлористое золото

AuCl_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -28\,300 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = (45) \text{ э. е. [6]}$$

$$T_{пл} = 561 \text{ }^\circ\text{K} [6]$$

$$T_{кип} = (700^\circ\text{K})$$

Реакция образования: $\text{Au} + \frac{3}{2}\text{Cl}_2 \rightarrow \text{AuCl}_3$

Расчетные данные [11]

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	—28 300	(—14 600)
500	(5 000)	(—27 100)	(—5 300)

Однобромистое золото AuBr (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -3300 \text{ кал/моль} [112]$$

$$S_{298} = (27) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{пл} = (1600^\circ\text{K}) [6]$$

Реакция образования: $\text{Au} + \frac{1}{2}\text{Br}_2 \rightarrow \text{AuBr}$

Расчетные данные [11]

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	—3 300	(—2 550)
500	(3 000)	(—300)	(0)

Двубромистое золото AuBr_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -5550 \text{ кал/моль} [11]$$

$$S_{298} = (39) \text{ э. е.} [11]$$

Разлагается [6]

Реакция образования: $\text{Au} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{AuBr}_2$

Расчетные данные [11]

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	—5 550	(—2 900)
500	(4 000)	(12 300)	(+3 100)

Трехбромистое золото AuBr_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -11\,000 \text{ кал/моль} [11]$$

$$S_{298} = (54) \text{ э. е.} [11]$$

Разлагается [6]

Реакция образования: $\text{Au} + \frac{3}{2}\text{Br}_2 \rightarrow \text{AuBr}_3$

Расчетные данные [11]

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	—11 000	(—7 600)
500	(5 000)	(—16 800)	(+2 000)

Однородистое золото AuJ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = +240 \text{ кал/моль} [11]$$

$$S_{298} = (28) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{пл} = (1600^\circ\text{K}) [6]$$

Реакция образования: $\text{Au} + \frac{1}{2}\text{J}_2 \rightarrow \text{AuJ}$

Расчетные данные [11]

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	240	(—400)
500	(3 000)	(—9 000)	(+300)

Двуйодистое золото AuJ_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (+6900) \text{ кал/моль} [11]$$

$$S_{298} = (39) \text{ э. е.} [11]$$

Разлагается [6]

Реакция образования: $\text{Au} + \text{J}_2 \rightarrow \text{AuJ}_2$

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(+6 900)	(+6 900)
500	(4 000)	(—7 000)	(+8 000)

Трехйодистое золото

AuI₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (+8300) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (50) \text{ э. е. [11]}$$

Разлагается [6]

Реакция образования: $\text{Au} + \frac{3}{2}\text{J}_2 \rightarrow \text{AuJ}_3$

Расчетные данные [11]

T, °K	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(8300)	(+9200)
500	(5000)	(-13000)	(+9500)

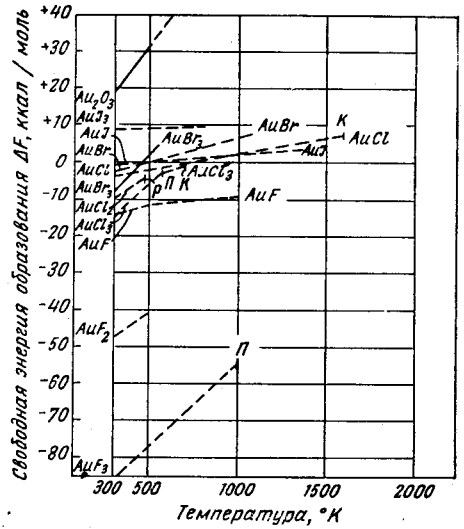


Рис. 21. Золото

Гафний и его соединения

Элемент
Hf (тв)

$$S_{298} = 13,1 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 2488^\circ \text{K [85]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (6000) \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 5500^\circ \text{K [7]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 155000 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (тв) (298 — 2488° K)

$$C_p = 6,00 + 0,52 \times 10^{-3} T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1810 + 6,00T + 0,26 \times 10^{-3} T^2$$

$$F_T - H_{298} = -1810 - 6,00T \ln T -$$

$$-0,26 \times 10^{-3} T^2 + 27,16T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	$\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	13,1	13,1
400	670	14,95	13,30
500	1320	16,40	13,70
600	1980	17,55	14,27
700	2645	18,45	14,61
800	3320	19,26	15,26
900	4010	20,10	15,68
1000	4710	20,81	16,10
1100	5420	21,44	16,54
1200	6140	21,96	16,84
1300	6870	22,51	17,31
1400	7610	23,07	17,58
1500	8360	23,52	17,91
1600	9120	23,92	18,22
1700	9890	24,32	18,59
1800	10595	24,77	18,78
1900	11470	25,03	19,11
2000	12270	25,43	19,31
2500	(16440)	(28,14)	(21,56)

Оксид гафния

HfO₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -266050 \text{ кал/моль [66]}$$

$$S_{298} = 14,18 \text{ э. е. [132]}$$

$$T_{\text{пл}} = 3063^\circ \text{K [8]}$$

Интервал I (тв) (298 — 1800° К)

$$C_p = 17,39 + 2,08 \times 10^{-3}T - 3,48 \times 10^5 T^{-2} \quad [105]$$

$$H_T - H_{298} = -6440 + 17,39T + 1,04 \times 10^{-3}T^2 + 3,48 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $\text{Hf} + \text{O}_2 \rightarrow \text{HfO}_2$

Интервал I (298 — 1800° К)

$$\Delta C_p = 4,23 + 0,56 \times 10^{-3}T - 3,08 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -268400 + 4,23T + 0,28 \times 10^{-3}T^2 + 3,08 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -268400 - 4,23T \ln T - 0,28 \times 10^{-3}T^2 + 1,54 \times 10^5 T^{-1} + 78,16T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	14,81	-266 050	-251 750
400	1 550	19,61	-265 900	-246 900
500	3 150	22,24	-265 650	-242 150
600	4 900	25,40	-265 350	-237 550
700	6 700	28,19	-264 950	-232 950
800	8 550	30,67	-264 600	-228 650
900	10 450	32,88	-264 200	-224 100
1 000	12 350	34,88	-263 850	-219 700
1 100	14 300	36,72	-263 400	-215 300
1 200	16 250	38,42	-263 100	-211 200
1 300	18 200	40,00	-262 600	-206 900
1 400	20 200	41,48	-262 200	-202 500
1 500	22 200	42,87	-261 850	-198 350
1 600	24 250	44,19	-261 350	-194 350
1 700	26 300	45,44	-260 950	-190 250
1 800	28 400	46,63	-260 350	-186 050
1 900	(30 500)	(47,76)	(-259 100)	(-181 400)
2 000	(32 600)	(48,85)	(-258 550)	(-177 600)
2 500	—	—	(-255 850)	(-159 600)

Фтористый гафний

 HfF_4 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-435\,000) \text{ кал/моль} \quad [11]$$

$$S_{298} = (35) \text{ э. е.} \quad [11]$$

$$T_{\text{возг}} = (1200^\circ \text{K}) \quad [6]$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = (63\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Hf} + 2\text{F}_4 \rightarrow \text{HfF}_4$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-435 000)	(-412 500)
500	(6 000)	(-433 500)	(-398 500)
1 000	(22 000)	(-429 500)	(-363 000)

Хлористый гафний

 HfCl_4 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-255\,000) \text{ кал/моль} \quad [11]$$

$$S_{298} = 45,6 \text{ э. е.} \quad [132]$$

$$T_{\text{возг}} = 590^\circ \text{K} \quad [6]$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = (24\,000) \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 485° К)

$$C_p = 31,47 - 2,38 \times 10^5 T^{-2} \quad [105]$$

$$H_T - H_{298} = -10\,180 + 31,47T + 2,38 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $\text{Hf} + 2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{HfCl}_4$

Интервал I (298—485° К)

$$\Delta C_p = 7,83 - 0,64 \times 10^{-3}T - 1,02 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -257\,650 + 7,83T -$$

$$-0,32 \times 10^{-3}T^2 + 1,02 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -257\,650 - 7,83T \ln T + 0,32 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 0,51 \times 10^5 T^{-1} + 126,78T$$

Интервал II (500 — 2000° К)

Расчетные данные [42]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-255 000)	(-232 900)
400	3 000	(-254 350)	(-225 350)
500	6 000	(-253 700)	(-218 200)
1 000	—	—	(-209 000)
1 500	—	—	(-199 000)
2 000	—	—	(-180 000)

Бромистый гафнийHfBr₄ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-210\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (57) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{возг}} = 595^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = (24\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Hf} + 2\text{Br}_2 \rightarrow \text{HfBr}_4$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-210 000)	(-201 750)
500	(6 000)	(-223 750)	(-187 500)

Иодистый гафнийHfI₄ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-145\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (62) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{возг}} = (700^\circ \text{K [6]})$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = (28\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Hf} + 2\text{I}_2 \rightarrow \text{HfI}_4$

Расчетные данные [11]

Гольмий и его соединения**Элемент**

Ho (ТВ)

$$S_{298} = (17,77) \text{ э. е. [121]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1773^\circ \text{K [125]}$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-145 000)	(-142 000)
500	(6 000)	(-177 700)	(-137 500)

Нитрид гафния

HfN (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -88\,240 \text{ кал/моль [66]}$$

$$S_{298} = 13,1 \text{ э. е. [66]}$$

$$\Delta F_{298}^0 = -81\,400 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 3580^\circ \text{K [9]}$$

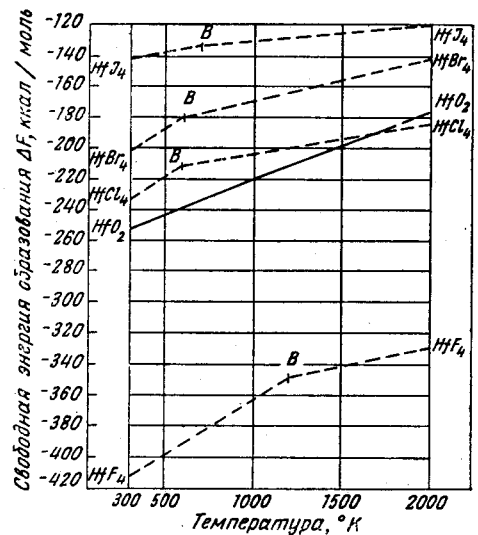


Рис. 22. Гафний

$$\Delta H_{\text{пл}} = 4100 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 2600^\circ \text{K [125]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 67\,000 \text{ кал/г-атом}$$

Расчетные данные [130]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	(17,77)	(17,77)
400	(670)	(19,71)	(18,04)
500	(1 350)	(21,21)	(18,51)
600	(2 040)	(22,48)	(19,08)
700	(2 750)	(23,57)	(19,65)
800	(3 480)	(24,54)	(20,19)
900	(4 220)	(25,42)	(20,74)
1 000	(4 985)	(26,22)	(21,24)
1 100	(5 760)	(26,96)	(21,73)
1 200	(6 560)	(27,66)	(22,20)
1 300	(7 370)	(28,31)	(22,65)
1 400	(8 200)	(28,92)	(23,07)
1 500	(9 050)	(29,51)	(23,48)
1 600	(9 910)	(30,06)	(23,87)
1 700	(10 790)	(30,60)	(24,26)
1 800	(15 760)	(33,41)	(24,66)
1 900	(16 560)	(33,84)	(25,13)
2 000	(17 360)	(34,26)	(25,58)
2 500	(21 360)	(36,04)	(27,50)

Хлористый гольмий

HoCl_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -233\,000 \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (39) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 991^\circ \text{K [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1780^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (44\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Ho} + \frac{3}{2}\text{Cl}_2 \rightarrow \text{HoCl}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-233 000	(-217 000)
500	(5 000)	(-232 000)	(-206 000)
1 000	(19 000)	(-228 000)	(-181 000)
1 500	(43 000)	(-224 500)	(-162 500)

Фтористый гольмий

HoF_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -370\,000 \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (25) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1416^\circ \text{K [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2500^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (60\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Ho} + \frac{3}{2}\text{F}_2 \rightarrow \text{HoF}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-370 000	(-352 000)
500	(4 000)	(-370 000)	(-340 000)
1 000	(17 000)	(-367 000)	(-311 000)
1 500	(32 000)	(-362 500)	(-285 000)

Бромистый гольмий

HoBr_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-171\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (45) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1192^\circ \text{K [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (10\,000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1740^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (43\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Ho} + \frac{3}{2}\text{Br}_2 \rightarrow \text{HoBr}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-171 000)	(-164 500)
500	(5 000)	(-181 500)	(-154 000)
1 000	(18 000)	(-179 000)	(-129 000)
1 500	(43 000)	(-165 000)	(-110 000)

Иодистый гольмий

HoI_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-142\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (47) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1262^{\circ} \text{ К [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (10\,000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1570^{\circ} \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (41\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Ho} + {}^3/2\text{J}_2 \rightarrow \text{HoJ}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^{\circ}\text{К}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-142 000)	(-139 000)
500	(5 000)	(-163 000)	(-134 500)
1 000	(19 000)	(-159 500)	(-106 000)
1 500	(44 000)	(-145 500)	(-81 500)

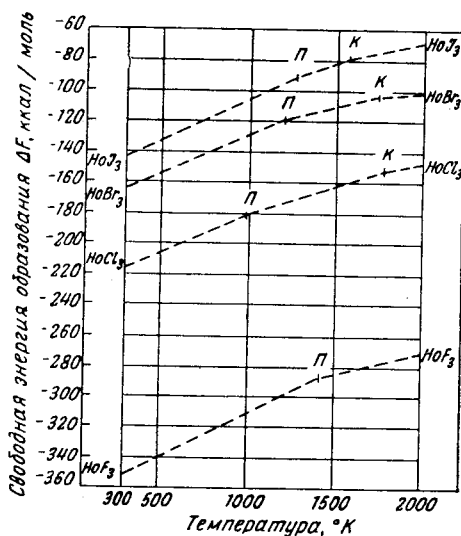


Рис. 23. Гольмий

Водород и его соединения

Элемент

H_2 (г)

$$S_{298} = 31,22 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 13,96^{\circ} \text{ К [130]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 28 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 20,39^{\circ} \text{ К [130]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 216 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (г) (298 — 3000° К)

$$C_P = 6,52 + 0,78 \times 10^{-3}T +$$

$$+ 0,12 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1939 + 6,52T +$$

$$+ 0,39 \times 10^{-3}T^2 - 0,12 \times 10^5 T^{-1}$$

$$F_T - H_{298} = -1939 - 6,52T \ln T -$$

$$- 0,39 \times 10^{-3}T^2 - 0,06 \times 10^5 T^{-1} + 12,7T$$

$T, ^{\circ}\text{К}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	31,22	31,22
400	707	33,26	31,50
500	1 406	34,82	32,01
600	2 105	36,09	32,58
700	2 808	37,18	33,17
800	3 514	38,12	33,73
900	4 224	38,96	34,27
1 000	4 942	39,71	34,77
1 100	5 681	40,32	35,15
1 200	6 422	40,99	35,64
1 300	7 180	41,67	36,15
1 400	7 937	42,15	36,49
1 500	8 670	42,73	36,95
1 600	9 571	43,21	37,23
1 700	10 271	43,68	37,63
1 800	10 935	44,06	37,98
1 900	11 851	44,54	38,32
2 000	12 648	45,01	38,68
2 500	16 827	46,88	40,15

Вода

H_2O (ж)

$$\Delta H_{298}^0 = -68317 \text{ кал/моль [24]}$$

$$S_{298} = 16,75 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{пл} = 273,16^\circ \text{K} [24]$$

$$\Delta H_{пл} = 1436 \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 373,16^\circ \text{K} [24]$$

$$\Delta H_{исп} = 9770 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (ж) (298 — 373° K)

$$C_p = 18,03 [82]$$

$$H_T - H_{298} = -5376 + 18,03T$$

Интервал II (г) (373 — 3000° K)

$$C_p = 7,17 + 2,56 \times 10^{-3}T +$$

$$+ 0,08 \times 10^5 T^{-2} [82]$$

$$H_T - H_{298} = +8280 + 7,17T +$$

$$+ 1,28 \times 10^{-3}T^2 - 0,08 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$

Интервал I (298 — 373° K)

$$\Delta C_p = 7,95 - 1,28 \times 10^{-3}T + 0,08 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -70\,600 + 7,95T -$$

$$- 0,64 \times 10^{-3}T^2 - 0,08 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -70\,600 - 7,95T \ln T +$$

$$+ 0,64 \times 10^{-3}T^2 + 0,04 \times 10^5 T^{-1} + 91,75T$$

Интервал II (373 — 2500° K)

$$\Delta C_p = -2,91 + 1,28 \times 10^{-3}T + 0,16 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -56\,940 - 2,91T +$$

$$+ 0,64 \times 10^{-3}T^2 - 0,16 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -56\,940 + 2,91T \ln T -$$

$$- 0,64 \times 10^{-3}T^2 - 0,08 \times 10^5 T^{-1} - 8,11T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	16,75	-68 320	-56 720
400	11 345	47,01	-58 050	-53 350
500	12 174	48,86	-58 300	-52 150
600	13 026	50,41	-58 500	-50 900
700	13 910	51,77	-58 700	-49 600
800	14 821	52,99	-58 900	-48 300
900	15 762	54,10	-59 100	-46 800
1 000	16 735	55,12	-59 250	-45 800
1 100	17 735	56,07	-59 350	-44 300
1 200	18 768	56,97	-59 500	-42 900
1 300	19 830	57,82	-59 600	-41 400
1 400	20 917	58,63	-59 700	-40 000
1 500	22 031	59,40	-59 800	-38 650
1 600	23 040	60,06	-60 050	-37 350
1 700	24 180	60,71	-60 200	-35 950
1 800	25 335	61,42	-60 050	-34 400
1 900	26 510	62,02	-60 200	-33 050
2 000	27 915	62,78	-60 250	-31 650
2 500	34 205	65,59	-60 300	-24 400

Перекись водорода

H_2O_2 (ж)

$$\Delta H_{298}^0 = -44\,750 \text{ кал/моль} [36]$$

$$S_{298} = 22,35 \text{ э. е.} [24]$$

$$T_{пл} = 272,5^\circ \text{K} [94]$$

$$\Delta H_{пл} = 2920 \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 425^\circ \text{K} [94]$$

$$\Delta H_{исп} = 10\,530 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (г) (425 — 1500° K)

$$C_p = 10,43 + 5,00 \times 10^{-3}T -$$

$$- 1,68 \times 10^5 T^{-2} [82]$$

$$H_T - H_{298} = 8300 + 10,43T +$$

$$+ 2,50 \times 10^{-3}T^2 + 1,68 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$

Интервал I (425 — 1500° K)

$$\Delta C_p = -3,25 + 3,22 \times 10^{-3}T - 1,4 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -32\,200 - 3,25T +$$

$$+ 1,61 \times 10^{-3}T^2 + 1,4 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -32\,200 + 3,25T \ln T -$$

$$- 1,61 \times 10^{-3}T^2 + 0,7 \times 10^5 T^{-1} + 4,38T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	22,35	-44 750	-28 100
400	2 130	28,92	-44 750	-22 600
500	14 460	61,55	-33 150	-20 200
600	15 690	63,84	-33 400	-17 600
700	17 020	65,89	-33 450	-14 900
800	18 440	67,78	-33 600	-12 300
900	19 850	69,83	-33 650	-9 900
1 000	21 400	71,08	-33 700	-6 900
1 100	22 900	72,47	-33 700	-4 200
1 200	24 510	73,92	-33 700	-1 600
1 300	26 170	75,22	-33 650	+1 200
1 400	27 870	76,48	-33 650	3 600
1 500	29 420	77,57	-33 700	6 500
2 000	(39 150)	(83,18)	(-32 400)	(19 600)
2 500	(50 000)	(88,00)	(-30 350)	(32 350)

Фтористый водород HF (г)

$$\Delta H_{298}^0 = -64\,200 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 41,49 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 190,1^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 1094 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 293,1^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 1800 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (г) (298 — 2000° K)

$$C_p = 6,43 + 0,82 \times 10^{-3}T + 0,26 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1866 + 6,43T +$$

$$+ 0,41 \times 10^{-3}T^2 - 0,26 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $\frac{1}{2}\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{F}_2 \rightarrow \text{HF}$

Интервал I (298 — 2000° K)

$$\Delta C_p = -0,98 + 0,21 \times 10^{-3}T + 0,60 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -63\,695 - 0,98T +$$

$$+ 0,10 \times 10^{-3}T^2 - 0,60 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -63\,695 + 0,98T \ln T -$$

$$- 0,10 \times 10^{-3}T^2 - 0,30 \times 10^5 T^{-1} - 8,45T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	41,49	-64 200	-64 520
400	710	43,54	-64 250	-64 650
500	1 405	45,09	-64 300	-65 000
600	2 105	46,36	-64 350	-65 150
700	2 800	47,43	-64 450	-65 250
800	3 505	48,38	-64 500	-65 350
900	4 215	49,21	-64 600	-65 450
1 000	4 935	49,97	-64 650	-65 550
1 100	5 681	50,68	-64 700	-65 700
1 200	6 395	51,31	-64 800	-65 750
1 300	7 160	51,99	-64 900	-65 850
1 400	7 895	52,46	-64 950	-65 900
1 500	8 684	53,01	-65 000	-65 950
1 600	9 440	53,49	-65 100	-66 050
1 700	10 235	54,02	-65 100	-66 150
1 800	11 020	54,42	-65 100	-66 150
1 900	11 817	54,89	-65 200	-66 200
2 000	12 635	55,28	-65 200	-66 200
2 500	(16 761)	(55,13)	(-65 400)	(-66 450)

Хлористый водород HCl (г)

$$\Delta H_{298}^0 = -22\,063 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 44,61 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 158,9^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 476 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 188,1^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 3860 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (г) (298 — 2000° K)

$$C_p = 6,34 + 1,10 \times 10^{-3}T + 0,26 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1860 + 6,34T +$$

$$+ 0,55 \times 10^{-3}T^2 - 0,26 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $1/2H_2 + 1/2Cl_2 \rightarrow HCl$

Интервал I (298 — 2000° K)

$$C_p = -1,33 + 0,68 \times 10^{-3}T + 0,54 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -21\,500 - 1,33T +$$

$$+ 0,34 \times 10^{-3}T^2 - 0,54 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -21\,500 + 1,33T \ln T -$$

$$- 0,34 \times 10^{-3}T^2 - 0,27 \times 10^5 T^{-1} - 11,39T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	44,61	-22 060	-22 750
400	710	46,66	-22 100	-22 950
500	1 405	48,21	-22 200	-23 200
600	2 105	49,49	-22 300	-23 400
700	2 815	50,58	-22 350	-23 600
800	3 535	51,54	-22 450	-23 750
900	4 265	52,40	-22 500	-23 900
1 000	5 005	53,18	-22 550	-24 000
1 100	5 765	53,84	-22 600	-24 150
1 200	6 530	54,57	-22 650	-24 400
1 300	7 315	55,16	-22 650	-24 400
1 400	8 095	55,78	-22 750	-24 650
1 500	8 800	56,28	-22 800	-24 700
1 600	9 700	56,85	-22 850	-24 900
1 700	10 520	57,30	(-22 800)	(-25 000)
1 800	11 335	57,81	(-22 800)	(-25 250)
1 900	12 170	58,32	(-22 800)	(-25 450)
2 000	12 995	58,69	(-22 850)	(-25 550)

Бромистый водород

HBr (г)

$$\Delta H_{298}^0 = -8660 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 47,63 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{пл} = 186,24^\circ \text{ K [112]}$$

$$\Delta H_{пл} = 575 \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 206,4^\circ \text{ K [112]}$$

$$\Delta H_{исп} = 4210 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (г) (298 — 1600° K)

$$C_p = 6,25 + 1,40 \times 10^{-3}T + 0,26 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1838 + 6,25T +$$

$$+ 0,70 \times 10^{-3}T^2 - 0,26 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $1/2H_2 + 1/2Br_2 \rightarrow HBr$

Интервал I (298 — 331° K)

$$\Delta C_p = 5,56 + 1,01 \times 10^{-3}T + 0,20 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -6980 - 5,56T +$$

$$+ 0,51 \times 10^{-3}T^2 - 0,20 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -6980 + 5,56T \ln T -$$

$$- 0,51 \times 10^{-3}T^2 - 0,10 \times 10^5 T^{-1} - 50,87T$$

Интервал II (331 — 1600° K)

$$\Delta C_p = -1,53 + 1,01 \times 10^{-3}T + 0,38 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -12\,000 - 1,53T +$$

$$+ 0,51 \times 10^{-3}T^2 - 0,38 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -12\,000 + 1,53T \ln T -$$

$$- 0,51 \times 10^{-3}T^2 - 0,19 \times 10^5 T^{-1} - 12,12T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	47,63	-8 660	-12 800
400	709	49,68	-12 650	-13 300
500	1 410	51,24	-12 700	-13 450
600	2 120	52,54	-12 800	-13 600
700	2 840	53,64	-12 900	-13 750
800	3 575	54,63	-12 950	-13 850
900	4 325	55,51	-13 000	-14 000
1 000	5 090	56,31	-13 050	-14 200
1 100	5 908	57,06	-13 050	-14 150
1 200	6 665	57,75	-13 100	-14 300
1 300	7 470	58,34	-13 150	-14 400
1 400	8 285	59,00	-13 150	-14 550
1 500	9 129	59,52	-13 150	-14 600
1 600	9 945	60,11	-13 250	-14 750
2 000	(13 475)	(62,02)	(-13 100)	(-14 950)

Йодистый водород

HI (г)

$$\Delta H_{298}^0 = 6200 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 49,33 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{пл} = 222,36^\circ \text{ K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 686 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 237,8^\circ \text{ К [112]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 4724 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (г) (298 — 2000° К)

$$C_p = 6,29 + 1,42 \times 10^{-3} T + 0,22 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1265 + 6,29T +$$

$$+ 0,71 \times 10^{-3} T^2 - 0,22 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $\frac{1}{2} \text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{J}_2 \rightarrow \text{HJ}$

Интервал I (298 — 386,8° К)

$$\Delta C_p = -1,76 - 4,92 \times 10^{-3} T - 0,06 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = 6920 + 1,76T -$$

$$- 2,46 \times 10^{-3} T^2 + 0,06 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = 6920 + 1,76T \ln T +$$

$$+ 2,46 \times 10^{-3} T^2 + 0,03 \times 10^5 T^{-1} - 32,9T$$

Интервал II (386,8 — 456° К)

$$\Delta C_p = -6,57 + 1,03 \times 10^{-3} T + 0,16 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = 6530 - 6,57T +$$

$$+ 0,51 \times 10^{-3} T^2 - 0,16 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = 6530 + 6,57T \ln T -$$

$$- 0,51 \times 10^{-3} T^2 - 0,08 \times 10^5 T^{-1} - 58,47T$$

Интервал III (456 — 1500° К)

$$\Delta C_p = -1,41 + 1,03 \times 10^{-3} T + 0,16 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -800 - 1,41T +$$

$$+ 0,52 \times 10^{-3} T^2 - 0,16 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -800 + 1,41T \ln T -$$

$$- 0,52 \times 10^{-3} T^2 - 0,08 \times 10^5 T^{-1} - 11,76T$$

$T, ^\circ \text{К}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	49,33	+6 200	+300
400	710	51,38	+3 950	-1 750
500	1 410	52,94	-1 450	-2 450
600	2 125	54,25	-1 500	-2 650
700	2 855	55,37	-1 550	-2 800
800	3 595	56,36	-1 650	-3 000
900	4 355	57,25	-1 700	-3 150
1 000	5 180	58,07	-1 700	-3 350
1 100	5 894	58,84	-1 750	-3 550
1 200	6 715	59,51	-1 750	-3 700
1 300	7 495	60,18	-1 800	-3 850
1 400	8 345	60,77	-1 800	-4 050
1 500	9 152	61,36	-1 750	-4 150
1 600	10 000	61,87	(-1 750)	(-4 300)
1 700	10 867	62,45	(-1 750)	(-4 450)
1 800	11 685	62,87	(-1 750)	(-4 600)
1 900	12 639	63,43	(-1 750)	(-4 700)
2 000	13 385	63,76	(-1 750)	(-4 800)

Цианистый водород HCN (г)

$$\Delta H_{298}^0 = 31 200 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 48,23 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 170,4^\circ \text{ К [112]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 40 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 298,8^\circ \text{ К [112]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 6027 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (г) (298 — 2000° К)

$$C_p = 8,92 + 3,10 \times 10^{-3} T - 1,12 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -3173 + 8,92T + 1,55 \times$$

$$\times 10^{-3} T^2 + 1,12 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $\frac{1}{2} \text{H}_2 + \text{C} + \frac{1}{2} \text{N}_2 \rightarrow \text{HCN}$

Интервал I (298 — 2000° К)

$$\Delta C_p = -1,77 + 1,18 \times 10^{-3} T +$$

$$+ 0,92 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = 31\,980 - 1,77T + 0,59 \times 10^{-3}T^2 - 0,92 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = 31\,980 + 1,77T \ln T - 0,59 \times 10^{-3}T^2 - 0,46 \times 10^5 T^{-1} - 20,43T$$

Реакция образования: $\frac{1}{2}H_2 + \frac{3}{2}N_2 \rightarrow HN_3$

Интервал I (309 — 1800° K)

$$\Delta C_p = -1,92 + 2,7 \times 10^{-3}T - 2,44 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = 69\,940 - 1,92T + 1,35 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 2,44 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = 69\,940 + 1,92T \ln T - 1,35 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 1,22 \times 10^5 T^{-1} + 15,67T$$

T, °K	H _T - H ₂₉₈	S _T	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	48,23	+31 200	28 700
400	917	50,87	31 150	27 850
500	1 890	53,04	31 100	27 050
600	2 915	54,91	31 150	26 300
700	3 990	56,56	31 000	25 400
800	5 105	58,05	30 900	24 600
900	6 260	59,41	30 850	23 850
1 000	7 450	60,67	30 800	23 050
1 100	8 610	61,74	30 800	22 350
1 200	9 910	62,91	30 700	21 450
1 300	11 130	63,86	30 600	20 800
1 400	12 480	64,89	30 600	20 000
1 500	13 770	65,51	30 550	19 600
1 600	15 130	66,65	30 550	18 350
1 700	16 540	67,51	30 550	17 550
1 800	17 850	68,26	30 600	16 750
1 900	19 430	69,19	30 700	16 000
2 000	20 610	69,71	30 600	15 450
2 500	(28 860)	(73,46)	(31 200)	(11 200)

T, °K	H _T - H ₂₉₈	S _T	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	56,8	70 300	78 480
400	1 095	59,95	70 000	81 350
500	2 295	62,62	69 800	84 250
600	3 600	65,00	69 650	87 100
700	4 990	67,14	69 600	90 000
800	6 460	69,10	69 600	92 950
900	7 985	70,90	69 650	95 850
1 000	9 565	72,56	69 700	98 750
1 100	10 996	74,00	69 800	101 750
1 200	12 870	75,58	69 900	104 500
1 300	14 440	76,75	69 900	107 650
1 400	16 280	78,20	70 100	110 350
1 500	17 970	79,36	70 200	113 250
1 600	19 810	80,56	70 400	115 950
1 700	21 659	81,62	70 700	118 900
1 800	23 420	82,68	70 850	121 950
1 900	(25 510)	(83,79)	(71 200)	(124 650)
2 000	(27 090)	(84,61)	(70 900)	(127 400)

Азоимид (азотистоводородная кислота)
HN₃ (г)

$$\Delta H_{298}^0 = 70\,300 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 56,8 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{пл} = 193^\circ \text{ K [112]}$$

$$T_{кип} = 309^\circ \text{ K [112]}$$

$$\Delta H_{исп} = 7100 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (г) (309 — 1800° K)

$$C_p = 11,33 + 4,62 \times 10^{-3}T - 2,38 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -4382 + 11,33T + 2,31 \times 10^{-3}T^2 + 2,38 \times 10^5 T^{-1}$$

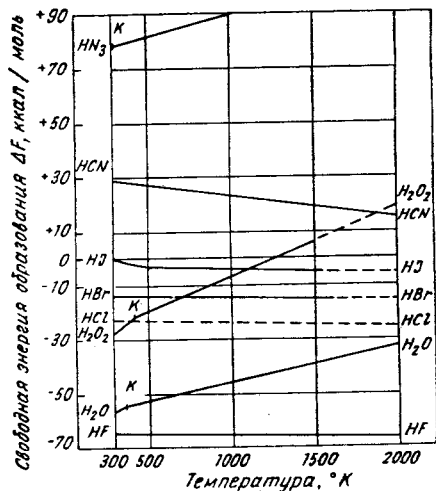


Рис. 24. Водород

Йод

Элемент

 J_2 (тв)

$$S_{298} = 27,90 \text{ э. е. [112]}$$

$$T_{\text{пл}} = 386,1^\circ \text{ К [112]}$$

$$T_{\text{кип}} = 456^\circ \text{ К [82]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 9970 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (тв) (298 — 386,1° К)

$$C_p = 9,59 + 11,90 \times 10^{-3} T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -3388 + 9,59T + 5,95 \times 10^{-3} T^2$$

$$F_T - H_{298} = -3388 - 9,59T \ln T - 5,95 \times 10^{-3} T^2 + 39,73T$$

Интервал II (ж) (386,1 — 456° К)

$$C_p = 19,20 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -2445 + 19,20T$$

$$F_T - H_{298} = -2445 - 19,20T \ln T + 92,2T$$

Интервал III (г) (456 — 1500° К)

$$C_p = 8,89 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = 12\,226 + 8,89T$$

$$F_T - H_{298} = 12\,226 + 8,89T \ln T - 3,04T$$

$T, ^\circ \text{ К}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	27,90	27,90
400	5 235	41,85	28,76
500	16 670	67,05	33,71
600	17 560	68,67	39,40
700	18 450	70,04	43,68
800	19 340	71,23	47,06
900	20 240	72,29	49,06
1 000	21 130	73,23	52,10
1 100	22 020	74,08	54,05
1 200	22 910	74,85	55,76
1 300	23 810	75,57	57,25
1 400	24 700	76,23	58,59
1 500	25 590	76,84	59,78
2 000	(30 000)	—	(64,42)

Железо и его соединения

Элемент

Fe (тв)

$$S_{298} = 6,49 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{прев}} = 1033^\circ \text{ К [82]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 410 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{прев}} = 1179^\circ \text{ К [82]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 210 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{прев}} = 1674^\circ \text{ К [82]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 110 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{пл}} = 1803^\circ \text{ К [82]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 3700 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 3008^\circ \text{ К [8]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 84\,620 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (α) (298 — 1033° К)

$$C_p = 3,37 + 7,10 \times 10^{-3} T + 0,43 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1176 + 3,37T + 3,55 \times 10^{-3} T^2 - 0,43 \times 10^5 T^{-1}$$

$$F_T - H_{298} = -1176 - 3,37T \ln T - 3,55 \times 10^{-3} T^2 - 0,21 \times 10^5 T^{-1} + 17,96T$$

Интервал II (β) (1033 — 1179° К)

$$C_p = 10,40 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -4280 + 10,40T$$

$$F_T - H_{298} = -4280 - 10,40T \ln T + 66,07T$$

Интервал III (γ) (1179 — 1674° К)

$$C_p = 4,85 + 3,00 \times 10^{-3} T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = 390 + 4,85T + 1,50 \times 10^{-3} T^2$$

$$F_T - H_{298} = 390 - 4,85T \ln T - 1,50 \times$$

$$\times 10^{-3} T^2 + 24,60T$$

Интервал IV (δ) (1674 — 1803° K)

$$C_p = 10,30 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -4420 + 10,30T$$

$$F_T - H_{298} = -4420 - 10,30T \ln T + 65,31T$$

Интервал V (ж) (1803 — 1900° K)

$$C_p = 10,0 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -180 + 10,0T$$

$$F_T - H_{298} = -180 - 10,0(T \ln T + 54,4T)$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	6,49	6,49
400	640	8,34	6,75
500	1310	9,83	7,20
600	2050	11,17	7,75
700	2860	12,42	8,34
800	3720	13,57	8,92
900	4680	14,70	9,47
1000	5830	15,91	10,08
1100	7160	17,18	10,65
1200	8370	18,23	11,28
1300	9230	18,91	11,83
1400	10120	19,57	12,32
1500	11040	20,21	12,87
1600	11990	20,82	13,32
1700	13090	21,49	13,83
1800	14120	22,08	14,18
1900	18820	24,66	14,78
2000	(19760)	(25,08)	(15,20)

Закись железа

$\text{Fe}_{0,95}\text{O}$ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -63800 \text{ кал/моль [70]}$$

$$S_{298} = -13,74 \text{ э. е. [70]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1650^\circ \text{K [24]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 7490 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (ТВ) (298 — 1650° K)

$$C_p = 11,66 + 2,00 \times 10^{-3} T - 0,67 \times$$

$$\times 10^5 T^{-2} \text{ [84]}$$

$$H_T - H_{298} = -3790 + 11,66T + 1,00 \times$$

$$\times 10^{-3} T^2 + 0,67 \times 10^5 T^{-1}$$

Интервал II (ж) (1650 — 1800° K)

$$C_p = 16,30 \text{ [84]}$$

$$H_T - H_{298} = -1200 + 16,30T$$

Реакция образования: $0,95\text{Fe} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_{0,95}\text{O}$

Интервал I (298 — 1033° K)

$$\Delta C_p = 4,71 - 5,60 \times 10^{-3} T - 0,90 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -65250 + 4,71T - 2,80 \times$$

$$\times 10^{-3} T^2 + 0,90 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -65250 - 4,71T \ln T + 2,80 \times$$

$$\times 10^{-3} T^2 + 0,45 \times 10^5 T^{-1} + 47,61T$$

Интервал II (1033 — 1179° K)

$$\Delta C_p = -2,32 + 1,50 \times 10^{-3} T - 0,47 \times$$

$$\times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -62200 - 2,32T + 0,75 \times$$

$$\times 10^{-3} T^2 + 0,47 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -62200 + 2,32T \ln T + 0,75 \times$$

$$\times 10^{-3} T^2 - 0,23 \times 10^5 T^{-1} - 0,43T$$

Интервал III (1179 — 1650° К)

$$\Delta C_p = 3,23 - 1,50 \times 10^{-3}T - 0,47 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -66\,720 + 3,23T - 0,75 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 0,47 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -66\,720 - 3,23T \ln T + 0,75 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 0,23 \times 10^5 T^{-1} + 41,0T$$

Интервал IV (1674 × 1800° К)

$$C_p = 2,42 - 0,50 \times 10^{-3}T + 0,20 \times$$

$$\times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -59\,430 + 2,42T - 0,25 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,20 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -59\,430 - 2,42T \ln T + 0,25 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,10 \times 10^5 T^{-1} + 31,35T$$

T, °К	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	13,74	-63 800	-58 670
400	1 210	17,22	-63 700	-57 000
500	2 440	19,97	-63 400	-55 300
600	3 700	22,07	-63 250	-53 550
700	4 980	24,24	-63 150	-51 100
800	6 280	25,97	-63 150	-50 500
900	7 590	27,52	-63 200	-48 950
1 000	8 920	28,92	-63 400	-47 350
1 100	10 280	30,21	-63 800	-45 700
1 200	11 670	31,42	-63 900	-43 950
1 300	13 080	32,55	-63 900	-42 350
1 400	14 520	33,62	-63 750	-40 750
1 500	15 980	34,62	-63 700	-39 050
1 600	17 470	35,58	-63 550	-37 400
1 700	26 510	46,06	-56 050	-36 000
1 800	28 140	42,00	-55 900	-34 750

Магнитная окись железа
 Fe_3O_4 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -267\,800 \text{ кал/моль [24]}$$

$$S_{298} = 35,0 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{прев}} = 900^\circ \text{ К [24]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 0$$

$$T_{\text{пл}} = 1870^\circ \text{ К [30]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 33\,000 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (α) (298 — 900° К)

$$C_p = 21,88 + 48,20 \times 10^{-3}T \text{ [27]}$$

$$H_T - H_{298} = -8640 + 21,88T +$$

$$+ 24,10 \times 10^{-3}T^2$$

Интервал II (β) (900 — 1800° К)

$$C_p = 48,0 \text{ [27]}$$

$$H_T - H_{298} = -12\,650 + 48,00T$$

Реакция образования: $3\text{Fe} + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$

Интервал I (298 — 900° К)

$$\Delta C_p = -2,55 + 24,90 \times$$

$$\times 10^{-3}T - 0,49 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -268\,300 - 2,55T + 12,45 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 0,49 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -268\,300 + 2,55T \ln T - 12,45 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 0,24 \times 10^5 T^{-1} + 73,07T$$

Интервал II (900 — 1033° К)

$$\Delta C_p = 23\,57 - 23\,30 \times 10^{-3}T -$$

$$- 0,49 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -272\,760 + 23,57T - 11,65 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 0,49 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -272\,760 - 23,57T \ln T + 11,65 \times \\ \times 10^{-3}T^2 + 0,24 \times 10^5 T^{-1} + 234,0T$$

Интервал III (1033 — 1179° K)

$$\Delta C_P = 2,48 - 2,00 \times 10^{-3}T + 0,80 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -262\,950 + 2,48T - 1,00 \times \\ \times 10^{-3}T^2 - 0,80 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -262\,950 - 2,48T \ln T + 1,00 \times \\ \times 10^{-3}T^2 - 0,40 \times 10^5 T^{-1} + 89,38T$$

Интервал IV (1179 — 1674° K)

$$\Delta C_P = 19,13 - 11,00 \times 10^{-3}T + \\ + 0,80 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -277\,000 + 19,13T - 5,50 \times \\ \times 10^{-3}T^2 - 0,80 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -277\,000 - 19,13T \ln T + \\ + 5,50 \times 10^{-3}T^2 - 0,40 \times 10^5 T^{-1} + 162,62T$$

Интервал V (1674 — 1800° K)

$$\Delta C_P = 2,78 - 2,00 \times 10^{-3}T + 0,80 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -262\,500 + 2,78T - 1,00 \times \\ \times 10^{-3}T^2 - 0,80 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -262\,500 - 2,78T \ln T + 1,00 \times \\ \times 10^{-3}T^2 - 0,40 \times 10^5 T^{-1} + 91,0T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	35,0	-267 800	-243 200
400	3 990	46,48	-267 200	-234 900
500	8 320	56,12	-266 300	-226 900
600	13 060	64,75	-265 300	-219 100
700	18 340	72,88	-264 000	-211 500
800	24 260	80,77	-262 300	-204 200
900	30 550	88,18	-260 500	-197 000
1 000	35 350	93,24	-260 800	-189 900
1 100	40 350	97,81	-261 500	-182 600
1 200	44 950	101,99	-262 300	-175 500
1 300	49 750	105,83	-261 500	-168 300
1 400	54 550	109,39	-261 000	-161 100
1 500	59 350	112,70	-260 900	-154 000
1 600	64 150	115,80	-260 500	-146 800
1 700	68 950	118,71	-260 800	-139 800
1 800	73 750	121,45	-260 800	-133 000

Окись железа

Fe₂O₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -196\,800 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 21,5 \text{ э. е. [112]}$$

$$T_{\text{прев}} = 950^\circ \text{ K [24]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 160 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 1050^\circ \text{ K [24]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 0$$

Температура разложения 1730° K [24]

Интервал I (α) (298 — 950° K)

$$C_P = 23,49 + 18,60 \times 10^{-3}T - \\ - 3,55 \times 10^{-5}T^2 \text{ [84]}$$

$$H_T - H_{298} = -9020 + 23,49T + 9,30 \times \\ \times 10^{-3}T^2 + 3,55 \times 10^5 T^{-1}$$

Интервал II (β) (950 — 1050° K)

$$C_P = 36,0 \text{ [84]}$$

$$H_T - H_{298} = -11\,980 + 36,0T$$

Интервал III (γ) (1050 — 1730° K)

$$C_p = 31,71 + 1,76 \times 10^{-3}T \quad [84]$$

$$H_T - H_{298} = -8450 + 31,71T + \\ + 0,88 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $2Fe + \frac{3}{2}O_2 \rightarrow Fe_2O_3$

Интервал I (298 — 950° K)

$$\Delta C_p = 6,01 + 2,90 \times 10^{-3}T - \\ - 3,81 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -200\,000 + 6,01T + \\ + 1,45 \times 10^{-3}T^2 + 3,81 \times 10^5 T^{-1} \\ \Delta F_T = -200\,000 - 6,01T \ln T - 1,45 \times \\ \times 10^{-3}T^2 + 1,90 \times 10^5 T^{-1} + 108,4T$$

Интервал II (950 — 1033° K)

$$\Delta C_p = 18,52 - 15,7 \times 10^{-3}T - \\ - 0,26 \times 10^5 T^{-2} \\ \Delta H_T = -203\,300 + 18,52T - \\ - 7,85 \times 10^{-3}T^2 + 0,26 \times 10^5 T^{-1} \\ \Delta F_T = -203\,300 - 18,52T \ln T + \\ + 7,85 \times 10^{-3}T^2 + 0,13 \times 10^5 T^{-1} + 189,0T$$

Интервал III (1050 — 1179° K)

$$\Delta C_p = 0,17 + 0,26 \times 10^{-3}T + \\ + 0,60 \times 10^5 T^{-2} \\ \Delta H_T = -193\,100 + 0,17T + \\ + 0,13 \times 10^{-3}T^2 - 0,60 \times 10^5 T^{-1} \\ \Delta F_T = -193\,100 - 0,17T \ln T - \\ - 0,13 \times 10^{-3}T^2 - 0,30 \times 10^5 T^{-1} + 60,07T$$

Интервал IV (1179 — 1674° K)

$$\Delta C_p = 11,27 - 5,74 \times 10^{-3}T + \\ + 0,60 \times 10^5 T^{-2} \\ \Delta H_T = -202\,600 + 11,27T - \\ - 2,87 \times 10^{-3}T^2 - 0,60 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -202\,600 - 11,27T \ln T + \\ + 2,87 \times 10^{-3}T^2 - 0,30 \times 10^5 T^{-1} + 142,29T$$

Интервал V (1674 — 1730° K)

$$\Delta C_p = 0,37 + 0,26 \times 10^{-3}T + 0,60 \times 10^5 T^{-2} \\ \Delta H_T = -192\,400 + 0,37T + \\ + 0,13 \times 10^{-3}T^2 - 0,60 \times 10^5 T^{-1} \\ \Delta F_T = -192\,400 - 0,37T \ln T - 0,13 \times \\ \times 10^{-3}T^2 - 0,30 \times 10^5 T^{-1} + 61,3T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	21,5	-196 800	-177 400
400	2 750	29,41	-196 400	-170 800
500	5 770	36,14	-195 800	-164 500
600	9 010	42,04	-195 200	-158 300
700	12 460	47,35	-194 500	-152 200
800	16 130	52,25	-193 800	-146 200
900	20 020	55,84	-193 000	-139 500
1 000	24 020	61,05	-192 600	-134 500
1 100	27 500	64,37	-192 900	-128 500
1 200	30 870	67,30	-193 200	-122 800
1 300	34 250	70,01	-192 800	-116 900
1 400	37 650	72,53	-192 500	-111 100
1 500	41 070	74,89	-192 300	-105 300
1 600	44 540	77,13	-191 900	-99 400
1 700	48 100	79,29	-191 400	-93 700

Двухфтористое железо

FeF₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -168\,000 \text{ кал/моль} \quad [112]$$

$$S_{298} = 20,8 \text{ э. е.} \quad [18]$$

$$T_{пл} = 1375^\circ \text{K} \quad [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2100^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (50\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Fe} + \text{F}_2 \rightarrow \text{FeF}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	—168 000	(—157 300)
500	(3 500)	(—167 400)	(—150 500)
1 000	(13 000)	(—166 700)	(—133 000)
1 500	(33 000)	(—156 300)	(—118 500)

Трехфтористое железо

FeF_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-235\,000) \text{ кал/моль} [11]$$

$$S_{298} = (25) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{\text{пл}} = 1300^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (12\,000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1600^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (40\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Fe} + \frac{3}{2}\text{Fe}_2 \rightarrow \text{FeF}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(—235 000)	(—219 000)
500	(5 000)	(—232 900)	(—207 500)
1 000	(19 000)	(—230 600)	(—183 000)
1 500	(46 000)	(—215 400)	(—160 000)

Двухлористое железо

FeCl_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -81\,900 \text{ кал/моль} [112]$$

$$S_{298} = 28,7 \text{ э. е.} [83]$$

$$T_{\text{пл}} = 950^\circ \text{K} [82]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 10\,280 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1299^\circ \text{K} [112]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 30\,210 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 950° K)

$$C_p = 18,94 + 2,08 \times 10^{-3}T - 1,17 \times 10^5 T^{-2} [82]$$

$$H_T - H_{298} = -6090 + 18,94T + 1,04 \times 10^{-3}T^2 + 1,17 \times 10^5 T^{-1}$$

Интервал II (ж) (950 — 1100° K)

$$C_p = 24,40 [82]$$

$$H_T - H_{298} = 81\,100 + 24,40T$$

Реакция образования: $\text{Fe} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{FeCl}_2$

Интервал I (298 — 950° K)

$$\Delta C_p = 6,75 - 5,08 \times 10^{-3}T - 0,92 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -84\,000 + 6,75T +$$

$$+ 2,54 \times 10^{-3}T^2 + 0,92 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -84\,000 - 6,75T \ln T + 2,54 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 0,46 \times 10^5 T^{-1} + 75,2T$$

Интервал II (950 — 1033° K)

$$\Delta C_p = 12,2 - 7,16 \times 10^{-3}T + 0,25 \times 10 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -77\,980 + 12,2T - 3,58 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,25 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -77\,980 - 12,2T \ln T + 3,58 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,12 \times 10^5 T^{-1} + 105,57T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	28,7	-81 900	-72 600
400	1 930	34,27	-81 450	-69 500
500	3 870	38,59	-81 030	-66 500
600	5 820	42,15	-80 670	-63 700
700	7 800	45,20	-80 400	-61 000
800	9 830	47,91	-80 090	-58 100
900	11 880	50,32	-79 880	-55 400
1000	24 410	63,51	-69 380	-53 100
1100	26 860	65,85	-69 010	-51 500

Треххлористое железо

FeCl₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -95\,700 \text{ кал/моль [92]}$$

$$S_{298} = (32,2) \text{ э. е. [136]}$$

$$T_{\text{пл}} = 577^\circ \text{K [136]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 10\,300 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 592^\circ \text{K [136]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 6020 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 577°K)

$$C_p = 29,56 - 6,11 \times 10^{-5} T^{-2} \text{ [136]}$$

$$H_T - H_{298} = -10\,800 + 29,56T + 6,11 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $\text{Fe} + \frac{3}{2}\text{Cl}_2 \rightarrow \text{FeCl}_3$

Интервал I (298 — 577°K)

$$\Delta C_p = 12,96 - 7,19 \times 10^{-3} T -$$

$$- 5,52 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -101,100 + 12,96T -$$

$$- 3,59 \times 10^{-3} T^2 + 5,52 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -101,100 - 12,96T \ln T +$$

$$+ 3,59 \times 10^{-3} T^2 + 2,76 \times 10^5 T^{-1} + 142,0T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	32,2	-95 700	-79 500
400	2 500	39,38	-95 100	-74 000
500	5 140	45,27	-94 400	-68 800

Двубромистое железо

FeBr₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-60\,000) \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = (32) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 957^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (9000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1200^\circ \text{K [6]})$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (26\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Fe} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{FeBr}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-60 000	(-57 700)
500	(4 000)	(-66 800)	(-52 000)
1 000	(24 000)	(-55 800)	(-38 000)
1 500	(62 000)	(-27 500)	(-29 500)

Трехбромистое железо

FeBr₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-65\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (46) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (500^\circ \text{K [6]})$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (5000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (900^\circ \text{K [6]})$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (20\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Fe} + \frac{3}{2}\text{Br}_2 \rightarrow \text{FeBr}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-65 000)	(-60 400)
500	(5 000)	(-54 500)	(-37 000)

Двуйодистое железо

FeJ₂ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -30\,000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (36) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 860^\circ\text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (7000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1100^\circ\text{K [6]})$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (25\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: Fe + J₂ → FeJ₂

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-30 000	(-30 200)
500	(4 000)	(-44 000)	(-28 500)
1 000	(24 000)	(-33 000)	(-15 000)
1 500	(61 000)	(-5 500)	(-6 000)

Карбид железа

Fe₃C (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = 5780 \text{ кал/моль [81]}$$

$$S_{298} = 24,2 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{прев}} = 463^\circ\text{K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 180 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 1500^\circ\text{K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 12\,330 \text{ кал/моль}$$

Метастабилен выше 2000°K

Интервал I (α) (298 — 463°K)

$$C_p = 19,64 + 20,00 \times 10^{-3} T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -6,745 + 19,64T + 10,00 \times 10^{-3} T^2$$

Интервал II (β) (463 — 1500°K)

$$C_p = 25,62 + 3,00 \times 10^{-3} T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -7515 + 25,62T + 1,50 \times 10^{-3} T^2$$

Интервал III (ж) (1500 — 1900°K)

$$C_p = 30,60 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = +740 + 30,60T$$

Реакция образования: 3Fe + C → Fe₃C

Интервал I (298 — 463°K)

$$\Delta C_p = 5,43 - 2,32 \times$$

$$\times 10^{-3} T + 0,81 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = +4530 + 5,43T - 1,16 \times 10^{-3} T^2 - 0,81 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = +4530 - 5,43T \ln T + 1,16 \times 10^{-3} T^2 - 0,40 \times 10^5 T^{-1} + 31,98T$$

Интервал II (463 — 1033°K)

$$\Delta C_p = 11,41 - 19,32 \times$$

$$\times 10^{-3} T + 0,81 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = +3850 + 11,41T - 9,66 \times 10^{-3} T^2 - 0,81 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = +3850 - 11,41T \ln T + 9,66 \times 10^{-3} T^2 - 0,40 \times 10^5 T^{-1} + 66,2T$$

Интервал III (1033 — 1179°K)

$$\Delta C_p = -9,68 + 1,98 \times$$

$$\times 10^{-3} T + 2,10 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = 13\,130 - 9,68T + 0,99 \times 10^{-3} T^2 - 2,10 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = 13\,130 + 9,68T \ln T - 0,99 \times 10^{-3} T^2 - 1,05 \times 10^5 T^{-1} - 78,14T$$

Интервал IV (1179 — 1500° K)

$$\Delta C_p = 7,00 - 7,0 \times 10^{-3}T + 2,10 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -1000 + 7,00T - 3,5 \times 10^{-3}T^2 - 2,10 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -1000 - 7,00T \ln T + 3,5 \times 10^{-3}T^2 - 1,05 \times 10^5 T^{-1} + 46,45T$$

Интервал V (1500 — 1674° K)

$$\Delta C_p = 11,95 - 10,02 \times 10^{-3}T + 2,10 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = 7340 + 11,95T - 5,01 \times 10^{-3}T^2 - 2,10 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = 7340 - 11,95T \ln T + 5,01 \times 10^{-3}T^2 - 1,05 \times 10^5 T^{-1} + 74,62T$$

Интервал VI (1674 — 1803° K)

$$\Delta C_p = -4,4 - 1,02 \times 10^{-3}T + 2,10 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = 21700 - 4,4T - 0,51 \times 10^{-3}T^2 - 2,10 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = 21700 + 4,4T \ln T + 0,51 \times 10^{-3}T^2 - 1,05 \times 10^5 T^{-1} - 47,48T$$

Интервал VII (1803 — 1900° K)

$$\Delta C_p = -3,50 - 1,02 \times 10^{-3}T + 2,10 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = 8980 - 3,50T - 0,51 \times 10^{-3}T^2 - 2,10 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = 8980 + 3,50T \ln T + 0,51 \times 10^{-3}T^2 - 1,05 \times 10^5 T^{-1} - 33,87T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	24,2	+5 780	4 800
400	2 690	31,96	6 300	4 400
500	5 670	38,61	6 950	3 800
600	8 390	43,57	7 050	3 100
700	11 150	47,82	7 000	2 500
800	13 940	51,55	6 750	1 850 + 1
900	16 760	54,86	6 200	1 300 + 2
1 000	19 610	57,87	5 100	750 + 2
1 100	22 490	60,61	3 450	450 —
1 200	25 400	63,15	2 200	200 —
1 300	28 340	65,50	2 050	10
1 400	31 310	67,70	1 800	-400
1 500	46 640	77,99	13 800	-650 ~ 6
1 600	49 700	79,96	13 450	-1 150
1 700	52 760	81,82	12 650	-2 050
1 800	55 820	83,57	12 050	-2 900
1 900	58 880	85,23	400	-3 200

Названия
могут быть

Нитрид железа

Fe₄N (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -2550 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 37,3 \text{ э. е. [112]}$$

Интервал I (тв) (298 — 1000° K)

$$C_p = 26,84 + 8,16 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -8350 + 26,84T + 4,08 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $4\text{Fe} + \frac{1}{2}\text{N}_2 \rightarrow \text{Fe}_4\text{N}$

Интервал I (298 — 1000° K)

$$\Delta C_p = 10,03 - 20,75 \times 10^{-3}T - 1,72 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -5200 + 10,03T - 10,37 \times 10^{-3}T^2 + 1,72 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -5200 - 10,03T \ln T + 10,37 \times 10^{-3}T^2 + 0,86 \times 10^5 T^{-1} + 73,47T$$

T, °K	H _T - H ₂₉₈	S _T	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	37,3	-2 550	+900
400	3 030	46,4	-2 435	+1 900
500	6 090	53,0	-2 400	+3 100
600	9 230	58,8	-2 580	+4 150
700	12 450	63,8	-2 970	+5 300
800	15 650	67,8	-3 580	+6 700
900	19 120	72,2	-4 330	+7 800
1 000	22 570	75,3	-5 070	+9 500

T, °K	H _T - H ₂₉₈	S _T	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	24,2	-900	2 500
400	1 730	29,3	-800	3 600
500	3 500	33,3	-740	4 750
600	5 320	36,7	-740	5 850
700	7 200	39,5	-830	7 000
800	9 100	42,2	-1 040	8 000
900	11 170	44,4	-1 270	9 350
1 000	13 240	46,6	-1 600	10 600

Нитрид железа

Fe₂N (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -900 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 24,2 \text{ э. е. [112]}$$

Интервал I (тв) (298 — 1000° K)

$$C_p = 14,91 + 6,09 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -4713 + 14,91T + 3,04 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: 2Fe + 1/2N₂ → Fe₂N

Интервал I (298 — 1000° K)

$$\Delta C_p = 4,84 - 8,62 \times 10^{-3}T - 0,86 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -2250 + 4,84T - 4,31 \times 10^{-3}T^2 + 0,86 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -2250 - 4,81T \ln T + 4,31 \times 10^{-3}T^2 + 0,43 \times 10^5 T^{-1} + 41,7T$$

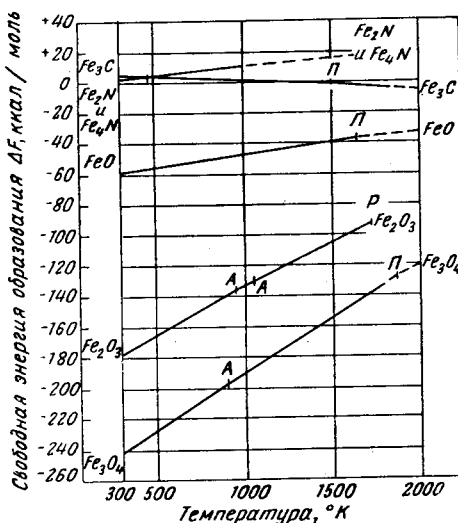


Рис. 25. Железо (а)

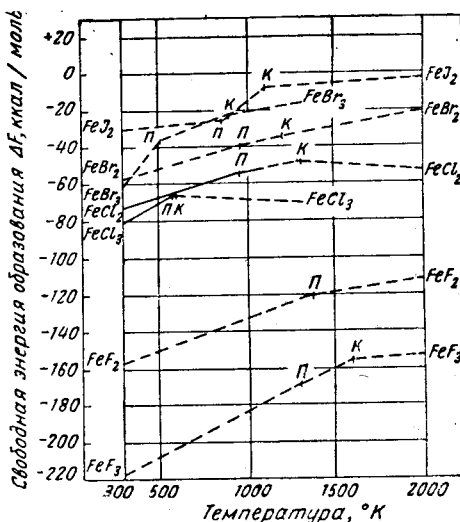


Рис. 26. Железо (б)

Лантан и его соединения

Элемент

La (тв)

$$S_{298} = 1364 \text{ э. е. [121]}$$

$$T_{\text{прев}} = 1141^\circ \text{K [125]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1193^\circ \text{K [84]} \quad 920^\circ \text{C}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 2790 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 4515^\circ \text{K}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 81\,000 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (тв) (298 — 800° K)

$$C_p = 6,17 + 1,60 \times 10^{-3}T \text{ [84]}$$

$$H_T - H_{298} = -1910 + 6,17T + 0,80 \times 10^{-3}T^2$$

$$F_T - H_{298} = -1910 - 6,17T \ln T - 0,80 \times 10^{-3}T^2 + 28,11T$$

Интервал II выше 1193° K

Расчетные данные [130].

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	13,64	13,64
400	680	15,60	13,90
500	1380	17,16	14,40
600	2080	18,44	15,00
700	2805	19,56	15,57
800	3530	20,52	16,09
900	(4290)	(21,50)	(16,73)
1000	(5060)	(22,26)	(17,20)
1100	(5850)	(23,02)	(17,68)
1200	(9380)	(25,94)	(18,13)
1300	(10180)	(26,58)	(18,75)
1400	(10980)	(27,17)	(19,33)
1500	(11780)	(27,73)	(19,88)
1600	(12580)	(28,24)	(20,38)
1700	(13380)	(28,73)	(20,86)
1800	(14180)	(29,18)	(21,31)
1900	(14980)	(29,62)	(21,74)
2000	(15780)	(30,03)	(22,14)

Оксид лантанаLa₂O₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -428\,570 \text{ кал/моль [60]}$$

$$S_{298} = 13,6 \text{ э. е. [109]}$$

$$T_{\text{пл}} = 2600^\circ \text{K [94]}$$

Интервал I (тв) (298 — 1173° K)

$$C_p = 28,86 + 3,076 \times 10^{-3}T - 3,275 \times 10^5 T^{-2} \text{ [3]}$$

$$H_T - H_{298} = -9835 + 28,86T + 1,538 \times 10^{-3}T^2 + 3,275 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $2\text{La} + 3/2\text{O}_2 \rightarrow \text{La}_2\text{O}_3$

Интервал I (298 — 1173° K)

$$\Delta C_p = 5,78 - 1,62 \times 10^{-3}T - 2,675 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -431\,120 + 5,78T - 0,81 \times 10^{-3}T^2 + 2,675 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -431\,120 - 5,78T \ln T + 0,81 \times 10^{-3}T^2 + 1,337 \times 10^5 T^{-1} + 126,88T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	13,6	-428 570	-402 600
400	2 670	19,7	-428 350	-393 100
500	5 470	26,5	-428 050	-384 500
600	8 270	32,6	-427 800	-376 600
700	11 370	37,5	-427 300	-368 100
800	14 170	41,7	-427 050	-360 000
900	17 570	45,7	(-426 400)	(-351 300)
1000	20 870	48,7	(-425 950)	(-342 400)
1100	23 870	51,9	(-425 700)	(-334 900)
1200	(27 070)	(55,0)	(-430 150)	(-326 900)

Фтористый лантанLaF₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-396\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (24) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1766^\circ \text{K [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 2600^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (62\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{La} + 3/2\text{F}_2 = \text{LaF}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-396 000)	(-377 000)
500	(4 000)	(-395 800)	(-365 000)
1 000	(17 000)	(-392 800)	(-336 000)
1 500	(32 000)	(-391 250)	(-307 000)

Хлористый лантан

LaCl₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -255\,910 \text{ кал/моль [127]}$$

$$S_{298} = 34,5 \text{ э. е. [127]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1135^\circ \text{K [29]} \quad 862^\circ\text{C}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (9000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2020^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (44\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{La} + \frac{3}{2}\text{Cl}_2 \rightarrow \text{LaCl}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-255 900	-238 300
500	(5 000)	(-254 700)	(-227 400)
1 000	(19 000)	(-250 900)	(-200 900)
1 500	(43 000)	(-237 800)	(-180 900)

Бромистый лантан

LaBr₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-197\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (45) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1062^\circ \text{K [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1850^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (45\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{La} + \frac{3}{2}\text{Br}_2 \rightarrow \text{LaBr}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-197 000)	(-191 000)
500	(5 000)	(-213 500)	(-180 000)
1 000	(18 000)	(-217 200)	(-154 000)
1 500	(43 000)	(-209 900)	(-133 000)

Йодистый лантан

LaJ₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-166\,700) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (49) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1045^\circ \text{K [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1675^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (40\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{La} + \frac{3}{2}\text{J}_2 \rightarrow \text{LaJ}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-166 700)	(-164 800)
500	(5 000)	(-188 100)	(-160 000)
1 000	(19 000)	(-184 400)	(-133 000)
1 500	(44 000)	(-173 500)	(-109 500)

Нитрид лантана

LaN (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -72\,100 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 11,5 \text{ э. е. [9]}$$

$$\Delta F_{298}^0 = -64\,700 \text{ кал/моль}$$

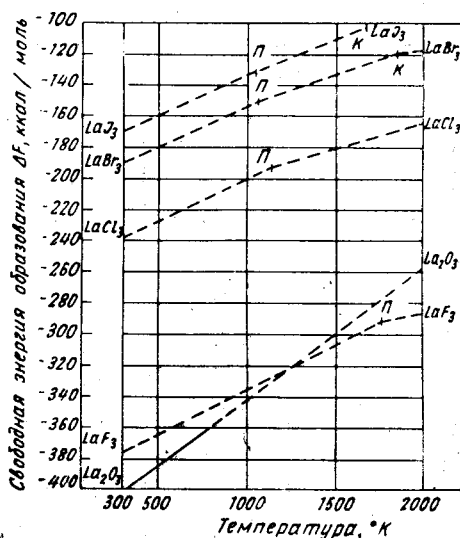


Рис. 27. Лантан

Свинец и его соединения

Элемент

Pb (ТВ)

$$S_{298} = 15,49 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 600,5^\circ \text{K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 1225 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 2024^\circ \text{K [130]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 42\,880 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (ТВ) (298 — 600,5°K)

$$C_p = 5,82 + 1,90 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1820 + 5,82T + \\ + 0,95 \times 10^{-3}T^2$$

$$F_T - H_{298} = -1820 - 5,82T \ln T - 0,95 \times \\ \times 10^{-3}T^2 + 24,0T$$

Интервал II (ж) (600,5 — 1300°K)

$$C_p = 6,80 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -838 + 6,80T$$

$$F_T - H_{298} = -838 - 6,80T \ln T + 28,15T$$

Интервал III (1300 — 2000°K)

Расчетные данные [130]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	15,49	15,49
400	655	17,38	15,75
500	1335	18,90	15,83
600	2015	20,14	16,78
700	3920	23,23	17,63
800	4600	24,14	18,39
900	5280	24,94	19,08
1000	5960	25,65	19,69
1100	6640	26,30	20,26
1200	7320	26,89	20,79
1300	8000	27,44	21,28
1400	(8780)	(28,02)	(21,75)
1500	(9450)	(28,48)	(22,18)
1600	(10110)	(28,91)	(22,60)
1700	(10760)	(29,30)	(22,98)
1800	(11410)	(29,67)	(23,34)
1900	(12050)	(30,02)	(23,68)
2000	(12680)	(30,34)	(24,00)

Оксид свинца (желтая)

PbO (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -52\,070 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 16,1 \text{ э. е. [89]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1159^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 2800 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1745^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 51\,000 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (ТВ) (298 — 1000°K)

$$C_p = 9,05 + 6,40 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -2983 + \\ + 9,05T + 3,20 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $\text{Pb} + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{PbO}$

Интервал I (298 — 600,5°K)

$$\Delta C_p = -0,35 + 4,0 \times$$

$$\times 10^{-3}T + 0,20 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -52\,070 - 0,35T + 2,0 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,20 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -52\,070 + 0,35T \ln T - 2,0 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,10 \times 10^5 T^{-1} + 23,35T$$

Интервал II (600,5 — 1000°K)

$$\Delta C_p = -1,33 + 5,90 \times$$

$$\times 10^{-3}T + 0,20 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -53\,070 - 1,33T + 2,95 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,20 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -53\,070 + 1,33T \ln T - 2,95 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,10 \times 10^5 T^{-1} + 18,57T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	16,1	-52 070	-44 950
400	1 150	19,42	-51 950	-42 750
500	2 340	22,07	-51 800	-40 200
600	3 600	24,36	-51 600	-37 900
700	4 920	26,4	-52 600	-35 450
800	6 310	28,25	-52 250	-32 900
900	7 760	29,96	-51 450	-30 600
1 000	9 260	31,54	-51 450	-28 250
1 100	(10 800)	—	(-51 000)	(-26 450)
1 200	(15 200)	—	(-47 700)	(-24 400)
1 300	(16 750)	—	(-47 250)	(-22 450)
1 400	(18 450)	—	(-46 750)	(-20 550)
1 500	(20 100)	—	(-46 250)	(-18 700)
1 600	(21 650)	—	(-45 750)	(-16 850)
1 700	(23 200)	—	(-45 300)	(-15 100)

$$\Delta F_T = -53\,730 - 0,22T \ln T - 1,75 \times 10^{-3}T^2 - 0,10 \times 10^5 T^{-1} + 28,72T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	15,6	-52 400	-45 130
400	1 220	19,12	-52 200	-42 700
500	2 460	21,88	-52 000	-40 300
600	3 740	24,22	-51 900	-38 100
700	5 060	26,25	-52 750	-35 500
762	—	—	—	-34 250

Оксид свинца (красная)

PbO (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -52\,400 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 15,6 \text{ э. е. [89]}$$

$$T_{\text{пер}} = 762^\circ \text{K (красная} \rightarrow \text{желтая) [24]}$$

$$\Delta H_{\text{пер}} = 250 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (β) (298 — 762° K)

$$C_p = 10,60 + 4,00 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -3338 + 10,60T + 2,00 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $\text{Pb} + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{PbO}$

Интервал I (298 — 600,5° K)

$$\Delta C_p = 1,20 + 1,60 \times 10^{-3}T + 0,20 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -52\,770 + 1,20T + 0,80 \times 10^{-3}T^2 - 0,20 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -52\,770 - 1,20T \ln T - 0,80 \times 10^{-3}T^2 - 0,10 \times 10^5 T^{-1} + 32,77T$$

Интервал II (600,5 — 762° K)

$$\Delta C_p = 0,22 + 3,50 \times 10^{-3}T + 0,20 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -53\,730 + 0,22T + 1,75 \times 10^{-3}T^2 - 0,20 \times 10^5 T^{-1}$$

Закись — окись свинца

Pb₃O₄ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -175\,500 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 50,5 \text{ э. е. [83]}$$

Реакция образования: $3\text{Pb} + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{Pb}_3\text{O}_4$

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-175 500	-147 500
400	(3 390)	(-175 500)	(-138 000)
500	(7 410)	(-175 000)	(-129 000)
600	(11 470)	(-174 500)	(-119 500)
700	(15 740)	(-177 500)	(-110 000)
800	(20 370)	(-176 500)	(-100 500)
900	(25 370)	(-175 000)	(-91 000)
1000	(31 180)	(-173 000)	(-81 500)

Двуокись свинца

PbO₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -66\,120 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 18,3 \text{ э. е. [83]}$$

Реакция образования: $\text{Pb} + \text{O}_2 \rightarrow \text{PbO}_2$

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-66 100	(-52 300)
400	(1 580)	(-65 900)	(-447 700) 42.800
500	(3 190)	(-65 700)	(-33 100) 42.100
600	(4 825)	(-65 500)	(-38 600)
700	(6 610)	(-66 400)	(-24 000) 34.000
800	(8 490)	(-66 000)	(-9 400) 32.400
900	(10 480)	(-65 500)	(-24 800)
1 000	(12 460)	(-65 000)	(-20 300)
1 100	(14 550)	(-64 400)	(-15 900)

Двухфтористый свинец

PbF₂ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -158\,500 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = (29) \text{ э. е. [112]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1097^\circ \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 1860 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1566^\circ \text{ К}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 38\,340 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (298 — 1097° К)

$$C_P = 16,50 + 4,10 \times 10^{-3}T \text{ [15]}$$

$$H_T - H_{298} = -5100 + 16,50T + 2,05 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: Pb + F₂ → PbF₂

Интервал I (298 — 600,5° К)

$$\Delta C_P = 2,39 + 1,76 \times 10^{-3}T + 0,80 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -159\,000 + 2,39T + 0,88 \times 10^{-3}T^2 - 0,80 \times 10^5 T^{-1}$$

$$+ \Delta F_T = -159\,000 - 2,39T \ln T - 0,88 \times 10^{-3}T^2 - 0,40 \times 10^5 T^{-1} + 51,13T$$

Интервал II (600,5 — 1097° К)

$$\Delta C_P = 1,41 + 3,66 \times 10^{-3}T + 0,80 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -160\,010 + 1,41T + 1,83 \times 10^{-3}T^2 - 0,80 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -160\,010 - 1,41T \ln T - 1,83 \times 10^{-3}T^2 - 0,40 \times 10^5 T^{-1} + 47,48T$$

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	29,0	-158 500	-148 060
400	1 830	34,32	-158 100	-144 550
500	3 160	38,43	-158 250	-141 700
600	5 540	41,74	-157 400	-137 900
700	7 450	44,75	-158 250	-134 500
800	9 410	47,26	-157 800	-131 000
900	11 410	49,57	-157 350	-127 700
1 000	13 450	51,88	-156 850	-124 550
1 100	17 390	53,89	-154 500	-119 600
1 500	(27 000)	(64,0)	(-151 200)	(-112 100)

Четырехфтористый свинец

PbF₄ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -222\,300 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = (45) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{возг}} = 773^\circ \text{ К [6]}$$

Реакция образования: Pb + 2F₂ → PbF₄

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-222300	(-202000)
500	(6000)	(-220800)	(-189300)

Двухлористый свинец

PbCl₂ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -85\,850 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 32,6 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 771^\circ \text{ К [82]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 5800 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1227^\circ \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 29\,604 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (ТВ) (298 — 771° К)

$$C_P = 15,96 + 8,00 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -5115 + 15,96T + 4,00 \times 10^{-3}T^2$$

Интервал II (ж) (771 — 900° К)

$$C_P = 27,20 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -5600 + 27,20T$$

Реакция образования: Pb + Cl₂ → PbCl₂

Интервал I (298 — 600,5° К)

$$\Delta C_P = 1,32 + 6,04 \times 10^{-3}T + 0,68 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -86\,280 + 1,32T + 3,02 \times 10^{-3}T^2 - 0,68 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -86\,280 - 1,32T \ln T - 3,02 \times 10^{-3}T^2 - 0,34 \times 10^5 T^{-1} + 46,26T$$

Интервал II (600,5 — 771° K)

$$\Delta C_p = 0,34 + 7,94 \times 10^{-3}T + 0,68 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -87240 + 0,34T + 3,97 \times 10^{-3}T^2 - 0,68 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -87240 - 0,34T \ln T - 3,97 \times 10^{-3}T^2 - 0,34 \times 10^5 T^{-1} + 42,4T$$

Интервал III (771 — 900° K)

$$\Delta C_p = 11,58 - 0,06 \times 10^{-3}T + 0,68 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -87750 + 11,58T - 0,03 \times 10^{-3}T^2 - 0,68 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -87750 - 11,58T \ln T + 0,03 \times 10^{-3}T^2 - 0,34 \times 10^5 T^{-1} + 113,74T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	32,6	-85 850	-75 060
400	1 920	38,14	-85 450	-71 400
500	3 830	42,40	-85 050	-67 900
600	5 890	46,15	-84 500	-64 550
700	8 040	49,46	-85 150	-61 100
800	16 160	60,07	-78 590	-57 850
900	18 880	63,27	-77 430	-55 550
1 000	(21 400)	(66,1)	(-76 450)	(-53 000)

Двубромистый свинец

PbBr₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -66 210 \text{ кал/моль} [112]$$

$$S_{298} = 38,6 \text{ э. е.} [83]$$

$$T_{\text{пл}} = 761^\circ \text{ K} [82]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 4430 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1187^\circ \text{ K} [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 27 694 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 761° K)

$$\overline{C_p} = 18,59 + 2,20 \times 10^{-3}T [82]$$

$$H_T - H_{298} = -5640 + 18,59T + 1,10 \times 10^{-3}T^2$$

Интервал II (ж) (761 — 900° K)

$$C_p = 27,60 [82]$$

$$H_T - H_{298} = -7435 + 27,60T$$

Реакция образования: Pb + Br₂ → PbBr₂

Интервал I (298 — 331° K)

$$\Delta C_p = -4,33 + 0,30 \times 10^{-3}T$$

$$\Delta H_T = -64 930 + 4,33T + 0,15 \times 10^{-3}T^2$$

$$\Delta F_T = -64 930 + 4,33T \ln T - 0,15 \times 10^{-3}T^2 - 15,62T$$

Интервал II (331 — 600,5° K)

$$\Delta C_p = 3,73 + 0,30 \times 10^{-3}T + 0,37 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -74 975 + 3,73T + 0,15 \times 10^{-3}T^2 - 0,37 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -74 975 - 3,73T \ln T - 0,15 \times 10^{-3}T^2 - 0,18 \times 10^5 T^{-1} + 61,94T$$

Интервал III (600,5 — 761° K)

$$\Delta C_p = 2,75 + 2,20 \times 10^{-3}T + 0,37 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -75 940 + 2,75T + 1,10 \times 10^{-3}T^2 - 0,37 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -75 940 - 2,75T \ln T - 1,10 \times 10^{-3}T^2 - 0,18 \times 10^5 T^{-1} + 57,85T$$

Интервал IV (761 — 900° K)

$$\Delta C_p = 11,74 + 0,37 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -77 730 + 11,74T - 0,37 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -77 730 - 11,74T \ln T - 0,18 \times 10^5 T^{-1} + 118,0T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	38,6	-66 210	-62 250
400	1 970	44,29	-73 500	-59 150
500	3 930	48,66	-73 150	-55 650
600	5 900	52,25	-72 750	-52 200
700	7 910	55,35	-73 550	-48 600
800	14 640	64,22	-68 400	-45 300
900	17 400	67,47	-67 200	-42 500
1 000	(19 800)	(69,80)	-66 400	(-39 650)

Двуйодистый свинец

PbJ₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -41\,850 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 42,3 \text{ э. е. [112]}$$

$$T_{\text{пл}} = 685^\circ \text{K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 6010 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1145^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 24\,846 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 685° K)

$$C_p = 18,00 + 4,70 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -5576 + 18,00T + 2,35 \times 10^{-3}T^2$$

Интервал II (ж) (685 — 800° K)

$$C_p = 32,40 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -8325 + 32,40T$$

Реакция образования: $\text{Pb} + \text{J}_2 \rightarrow \text{PbJ}_2$

Интервал I (298 — 386,1° K)

$$\Delta C_p = 2,59 - 9,10 \times 10^{-3}T$$

$$\Delta H_T = -42\,220 + 2,59T - 4,55 \times 10^{-3}T^2$$

$$\Delta F_T = -42\,220 - 2,59T \ln T + 4,55 \times 10^{-3}T^2 + 15,72T$$

Интервал II (386,1 — 456° K)

$$\Delta C_p = -7,02 + 2,80 \times 10^{-3}T$$

$$\Delta H_T = -43\,150 - 7,02T + 1,40 \times 10^{-3}T^2$$

$$\Delta F_T = -43\,150 + 7,02T \ln T - 1,40 \times 10^{-3}T^2 - 36,83T$$

Интервал III (456 — 600° K)

$$\Delta C_p = 3,29 + 2,80 \times 10^{-3}T$$

$$\Delta H_T = -57\,850 + 3,29T + 1,40 \times 10^{-3}T^2$$

$$\Delta F_T = -57\,850 - 3,29T \ln T - 1,40 \times 10^{-3}T^2 + 58,55T$$

Интервал IV (685 — 800° K)

$$C_p = 16,71$$

$$\Delta H_T = -61\,550 + 16,71T$$

$$\Delta F_T = -61\,550 - 16,71T \ln T + 150,87T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	42,3	-41 850	-41 550
400	2 010	48,1	-45 730	-41 280
500	4 000	52,54	-55 850	-39 150
600	6 070	56,31	-55 350	-36 850
700	14 360	68,58	-49 850	-32 570
800	17 600	72,9	-48 200	-30 200

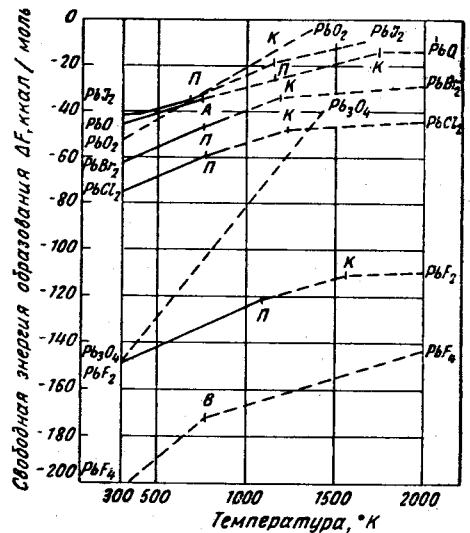


Рис. 28. Свинец

Литий и его соединения

Элемент

Li (тв)

$$S_{298} = 6,75 \text{ э. е. [34]}$$

$$T_{\text{пл}} = 453,7^\circ \text{ К [34]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 723 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 1604^\circ \text{ К [130]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 32\,190 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (тв) (298 — 452° К)

$$C_p = 3,15 + 8,40 \times 10^{-3} T \text{ [82]}$$

$$\Delta H_T = -1313 + 3,15T + 4,20 \times 10^{-3} T^2$$

$$\Delta F_T = -1313 - 3,15T \ln T - \\ - 4,20 \times 10^{-3} T^2 + 16,84T$$

Интервал II (ж) (452 — 1604° К)

$$C_p = 6,935 - 0,078 \times 10^{-3} T + 0,36 \times \\ \times 10^5 T^{-2} \text{ [34]}$$

$$\Delta H_T = -1324 + 6,935T - 0,039 + \\ + 10^{-3} T^2 - 0,36 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T - H_{298} = -1324 - 6,935T \ln T + \\ + 0,039 \times 10^{-3} T^2 - 0,18 \times 10^5 T^{-1} + \\ + 38,19T$$

Интервал III (г) (1640 — 2500° К)

$$C_p = 3,93 + 0,364 \times 10^{-3} T + 12,94 \times \\ \times 10^5 T^{-3} \text{ [34]}$$

$$H_T - H_{298} = +38\,956 + 3,93T + 0,182 \times \\ \times 10^{-3} T^2 - 12,94 \times 10^5 T^{-1}$$

$$I_T - H_{298} = 38\,956 - 3,93T \ln T - 0,182 \times \\ \times 10^{-3} T^2 - 6,47 \times \\ \times 10^5 T^{-1} - 8,23T$$

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	6,75	6,75
400	630	8,57	7,0
500	2049	11,71	7,62
600	2763	13,01	8,4
700	3462	14,09	9,14
800	4155	15,01	9,82
900	4846	15,83	10,44
1000	5536	16,55	11,01
1100	6224	17,21	11,55
1200	6912	17,81	12,05
1300	7598	18,36	12,51
1400	8284	18,86	12,94
1500	8967	19,34	13,36
1600	9648	19,78	13,75
1700	45404	41,79	15,08
1800	45901	42,08	16,58
1900	46399	42,35	17,93
2000	46897	42,60	19,15

Оксид лития

Li₂O (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = 142\,570 \text{ кал/моль [75]}$$

$$S_{298} = 9,06 \text{ э. е. [75]}$$

$$T_{\text{пл}} = (2000^\circ \text{ К}) \text{ [42]}$$

Интервал I (тв) (298 — 1500° К)

$$C_p = 14,939 + 6,08 \times 10^{-3} T - 3,38 \times \\ \times 10^5 T^{-2} \text{ [116]}$$

$$H_T - H_{298} = 5858 + 14,939T + 3,04 \times \\ \times 10^{-3} T^2 + 3,38 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $2\text{Li} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{Li}_2\text{O}$

Интервал I (298 — 452° К)

$$\Delta C_p = 5,06 - 11,22 \times 10^{-3} T - \\ - 3,18 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = 144\,648 + 5,06T - 5,61 \times \\ \times 10^{-3} T^2 + 3,18 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = 144\,648 - 5,06T \ln T + 5,61 \times \\ \times 10^{-3} T^2 + 1,59 \times 10^5 T^{-1} + 61,28T$$

Интервал II (452 — 1500° К)

$$\Delta C_p = 2,51 + 5,74 \times 10^{-3}T - 3,90 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = 138\,800 - 2,51T + 2,87 \times 10^{-3}T^2 + 3,90 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = 138\,800 + 2,15T \ln T - 2,87 \times 10^{-3}T^2 + 1,95 \times 10^5 T^{-1} + 18,6T$$

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	9,06	-142 570	-133 950
400	7 306	13,22	-136 900	-125 100
500	8 905	16,79	-138 500	-122 000
600	10 620	19,91	-138 600	-118 700
700	12 430	22,70	-138 550	-115 350
800	14 320	25,22	-138 450	-112 050
900	16 270	27,53	-138 300	-108 800
1 000	18 317	29,68	-138 050	-105 500
1 100	20 418	31,68	-137 700	-102 200
1 200	22 586	33,56	-137 350	-99 050
1 300	24 818	35,35	-136 900	-95 850
1 400	27 050	37,05	-136 550	-92 900
1 500	30 233	38,67	-136 100	-89 550

Фтористый литий

LiF (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -146\,300 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 8,57 \text{ э. е. [112]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1120^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 2360 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1954^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 50\,970 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 1120° К)

$$C_p = 9,14 + 5,19 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -2954 + 9,14T + 2,59 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $\text{Li} + \frac{1}{2}\text{F}_2 \rightarrow \text{LiF}$

Интервал I (298 — 452° К)

$$\Delta C_p = 1,84 - 3,43 \times 10^{-3}T + 0,40 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -146\,550 + 1,84T - 1,71 \times 10^{-3}T^2 - 0,40 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -146\,550 - 1,84T \ln T + 1,71 \times 10^{-3}T^2 - 0,20 \times 10^5 T^{-1} + 33,53T$$

Интервал II (452 — 1120° К)

$$\Delta C_p = -1,94 + 5,05 \times 10^{-3}T + 0,04 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -146\,400 - 1,94T + 2,52 \times 10^{-3}T^2 - 0,04 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -146\,400 + 1,94T \ln T - 2,52 \times 10^{-3}T^2 - 0,02 \times 10^5 T^{-1} + 12,23T$$

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	8,57	-146 300	-139 650
400	1 116	11,79	-146 150	-137 250
500	2 263	14,34	-146 800	-134 950
600	3 462	16,53	-146 700	-132 550
700	4 713	18,46	-146 550	-130 200
800	6 016	20,20	-146 350	-127 850
900	7 370	21,79	-146 100	-125 550
1 000	8 776	23,28	-145 800	-123 300
1 100	10 234	24,66	-145 400	-120 950
1 500	(18 200)	(30,57)	(-141 900)	(-112 200)

Хлористый литий

LiCl (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -97\,700 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 13,9 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 887^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 3200 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1653^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 35\,960 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 887° К)

$$C_p = 11,0 + 3,40 \times 10^{-3}T \text{ [74]}$$

$$H_T - H_{298} = -3429 + 11,0T + 1,70 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $\text{Li} + \frac{1}{2}\text{Cl}_2 \rightarrow \text{LiCl}$

Интервал I (298 — 452° K)

$$\Delta C_p = 3,44 - 5,03 \times 10^{-3}T + 0,34 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -98\,400 + 3,44T - 2,51 \times 10^{-3}T^2 - 0,34 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -98\,400 - 3,44T \ln T + 2,51 \times 10^{-3}T^2 - 0,17 \times 10^5 T^{-1} + 38,76T$$

Интервал II (452 — 887° K)

$$\Delta C_p = -0,345 + 3,45 \times 10^{-3}T - 0,02 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -98\,360 - 0,345T + 1,72 \times 10^{-3}T^2 - 0,02 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -98\,360 + 0,345T \ln T - 1,72 \times 10^{-3}T^2 - 0,01 \times 10^5 T^{-1} + 17,02T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	13,9	-97 700	-92 500
400	1 243	17,48	-97 500	-90 850
500	2 496	20,28	-98 100	-89 200
600	3 783	22,63	-97 450	-87 000
700	5 104	24,66	-97 750	-85 600
800	6 459	26,47	-97 850	-84 450
900	11 050	31,71	-94 100	-82 600
1 000	(12 700)	(33,6)	(-93 550)	(-81 500)
1 500	(20 700)	(40,1)	(-90 800)	(-75 800)

Бромистый литий

LiBr (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -83\,720 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = 19 \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{пл} = 825^\circ \text{ K [6]}$$

$$\Delta H_{пл} = 2900 \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 1583^\circ \text{ K [6]}$$

$$\Delta H_{исп} = 35\,420 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 825° K)

8 Зак. 1168

$$C_p = 11,5 + 3,02 \times 10^{-3}T [74]$$

$$H_T - H_{298} = -3560 + 11,5T + 1,51 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $\text{Li} + 1/2 \text{Br}_2 \rightarrow \text{LiBr}_2$

Интервал I (298 — 331° K)

$$\Delta C_p = -0,2 - 5,38 \times 10^{-3}T$$

$$\Delta H_T = -83\,420 - 0,2T - 2,69 \times 10^{-3}T^2$$

$$\Delta F_T = -83\,420 + 0,2T \ln T + 2,69 \times 10^{-3}T^2 + 3,01T$$

Интервал II (331 — 452° K)

$$\Delta C_p = 3,83 - 5,38 \times 10^{-3}T + 0,19 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -88\,650 + 3,83T - 2,69 \times 10^{-3}T^2 - 0,19 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -88\,650 - 3,83T \ln T + 2,69 \times 10^{-3}T^2 - 0,09 \times 10^5 T^{-1} + 42,83T$$

Интервал III (452 — 825° K)

$$\Delta C_p = 0,05 + 3,1 \times 10^{-3}T + 0,17 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -88\,400 + 0,05T + 1,55 \times 10^{-3}T^2 + 0,17 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -88\,400 - 0,05T \ln T - 1,55 \times 10^{-3}T^2 + 0,08 \times 10^5 T^{-1} + 20,45T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	19,0	-83 720	-81 950
400	1 281	22,69	-87 400	-80 500
500	2 567	25,56	-87 950	-78 700
600	3 884	27,95	-87 800	-76 850
700	5 240	30,03	-87 600	-75 050
800	7 606	31,87	-87 400	-73 300
1 000	(12 700)	(38,9)	(-83 550)	(-70 450)
1 500	(20 700)	(45,4)	(-81 250)	(-64 600)

Иодистый литий

LiJ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -64790 \text{ кал/моль} [112]$$

$$S_{298} = (21) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{\text{пл}} = 713^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 1420 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1440^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 40772 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 713°K)

$$C_p = 12,3 + 2,44 \times 10^{-3}T [74]$$

$$H_T - H_{298} = -3773 + 12,3T + 1,22 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $\text{Li} + \frac{1}{2}\text{J}_2 \rightarrow \text{LiJ}$

Интервал I (298 — 386,8°K)

$$\Delta C_p = 4,36 - 11,91 \times 10^{-3}T$$

$$\Delta H_T = -65550 + 4,36T - 5,95 \times 10^{-3}T^2$$

$$\Delta F_T = -65550 - 4,36T \ln T + 5,95 \times 10^{-3}T^2 + 34,3T$$

Интервал II (386,8 — 452°K)

$$\Delta C_p = 0,45 - 5,96 \times 10^{-3}T$$

$$\Delta H_T = -63750 - 0,45T - 2,98 \times 10^{-3}T^2$$

$$\Delta F_T = -63750 + 0,45T \ln T + 2,98 \times 10^{-3}T^2 + 2,0T$$

Интервал II (456 — 713°K)

$$\Delta C_p = -0,93 + 2,52 \times 10^{-3}T - 0,36 \times 10^{-5}T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -65600 + 0,93T + 1,26 \times 10^{-3}T^2 + 0,36 \times 10^5 T^{-1}; \Delta F_T = -65600 - 0,93T \ln T - 1,26 \times 10^{-3}T^2 + 0,18 \times 10^5 T^{-1} + 15,54T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(21, 0)	-64790	(-62200)
400	1342	(24, 9)	-64400	(-61350)
500	2682	(27, 9)	-64750	(-61000)
600	4046	(30, 3)	-66000	(-60800)
700	5435	(32, 5)	-65450	(-60200)

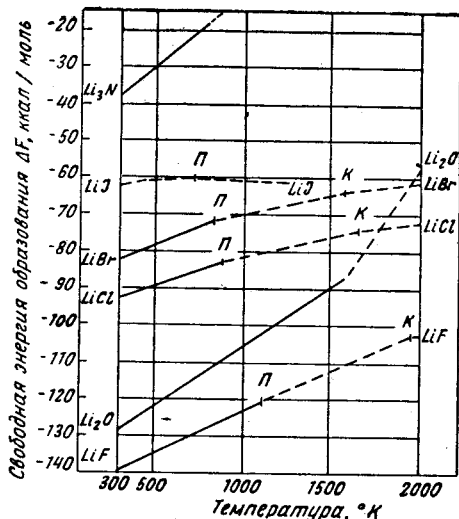


Рис. 29. Литий

Нитрид лития

Li₃N (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -47500 \text{ кал/моль} [9]$$

$$S_{298} = 9 \text{ э. е.} [9]$$

Разлагается [9]

Интервал I (тв) (298 — 800°K)

$$C_p = 11,73 + 23,00 \times 10^{-3}T [82]$$

$$H_T - H_{298} = -4520 + 11,73T + 11,5 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $3\text{Li} + \frac{1}{2}\text{N}_2 \rightarrow \text{Li}_3\text{N}$

Интервал I (298 — 452°K)

$$\Delta C_p = -1,05 - 2,71T \times 10^{-3}T$$

$$\Delta H_T = -47050 - 1,05T - 1,35 \times 10^{-3}T^2$$

$$\Delta F_T = -47050 + 1,05T \ln T + 1,35 \times 10^{-3}T^2 + 26,35T$$

Интервал II (452 — 800°K)

$$\Delta C_p = -12,40 + 22,72 \times 10^{-3}T - 1,08 \times 10^{-5}T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -47\,000 - 12,40T + 11,36 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 1,08 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -47\,000 + 12,40T \ln T - 11,36 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 0,54 \times 10^5 T^{-1} - 37,8T$$

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	9,0	-47 500	-37 300
400	2 000	14,7	-48 100	-34 150
500	4 200	19,7	-50 150	-30 100
600	6 680	24,2	-50 170	-26 050
700	9 360	28,3	-49 950	-22 000
800	12 190	32,1	-49 570	-18 100

Лютеций и его соединения

Элемент

Lu (ТВ)

$$S_{298} = (11,79) \text{ э. е. [121]}$$

$$T_{\text{пл}} = (2000^\circ \text{K}) [125]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (4600) \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = (2200^\circ \text{K}) [125]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 59\,000 \text{ кал/г-атом}$$

Расчетные данные [130]

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	(11,79)	(11,79)
400	(665)	(13,66)	(12,00)
500	(1 330)	(15,15)	(12,49)
600	(2 015)	(16,40)	(13,05)
700	(2 710)	(17,47)	(13,60)
800	(3 425)	(18,42)	(14,14)
900	(4 150)	(19,28)	(14,67)
1 000	(4 890)	(20,06)	(15,17)
1 100	(5 650)	(20,78)	(15,65)
1 200	(6 420)	(21,46)	(16,11)
1 300	(7 210)	(22,09)	(16,55)
1 400	(8 010)	(22,68)	(16,96)
1 500	(8 830)	(23,25)	(17,37)
1 600	(9 660)	(23,78)	(17,75)
1 700	(10 510)	(24,30)	(18,12)
1 800	(11 370)	(24,79)	(18,48)
1 900	(12 250)	(25,26)	(18,82)
2 000	(17 740)	(28,04)	(19,17)

Фтористый лютеций

LuF₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-367\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (26) [11] \text{ э. е.}$$

$$T_{\text{прев}} = 927^\circ \text{K} [29]$$

$$T_{\text{пл}} = (1455^\circ \text{K}) [29]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2500^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (60\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Lu} + \frac{3}{2}\text{F}_2 \rightarrow \text{LuF}_3$

Расчетные данные [11]

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-367 000)	(-349 000)
500	(4 000)	(-366 700)	(-338 000)
1 000	(17 000)	(-363 700)	(-309 000)
1 500	(32 000)	(-359 200)	(-283 000)

Хлористый лютеций

LuCl₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -228\,000 \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (37) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1178^\circ \text{K} [29]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (9000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1750^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (43\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Lu} + \frac{3}{2}\text{Cl}_2 \rightarrow \text{LuCl}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-228 000	(-211 500)
500	(5 000)	(-226 100)	(-200 000)
1 000	(19 000)	(-223 000)	(-174 000)
1 500	(43 000)	(-219 400)	(-154 500)

Бромистый лютецийLuBr₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-164\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (44) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1298^\circ \text{K}) [29]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (10\,000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1680^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (42\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Lu} + {}^{3/2}\text{Br}_2 \rightarrow \text{LuBr}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-164 000)	(-157 000)
500	(5 000)	(-174 600)	(-146 000)
1 000	(18 000)	(-171 900)	(-121 000)
1 500	(43 000)	(-157 600)	(-104 500)

Магний и его соединения

Элемент

Mg (тв)

$$S_{298} = 7,77 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 923^\circ \text{K} [82]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 2160 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 1393^\circ \text{K} [112]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 31\,500 \text{ кал/г-атом}$$

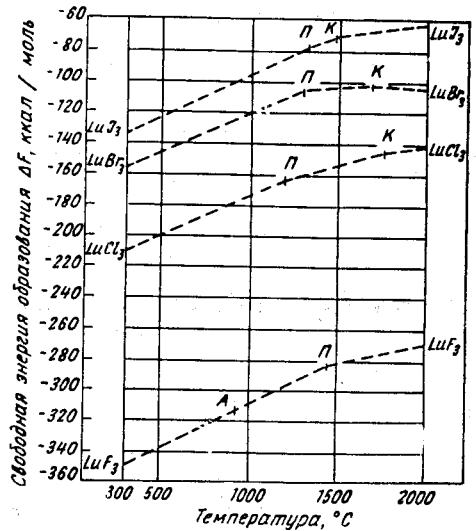


Рис. 30. Лютеций

Йодистый лютецийLuJ₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -133\,000 \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (46) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1323^\circ \text{K} [29]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (11\,000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1480^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (38\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Lu} + {}^{3/2}\text{J}_2 \rightarrow \text{LuJ}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-133 000	(-131 000)
500	(5 000)	(-154 000)	(-125 000)
1 000	(19 000)	(-150 500)	(-96 000)
1 500	(82 000)	(-98 000)	(-71 000)

Интервал I (тв) (298 — 923° K)

$$C_p = 6,14 + 1,50 \times 10^{-3}T - 0,78 \times 10^5 T^{-2} [82]$$

$$H_T - H_{298} = -2160 + 6,14T + 0,75 \times 10^{-3}T^2 + 0,78 \times 10^5 T^{-1}$$

$$F_T - H_{298} = -2160 - 6,14T \ln T - 0,75 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 0,39 \times 10^5 T^{-1} + 33,08T$$

Интервал II (ж) (923 — 1393° К)

$$C_P = 7,4 [82]$$

$$H_T - H_{298} = -440 + 7,40T$$

$$F_T - H_{298} = -440 - 7,40T \ln T + 40,2T$$

Интервал III (г) (1393 — 1800° К)

$$C_P = 4,97 [84]$$

$$H_T - H_{298} = 34\,440 + 4,97T$$

$$F_T - H_{298} = 34\,440 - 4,97T \ln T - 2,4T$$

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	7,77	7,77
400	615	9,52	7,97
500	1 255	10,95	8,44
600	1 920	12,16	8,97
700	2 615	13,23	9,49
800	3 330	14,19	10,01
900	4 060	15,04	10,52
1 000	6 960	18,16	11,20
1 100	7 700	18,87	11,68
1 200	8 430	19,47	12,43
1 300	8 980	20,07	13,09
1 400	41 400	43,27	13,53
1 500	41 900	43,67	15,73
1 600	42 390	43,99	17,58
1 700	42 890	44,37	19,12
1 800	43 390	44,67	20,62
1 900	(43 890)	(44,87)	(21,79)
2 000	(44 390)	(45,17)	(22,92)

Интервал I (298 — 923° К)

$$\Delta C_P = 0,46 - 0,26 \times 10^{-3}T - 0,50 \times$$

$$\times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -144\,000 + 0,46T - 0,13 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 0,50 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -144\,000 - 0,46T \ln T + 0,13 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 0,25 \times 10^5 T^{-1} + 28,73T$$

Интервал II (923 — 1393° К)

$$\Delta C_P = -0,80 + 1,24 \times 10^3 T - 1,28 \times$$

$$\times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -145\,750 - 0,80T + 0,62 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 1,28 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -145\,750 + 0,80T \ln T - 0,62 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 0,64 \times 10^5 T^{-1} + 22,71T$$

Интервал III (1393 — 1800° К)

$$\Delta C_P = 1,63 + 1,24 \times 10^{-3}T - 1,28 \times$$

$$\times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -180\,500 + 1,63T + 0,62 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 1,28 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -180\,500 - 1,63T \ln T - 0,62 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 0,64 \times 10^5 T^{-1} + 65,4T$$

Оксид магния

MgO (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -143\,700 \text{ кал/моль} [117]$$

$$S_{298} = 6,40 \text{ э. е.} [83]$$

$$T_{пл} = 3173^\circ \text{K} [112]$$

$$\Delta H_{пл} = 18\,500 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (298 — 2100° К)

$$C_P = 10,18 + 1,74 \times 10^{-3}T - 1,48 \times$$

$$\times 10^5 T^{-2} [82]$$

$$H_T - H_{298} = -3609 + 10,18T + 0,87 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 1,48 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $\text{Mg} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{MgO}$

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	6,40	-143 700	-136 100
400	965	9,18	-143 700	-133 500
500	1 975	11,43	-143 700	-131 000
600	3 020	13,34	-143 700	-128 400
700	4 100	15,0	-143 700	-125 900
800	5 225	16,5	-143 700	-123 300
900	6 390	17,87	-143 650	-120 750
1 000	7 580	19,13	-145 800	-118 050
1 100	8 800	20,29	-145 700	-115 200
1 200	10 050	21,38	-145 600	-112 600
1 300	11 310	22,38	-145 300	-109 500
1 400	12 570	23,32	-176 850	-106 850
1 500	13 830	24,19	-176 600	-101 700
1 600	15 090	25,0	-176 200	-96 700
1 700	16 350	25,76	-175 900	-91 600
1 800	17 610	26,48	-175 600	-86 600
1 900	(18 870)	(27,16)	(-175 200)	(-81 800)
2 000	(20 130)	(27,81)	(-175 050)	(-76 950)

Фтористый магний

MgF₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -263\,500 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 13,68 \text{ э. е. [112]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1536^\circ \text{ К [82]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 13\,900 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 2500^\circ \text{ К [112]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 65\,000 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 1536° К)

$$C_p = 16,93 + 2,52 \times 10^{-3} T - 2,20 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -5898 + 16,93T + 1,26 \times 10^{-3} T^2 + 2,20 \times 10^5 T^{-1}$$

Интервал II (ж) (1536 — 1800° К)

$$C_p = 22,60 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = 2400 + 22,60T$$

Реакция образования: Mg + F₂ → MgF₂

Интервал I (298 — 923° К)

$$\Delta C_p = 2,50 + 0,58 \times 10^{-3} T - 0,62 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -264\,500 + 2,50T + 0,29 \times 10^{-3} T^2 + 0,62 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -264\,500 - 2,50T \ln T - 0,29 \times 10^{-3} T^2 + 0,31 \times 10^5 T^{-1} + 59,87T$$

Интервал II (923 — 1393° К)

$$\Delta C_p = 1,24 + 2,08 \times 10^{-3} T - 1,4 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -266\,220 + 1,24T + 1,04 \times 10^{-3} T^2 + 1,4 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -266\,220 - 1,24T \ln T - 1,04 \times 10^{-3} T^2 + 0,7 \times 10^5 T^{-1} + 53,81T$$

Интервал III (1393 — 1536° К)

$$\Delta C_p = 3,67 + 2,08 \times 10^{-3} T - 1,40 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -301\,050 + 3,67T + 1,04 \times 10^{-3} T^2 + 1,40 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -301\,050 - 3,67T \ln T - 1,04 \times 10^{-3} T^2 + 0,70 \times 10^5 T^{-1} + 96,44T$$

Интервал IV (1536 — 1800° К)

$$\Delta C_p = 9,34 - 0,44 \times 10^{-3} T + 0,80 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -292\,760 + 9,34T - 0,22 \times 10^{-3} T^2 - 0,80 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -292\,760 + 9,34T \ln T + 0,22 \times 10^{-3} T^2 - 0,40 \times 10^5 T^{-1} + 130,87T$$

T°, К	H _T - H ₂₉₈	S _T	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	13,68	-263 500	-250 800
400	1 645	18,42	-263 250	-246 500
500	3 320	22,15	-263 000	-242 300
600	5 080	25,36	-262 750	-238 200
700	6 890	28,15	-262 600	-234 200
800	8 720	30,60	-262 250	-230 150
900	10 590	32,80	-261 950	-226 150
1 000	12 510	34,82	-263 800	-221 950
1 100	14 450	36,67	-263 450	-216 750
1 200	16 430	38,39	-263 100	-213 700
1 300	18 440	40,00	-262 500	-209 500
1 400	20 460	41,50	-293 800	-205 300
1 500	22 490	42,90	-293 150	-198 950
1 600	38 560	53,35	-278 450	-193 250
1 700	40 820	54,72	-277 600	-187 800
1 800	43 080	56,01	-276 700	-182 600

Хлористый магний

MgCl₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -153\,200 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 21,4 \text{ э. е. [112]}$$

$$T_{\text{пл}} = 987^\circ \text{ К [82]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 10\,300 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1691^\circ \text{K} [112]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 32\,700 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 987° K)

$$C_p = 18,90 + 1,42 \times 10^{-3}T - 2,06 \times 10^5 T^{-1} [82]$$

$$H_T - H_{298} = -6389 + 18,90T + 0,71 \times 10^{-3}T^2 + 2,06 \times 10^5 T^{-1}$$

Интервал II (ж) (987 — 1500° K)

$$C_p = 22,10 [82]$$

$$H_T - H_{298} = 1650 + 22,10T$$

Реакция образования: $\text{Mg} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{MgCl}_2$

Интервал I (298 — 923° K)

$$\Delta C_p = 3,94 - 0,14 \times 10^{-3}T - 0,6 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -154\,600 + 3,94T - 0,07 \times 10^{-3}T^2 + 0,6 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -154\,600 - 3,94T \ln T + 0,07 \times 10^{-3}T^2 + 0,3 \times 10^5 T^{-1} + 66,56T$$

Интервал II (923 — 987° K)

$$\Delta C_p = 2,68 + 1,36 \times 10^{-3}T - 1,38 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -154\,200 + 2,68T + 0,68 \times 10^{-3}T^2 + 1,38 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -154\,200 - 2,68T \ln T - 0,68 \times 10^{-3}T^2 + 0,69 \times 10^5 T^{-1} + 55,47T$$

Интервал III (987 — 1393° K)

$$\Delta C_p = 5,88 - 0,06 \times 10^{-3}T + 0,68 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -148\,150 + 5,88T - 0,03 \times 10^{-3}T^2 - 0,68 \times 10^5 T^{-1}; \Delta F_T = -148\,150 - 5,88T \ln T + 0,03 \times 10^{-3}T^2 - 0,34 \times 10^5 T^{-1} + 73,54T$$

Интервал IV (1393 — 1500° K)

$$\Delta C_p = 8,31 - 0,06 \times 10^{-3}T + 0,68 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -183\,100 + 8,31T - 0,03 \times 10^{-3}T^2 - 0,68 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -183\,100 - 8,31T \ln T + 0,03 \times 10^{-3}T^2 - 0,34 \times 10^5 T^{-1} + 116,34T$$

T°, K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	21,40	-153 200	-141 400
400	1 800	26,59	-152 850	-137 300
500	3 650	30,71	-152 500	-133 500
600	5 555	34,19	-152 100	-129 700
700	7 480	37,15	-151 750	-126 100
800	9 420	39,74	-151 400	-122 400
900	11 380	42,05	-151 050	-118 850
1 000	23 750	54,67	-142 450	-115 150
1 100	25 960	56,78	-141 750	-112 450
1 200	28 170	58,70	-141 300	-110 000
1 300	30 380	60,47	-141 450	-107 050
1 400	32 590	62,10	-171 600	-104 600
1 500	34 800	63,67	-170 650	-99 650

Бромистый магний

MgBr_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-123\,900) \text{ кал/моль} [11]$$

$$S_{298} = (30) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{\text{пл}} = 984^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 8300 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1500^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (35\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Mg} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{MgBr}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-123 900)	(-120 000)
500	(4 000)	(-130 700)	(-111 000)
1 000	(22 700)	(-122 200)	(-92 450)
1 500	(34 800)	(-149 500)	(-69 600)

Иодистый магний MgJ_2 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -86\,800 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (33) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 923^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (5300) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1200^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (25\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Mg} + \text{J}_2 \rightarrow \text{MgJ}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-86 800	(-86 000)
500	(4 000)	(-100 700)	(-83 000)
1 000	(19 900)	(-95 000)	(-69 500)
1 500	(57 000)	(-97 500)	(-58 000)

Нитрид магния Mg_3N_2 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -110\,200 \text{ кал/моль [102]}$$

$$S_{298} = 21,8 \text{ э. е. [102]}$$

$$T_{\text{прев}} = 823^\circ \text{K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 110 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{прев}} = 1061^\circ \text{K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 220 \text{ кал/моль}$$

Температура разложения 1300°K [9] Интервал I (α) ($298 - 823^\circ \text{K}$)

$$C_p = 20,77 + 11,20 \times 10^{-3} [82]$$

$$H_T - H_{298} = -6691 + 20,77T + 5,60 \times 10^{-3}T^2$$

Интервал II (β) ($823 - 1061^\circ \text{K}$)

$$C_p = 20,77 + 10,66 \times 10^{-3}T [82]$$

$$H_T - H_{298} = -5830 + 20,07T + 5,33 \times 10^{-3}T^2$$

Интервал III (γ) ($1061 - 1300^\circ \text{K}$)

$$C_p = 28,50 [79]$$

$$H_T - H_{298} = -8560 + 28,50T$$

Реакция образования: $3\text{Mg} + \text{N}_2 \rightarrow \text{Mg}_3\text{N}_2$ Интервал I ($298 - 823^\circ \text{K}$)

$$\Delta C_p = -4,31 + 5,68 \times 10^{-3}T + 2,34 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -108\,400 - 4,31T + 2,84 \times 10^{-3}T^2 - 2,34 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -108\,400 + 4,31T \ln T - 2,84 \times 10^{-3}T^2 - 1,17 \times 10^5 T^{-1} + 18,05T$$

Интервал II ($823 - 923^\circ \text{K}$)

$$\Delta C_p = -5,01 + 5,14 \times 10^{-3}T + 2,34 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -107\,500 - 5,01T + 2,57 \times 10^{-3}T^2 - 2,34 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta F_T = -107\,500 + 5,01T \ln T - 2,57 \times 10^{-3}T^2 - 1,17 \times 10^5 T^{-1} + 12,70T$$

Интервал III ($923 - 1061^\circ \text{K}$)

$$\Delta C_p = -8,79 + 9,64 \times 10^{-3}T$$

$$\Delta H_T = -112\,700 + 8,79T + 4,82 \times 10^{-3}T^2$$

$$\Delta F_T = -112\,700 + 8,79T \ln T - 4,82 \times 10^{-3}T^2 - 5,38T$$

Интервал IV ($1061 - 1300^\circ \text{K}$)

$$\Delta C_p = 0,32 - 1,02 \times 10^{-3}T$$

$$\Delta H_T = -115\,430 - 0,32T - 0,51 \times 10^{-3}T^2$$

$$\Delta F_T = -115\,430 + 0,32T \ln T + 0,51 \times 10^{-3}T^2 + 50,4T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	21,8	-110 200	-96 100
400	2 510	29,04	-110 250	-91 300
500	5 100	34,81	-110 300	-86 600
600	7 790	39,72	-110 300	-81 900
700	10 590	44,03	-110 300	-77 100
800	13 510	47,93	-110 250	-72 400
900	16 550	51,50	-110 200	-67 700
1 000	19 570	54,69	-116 650	-62 350
1 100	22 790	57,76	-116 400	-56 900
1 200	25 640	60,24	-116 350	-51 350
1 300	28 490	62,52	-116 150	-45 650

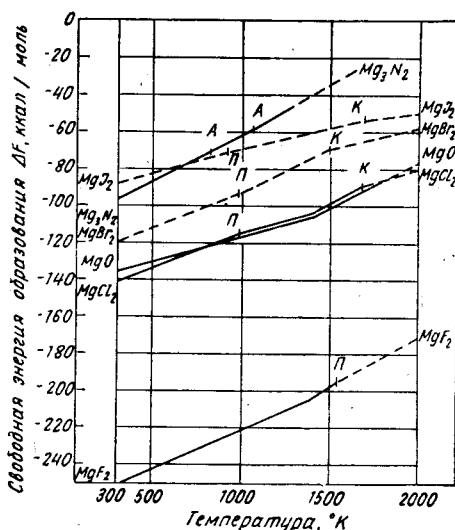


Рис. 31. Магний

Марганец и его соединения

Элемент

Мп (ТВ)

$$S_{298} = 7,59 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{прев}} = 1000^\circ \text{K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 535 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{прев}} = 1374^\circ \text{K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 545 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{прев}} = 1410^\circ \text{K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 430 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{пл}} = 1517^\circ \text{K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 3500 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 2368^\circ \text{K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{всп}} = 53\,700 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (α) (298 — 1000° K)

$$C_p = 5,70 + 3,38 \times 10^{-3}T - 0,37 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1\,974 + 5,70T + 1,69 \times 10^{-3}T^2 + 0,37 \times 10^5 T^{-1}$$

$$F_T - H_{298} = -1\,974 - 5,70T \ln T - 1,69 \times 10^{-3}T^2 + 0,18 \times 10^5 T^{-1} + 31,74T$$

Интервал II (β) (1000 — 1374° K)

$$C_p = 8,33 + 0,66 \times 10^{-3}T$$

$$H_T - H_{298} = -2\,675 + 8,33T + 0,33 \times 10^{-3}T^2$$

$$F_T - H_{298} = -2\,675 - 8,33T \ln T - 0,33 \times 10^{-3}T^2 + 49,27T$$

Интервал III (γ) (1374 — 1410° K)

$$C_p = 10,70$$

$$H_T - H_{298} = -4\,760 + 10,70T$$

$$F_T - H_{298} = -4\,760 - 10,70T \ln T + 67,5T$$

Интервал IV (δ) (1410 — 1517° K)

$$C_p = 11,30 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1517 + 11,30T$$

$$F_T - H_{298} = -1517 - 11,30T \ln T + 69,7T$$

Интервал V (ж) (1517 — 2368° К)

$$C_p = 11,0$$

$$H_T - H_{298} = -1220 + 11,0T$$

$$F_T - H_{298} = -1220 - 11,0T \ln T + 67,2T$$

Интервал VI (г) (2368 — 5000° К)

$$C_p = 6,26 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = 63\,710 + 6,26T$$

$$F_T - H_{298} = 63\,710 - 6,26T \ln T + 4,26T$$

$T^\circ, \text{ К}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	7,59	7,59
400	690	9,58	7,85
500	1 385	11,13	8,36
600	2 210	12,47	8,78
700	2 895	13,66	9,53
800	3 715	14,75	10,12
900	4 570	15,76	10,67
1 000	5 450	16,69	11,24
1 100	6 890	18,09	11,82
1 200	7 795	18,87	12,37
1 300	8 715	19,61	12,91
1 400	10 220	20,72	13,56
1 500	11 780	21,80	13,95
1 600	16 380	24,82	14,58
1 700	17 480	25,49	15,21
1 800	18 580	26,12	15,80
1 900	19 680	26,71	16,35
2 000	20 780	27,28	16,89
2 500	79 190	52,09	20,41

Закись марганца

MnO (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -92\,050 \text{ кал/моль [124]}$$

$$S_{298} = 14,27 \text{ э. е. [135]}$$

$$T_{пл} = 2058^\circ \text{ К [94]}$$

$$\Delta H_{пл} = 13\,000 \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 3400^\circ \text{ К [8]}$$

Интервал I (тв) (298 — 1800° К)

$$C_p = 11,11 + 1,94 \times 10^{-3}T - 0,88 \times 10^5 T^{-1} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -3690 + 11,11T + 0,97 \times 10^{-3}T^2 + 0,88 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $Mn + 1/2 O_2 \rightarrow MnO$

Интервал I (298 — 1000° К)

$$\Delta C_p = 1,83 - 1,94 \times 10^{-3}T - 0,31 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -92600 + 1,83T - 0,97 \times 10^{-3}T^2 + 0,31 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -92\,600 - 1,83T \ln T + 0,97 \times 10^{-3}T^2 + 0,15 \times 10^5 T^{-1} + 29,6T$$

Интервал II (1000 — 1374° К)

$$\Delta C_p = -0,80 + 0,78 \times 10^{-3}T - 0,68 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -92\,950 - 0,80T + 0,39 \times 10^{-3}T^2 + 0,68 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -92\,950 + 0,80T \ln T - 0,39 \times 10^{-3}T^2 + 0,34 \times 10^3 T^{-1} + 13,15T$$

Интервал III (1374 — 1410° К)

$$\Delta C_p = -3,17 + 1,44 \times 10^{-3}T - 0,68 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -89\,800 - 3,17T + 0,72 \times 10^{-3}T^2 + 0,68 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -89\,800 + 3,17T \ln T - 0,72 \times 10^{-3}T^2 + 0,34 \times 10^5 T^{-1} - 5,97T$$

Интервал IV (1410 — 1517° К)

$$\Delta C_p = -3,77 + 1,44 \times 10^{-3}T - 0,68 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -89\,480 - 3,77T + 0,72 \times 10^{-3}T^2 + 0,68 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -89\,480 + 3,77T \ln T - 0,72 \times 10^{-3}T^2 + 0,34 \times 10^5 T^{-1} - 10,63T$$

Интервал V (1517 — 1800° K)

$$\Delta C_p = -3,47 + 1,44 \times 10^{-3}T - 0,68 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -93\,400 - 3,47T + 0,72 \times 10^{-3}T^2 + 0,68 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -93\,400 + 3,47T \ln T - 0,72 \times 10^{-3}T^2 + 0,34 \times 10^5 T^{-1} - 5,79T$$

$T, ^\circ K$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	14,27	-92 050	-86 750
400	1 130	17,53	-92 000	-84 950
500	2 280	20,09	-91 900	-83 200
600	3 470	22,26	-91 900	-81 550
700	4 680	24,13	-91 750	-79 700
800	5 900	25,76	-91 750	-78 000
900	7 150	27,23	-91 750	-76 300
1 000	8 430	28,54	-91 800	-74 550
1 100	8 750	29,83	-93 300	-72 750
1 200	11 100	31,01	-92 250	-71 000
1 300	12 470	32,01	-92 250	-69 100
1 400	13 840	33,12	-92 800	-67 450
1 500	15 210	34,07	-93 450	-65 600
1 600	16 590	34,96	-97 050	-63 500
1 700	17 970	35,79	-97 250	-61 450
1 800	19 350	36,58	-97 400	-59 450

Закись-окись марганца

Mn_3O_4 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -331\,400 \text{ кал/моль [115]}$$

$$S_{298} = 35,5 \text{ э. е [83]}$$

$$T_{\text{прев}} = 1445^\circ \text{ K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 1970 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 1863^\circ \text{ K [8]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (39\,000) \text{ кал/моль [42]}$$

Интервал I (α) (298 — 1445° K)

$$C_p = 34,64 + 10,82 \times 10^{-3}T - 2,20 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -11\,550 + 34,64T + 5,41 \times 10^{-3}T^2 + 2,20 \times 10^5 T^{-1}$$

Интервал II (β) (1445 — 1800° K)

$$C_p = 50,20 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -17\,600 + 50,20T$$

Реакция образования: $3Mn + 2O_2 \rightarrow Mn_3O_4$

Интервал I (298 — 1000° K)

$$\Delta C_p = 3,22 - 1,32 \times 10^{-3}T - 0,29 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -332\,400 + 3,22T - 0,66 \times 10^{-3}T^2 + 0,29 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -332\,400 - 3,22T \ln T + 0,66 \times 10^{-3}T^2 + 0,15 \times 10^5 T^{-1} + 106,75T$$

Интервал II (1000 — 1374° K)

$$\Delta C_p = -4,67 + 6,84 \times 10^{-3}T - 1,40 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -330\,600 - 4,67T + 3,42 \times 10^{-3}T^2 + 1,40 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -330\,600 + 4,67T \ln T - 3,42 \times 10^{-3}T^2 + 0,70 \times 10^5 T^{-1} + 54,40T$$

Интервал III (1374 — 1410° K)

$$\Delta C_p = -11,78 + 8,82 \times 10^{-3}T - 1,40 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -324\,130 - 11,78T + 4,41 \times 10^{-3}T^2 + 1,40 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -324\,130 + 11,78T \ln T - 4,41 \times 10^{-3}T^2 + 0,70 \times 10^5 T^{-1} - 0,14T$$

Интервал IV (1410 — 1445° K)

$$\Delta C_p = -13,58 + 8,82 \times 10^{-3}T - 1,40 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -321\,600 - 13,58T + 4,41 \times 10^{-3}T^2 + 1,40 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -321\,600 + 13,58T \ln T - 4,41 \times 10^{-3}T^2 + 0,70 \times 10^5 T^{-1} - 15,43T$$

Интервал V (1445 — 1517° K)

$$\Delta C_p = 2,0 - 2,00 \times 10^{-3}T + 0,80 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -329\,100 + 2,07T - 1,00 \times 10^{-3}T^2 - 0,80 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -329\,100 - 2,07 \ln T + 1,00 \times 10^{-3}T^2 - 0,40 \times 10^5 T^{-1} + 95,46T$$

Интервал VI (1517—1800° K)

$$\Delta C_p = 2,88 - 2,00 \times 10^{-3}T + 0,80 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -340\,700 + 2,88T - 1,00 \times 10^{-3}T^2 - 0,80 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -340\,700 - 2,88T \ln T + 1,00 \times 10^{-3}T^2 - 0,40 \times 10^5 T^{-1} + 109,88T$$

$T, ^\circ K$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	35,5	-331 400	-308 100
400	3 730	46,25	-331 200	-297 300
500	7 590	54,86	-330 900	-288 850
600	11 590	62,15	-330 850	-280 800
700	15 740	68,54	-330 300	-272 200
800	19 980	74,20	-330 150	-263 900
900	24 250	79,23	-330 050	-255 600
1 000	28 570	83,78	-330 050	-247 350
1 100	33 020	88,02	-331 450	-238 750
1 200	37 650	92,05	-331 200	-230 400
1 300	42 510	95,93	-330 800	-221 950
1 400	47 620	99,72	-331 900	-213 650
1 500	57 690	106,68	-328 400	-205 300
1 600	62 710	109,92	-338 600	-196 250
1 700	67 730	112,96	-338 800	-187 600
1 800	72 750	115,84	-338 850	-179 100

Оксид марганца

 Mn_2O_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -229\,200 \text{ кал/моль [8]}$$

$$S_{298} = 26,4 \text{ э. е. [9]}$$

Температура разложения 1620° K [42]

Интервал I (тв) (298—1350° K)

$$C_p = 24,73 + 8,38 \times 10^{-3}T - 3,23 \times 10^5 T^{-2} [106]$$

$$H_T - H_{298} = -8830 + 24,73T + 4,19 \times 10^{-3}T^2 + 3,23 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $2Mn + \frac{3}{2}O_2 \rightarrow Mn_2O_3$

Интервал I (298—1000° K)

$$\Delta C_p = 2,59 + 0,12 \times 10^{-3}T - 1,89 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -230\,600 + 2,59T + 0,06 \times 10^{-3}T^2 + 1,89 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -230\,600 - 2,59T \ln T - 0,06 \times 10^{-3}T^2 + 0,94 \times 10^5 T^{-1} + 80,7T$$

Интервал II (1000—1350° K)

$$\Delta C_p = -2,67 + 5,56 \times 10^{-3}T - 2,63 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -229\,210 - 2,67T + 2,78 \times 10^{-3}T^2 + 2,63 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -229\,210 + 2,67T \ln T - 2,78 \times 10^{-3}T^2 + 1,31 \times 10^5 T^{-1} + 50,84T$$

$T, ^\circ K$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	26,4	-229 200	-210 650
300	2 550	33,73	-229 200	-204 350
400	5 220	39,68	-228 900	-198 050
500	8 040	44,82	-228 900	-192 150
600	10 990	49,37	-228 500	-185 850
700	14 040	53,44	-228 300	-179 800
800	17 190	57,15	-228 050	-173 900
900	20 420	60,55	-227 800	-167 650
1 000	23 740	63,71	-228 550	-161 450
1 100	27 150	66,68	-228 200	-155 450
1 200	30 650	69,48	-227 900	-149 450
1 300	—	—	(-228 700)	(-143 400)
1 400	—	—	(-229 500)	(-137 300)
1 500	—	—	(-236 300)	(-130 700)

Двуокис марганца

 MnO_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -124\,450 \text{ кал/моль [24]}$$

$$S_{298} = 12,68 \text{ э. е. [83]}$$

Температура разложения 1120° K [8]

Интервал I (тв) (298—800° K)

$$C_p = 16,60 - 2,44 \times 10^{-3}T - 3,88 \times 10^5 T^{-2} [82]$$

$$H_T - H_{298} = -6360 + 16,60T + 1,22 \times 10^{-3}T^2 + 3,88 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $Mn + O_2 \rightarrow MnO_2$

Интервал I (298 — 800° К)

$$\Delta C_p = 3,74 - 1,94 \times 10^{-3}T - 3,11 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -126\,620 + 3,74T -$$

$$-0,97 \times 10^{-3}T^2 + 3,11 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -126\,620 - 3,74T \ln T +$$

$$+ 0,97 \times 10^{-3}T^2 + 1,55 \times 10^5 T^{-1} + 70,21T$$

$T, ^\circ K$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	12,68	-124 450	-111 350
400	1 450	16,84	-124 400	-106 900
500	3 020	20,35	-124 350	-102 600
600	4 690	23,38	-124 200	-98 250
700	6 410	26,04	-124 000	-93 900
800	8 190	28,41	-123 850	-89 650
900	(10 000)	—	(-123 700)	(-85 350)
1 000	(11 850)	—	(-123 550)	(-81 150)
1 100	(13 730)	—	(-123 200)	(-77 000)

Двуфтористый марганец

MnF_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -190\,000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = 22,3 \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{пл} = 1129^\circ \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{пл} = (5500) \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = (2300^\circ \text{ К [6]})$$

$$\Delta H_{исп} = (57\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $Mn + F_2 \rightarrow MnF_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ K$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-190 000	-180 000
500	(3 500)	(-189 500)	(-173 000)
1 000	(13 000)	(-188 300)	(-157 000)
1 500	(30 000)	(-182 000)	(-146 500)

Трехфтористый марганец

MnF_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -238\,000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (28) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{пл} = (1350^\circ \text{ К [6]})$$

$$\Delta H_{пл} = (11000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = (1600^\circ \text{ К [6]})$$

$$\Delta H_{исп} = (42\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $Mn + 3/2 F_2 \rightarrow MnF_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ K$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-238 000	(-222 200)
500	(5 000)	(-236 800)	(-210 500)
1 000	—	—	(-191 000)

Двухлористый марганец

$MnCl_2$ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -115\,190 \text{ кал/моль [92]}$$

$$S_{298} = 28 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{пл} = 923^\circ \text{ К [82]}$$

$$\Delta H_{пл} = 8970 \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 1463^\circ \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{исп} = 29\,600 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 923° К)

$$C_p = 18,04 + 3,16 \times$$

$$\times 10^{-3}T - 1,37 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -6000 + 18,04T +$$

$$+ 1,58 \times 10^{-3}T^2 + 1,37 \times 10^5 T^{-1}$$

Интервал II (ж) (923 — 1200° К)

$$C_p = 22,60 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = +280 + 22,60T$$

Реакция образования: $Mn + Cl_2 \rightarrow MnCl_2$

Интервал I (298 — 923° К)

$$\Delta C_p = 3,52 - 0,28 \times 10^{-3}T - 0,32 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -116\,350 + 3,52T -$$

$$-0,14 \times 10^{-3}T^2 + 0,32 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -116\,350 - 3,52T \ln T +$$

$$+ 0,14 \times 10^{-3}T^2 + 0,16 \times 10^5 T^{-1} + 58,5T$$

Интервал II (923 — 1000° K)

$$\Delta C_p = 8,08 - 3,44 \times 10^{-3}T + 1,05 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -110\,100 + 8,08T -$$

$$-1,72 \times 10^{-3}T^2 - 1,05 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -110\,100 - 8,08T \ln T +$$

$$+1,72 \times 10^{-3}T^2 - 0,52 \times 10^5 T^{-1} + 79,81T$$

Интервал III (1000 — 1200° K)

$$\Delta C_p = 5,45 - 0,72 \times 10^{-3}T + 0,68 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -109\,280 + 5,45T -$$

$$-0,36 \times 10^{-3}T^2 - 0,68 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -109\,280 - 5,45T \ln T +$$

$$+0,36 \times 10^{-3}T^2 - 0,34 \times 10^5 T^{-1} + 62,33T$$

$T, ^\circ K$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	28,0	-115 190	-105 100
400	1 850	33,33	-114 900	-102 050
500	3 730	37,52	-114 550	-98 850
600	5 640	41,0	-114 300	-95 850
700	7 590	44,01	-113 900	-92 750
800	9 600	46,69	-113 600	-89 650
900	11 680	49,14	-113 250	-86 800
1 000	22 880	61,21	-103 850	-84 500
1 100	25 140	63,36	-103 750	-82 550
1 200	27 400	65,33	-103 400	-80 750
1 300	(29 400)	(67,2)	(-103 150)	(-79 150)
1 400	(31 650)	(68,8)	(-102 400)	(-76 250)

Треххлористый марганец

MnCl₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -110\,000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (39) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{кип}} = (900^\circ \text{ K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (21\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Mn} + \frac{3}{2}\text{Cl}_2 \rightarrow \text{MnCl}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ K$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-110 000	(-95 400)
500	(5 000)	(-108 900)	(-85 500)

Двубромистый марганец

MnBr₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -88\,700 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (32) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 971^\circ \text{ K} [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (7000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1300^\circ \text{ K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (27\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Mn} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{MnBr}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ K$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-88 700	(-85 100)
500	(4 000)	(-95 600)	(-79 000)
1 000	(23 000)	(-85 100)	(-64 000)
1 500	(62 000)	(-57 000)	(-54 000)

Двуйодистый марганец

MnJ₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -57\,100 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (35) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 911^\circ \text{ K} [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (6500) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1100^\circ \text{ K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (23\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Mn} + \text{J}_2 \rightarrow \text{MnJ}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ K$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-57 100	(-57 000)
500	(4 000)	(-69 100)	(-54 500)
1 000	(23 000)	(-60 700)	(-40 000)
1 500	(58 000)	(-36 500)	(-30 000)

Карбид марганца

Mn₃C (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -3600 \text{ кал/моль [89]}$$

$$S_{298} = 23,7 \text{ э. е. [81]}$$

$$T_{\text{прев}} = 1310^\circ \text{K} [82]$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 3570 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 1480^\circ \text{K} [9]$$

Интервал (α) (298 — 1310° K)

$$C_p = 25,26 + 5,60 \times 10^{-3}T - 4,07 \times 10^5 T^{-2} [82]$$

$$H_T - H_{298} = -9145 + 25,26T + 2,80 \times 10^{-3}T^2 + 4,07 \times 10^5 T^{-1}$$

Интервал II (β) (1310 — 1480° K)

$$C_p = 38,00 [82]$$

$$H_T - H_{298} = -17150 + 38,00T$$

Реакция образования: $3\text{Mn} + \text{C} \rightarrow \text{Mn}_3\text{C}$

Интервал I (298 — 1000° K)

$$\Delta C_p = 4,06 - 5,56 \times 10^{-3}T - 0,86 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -4840 + 4,06T - 2,78 \times 10^{-3}T^2 + 0,86 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -4840 - 4,06T \ln T + 2,78 \times 10^{-3}T^2 + 0,43 \times 10^5 T^{-1} + 26,42T$$

Интервал II (1000 — 1310° K)

$$\Delta C_p = -3,83 + 2,60 \times 10^{-3}T - 2,0 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -2740 - 3,83T + 1,30 \times 10^{-3}T^2 + 2,0 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -2740 + 3,83T \ln T - 1,30 \times 10^{-3}T^2 + 1,0 \times 10^5 T^{-1} - 26,15T$$

Интервал III (1310—1374° K)

$$\Delta C_p = 9,0 - 3,00 \times 10^{-3}T + 2,10 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -12600 + 9,0T - 1,50 \times 10^{-3}T^2 + 2,10 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -12600 - 9,0T \ln T + 1,50 \times 10^{-3}T^2 - 1,05 \times 10^5 T^{-1} + 69,4T$$

Интервал IV (1374 — 1410° K)

$$\Delta C_p = 1,8 - 1,02 \times 10^{-3}T + 2,10 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -4550 + 1,8T -$$

$$-0,51 \times 10^{-3}T^2 - 2,10 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -4550 - 1,8T \ln T +$$

$$+0,51 \times 10^{-3}T^2 - 1,05 \times 10^5 T^{-1} + 13,4T$$

Интервал V (1410 — 1480° K)

$$\Delta C_p = -1,02 \times 10^{-3}T + 2,10 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta H_T = -3300 + 0,51 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 2,10 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -3300 + 0,51 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 1,05 \times 10^5 T^{-1} - 0,65T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	23,7	-3 600	-3 500
400	2 450	30,75	-3 450	-3 450
500	5 020	36,48	-3 300	-3 450
600	7 700	41,37	-3 500	-3 600
700	10 490	45,66	-3 150	-3 600
800	13 350	49,48	-3 200	-3 600
900	16 300	52,95	-3 300	-3 600
1 000	19 320	56,14	-3 450	-3 600
1 100	22 400	59,07	-5 200	-3 600
1 200	25 540	61,8	-5 300	-3 400
1 300	28 740	64,36	-5 400	-3 250
1 400	36 050	69,86	-3 150	-3 200
1 500	39 850	72,48	-4 600	-3 200

Нитрид марганца

Mn_4N (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -30300 \text{ кал/моль} [97]$$

Интервал I (тв) (298 — 800° K)

$$C_p = 21,15 + 30,50 \times 10^{-3}T [82]$$

$$H_T - H_{298} = -7661 + 21,15T + 15,25 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $4\text{Mn} + 1/2\text{N}_2 \rightarrow \text{Mn}_4\text{N}$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0
298	—	—	—30 300
400	3 250	9,36	—30 150
500	6 720	17,10	—29 800
600	10 520	24,02	—29 700
700	14 640	30,35	—28 700
800	19 000	36,17	—27 950

Нитрид марганца

Mn₅N₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -48\,200 \text{ кал/моль [9]}$$

$$S_{298} = 47,3 \text{ э. е. [9]}$$

Интервал I (тв) (298 — 800° K)

$$C_p = 30,55 + 38,40 \times 10^{-3} T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -10\,800 + 30,55T + 19,20 \times 10^{-3} T^2$$

Реакция образования: 5Mn + N₂ → Mn₅N₂

Интервал I (298 — 800° K)

$$\Delta C_p = -4,61 + 20,48 \times 10^{-3} T + 1,85 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -56\,800 - 4,61T + 10,24 \times 10^{-3} T^2 - 1,85 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -56\,800 + 4,61T \ln T - 10,24 \times 10^{-3} T^2 - 0,92 \times 10^5 T^{-1} + 10,67T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	47,3	—48 200	—37 350
400	4 480	60,2	—47 900	—33 700
500	9 240	70,81	—47 300	—30 200
600	14 460	80,32	—46 900	—27 250
700	20 040	88,91	—45 500	—23 650
800	25 840	97,65	—44 100	—20 600

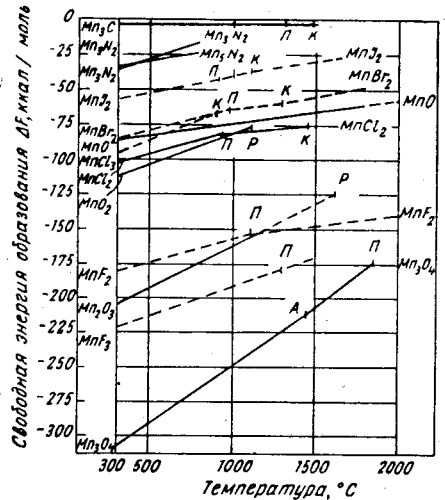


Рис. 32. Марганец

Нитрид марганца

Mn₃N₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -45\,800 \text{ кал/моль [9]}$$

$$S_{298} = 32,7 \text{ э. е. [9]}$$

Интервал I (тв) (298—800° K)

$$C_p = 22,32 + 22,40 \times 10^{-3} T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -7650 + 22,32T + 11,20 \times 10^{-3} T^2$$

Реакция образования: 3Mn + N₂ → Mn₃N₂

Интервал I (298 — 800° K)

$$\Delta C_p = -1,44 + 11,24 \times 10^{-3} T + 1,11 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -45\,500 + 1,44T + 5,62 \times 10^{-3} T^2 - 1,11 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -45\,500 + 1,44T \ln T - 5,62 \times 10^{-3} T^2 - 0,55 \times 10^5 T^{-1} + 28,86T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	32,7	—45 800	—35 150
400	3 070	41,55	—45 500	—31 500
500	6 300	48,75	—45 050	—28 050
600	9 750	55,03	—44 800	—24 950
700	13 470	60,76	—43 900	—21 500
800	17 350	65,94	—43 200	—18 300

Ртуть и ее соединения

Элемент

Hg (ж)

$$S_{298} = 18,19 \text{ э. е. [130]}$$

$$T_{пл} = 234,29^\circ \text{ К [130]}$$

$$\Delta H_{пл} = 549 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{кип} = 629,88^\circ \text{ К [130]}$$

$$\Delta H_{исп} = 14\,137 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (ж) (298 — 630° К)

$$C_p = 6,61 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1971 + 6,61T$$

$$F_T - H_{298} = -1971 - 6,61T \ln T + 26,08T$$

Интервал II (г) (630 — 3000° К)

$$C_p = 4,969 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = 13\,055 + 4,969T$$

$$F_T - H_{298} = 13\,055 - 4,969T \ln T - 8,21T$$

T, °К	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	18,19	18,19
400	673	20,13	18,45
500	1 335	21,61	18,94
600	1 995	22,81	19,48
700	16 535	45,73	22,10
800	17 030	46,39	25,10
900	17 525	46,97	27,50
1 000	18 025	47,50	29,47
1 100	18 521	47,97	31,13
1 200	19 020	48,41	32,56
1 300	19 515	48,81	34,57
1 400	20 010	49,18	35,19
1 500	20 509	49,52	35,85
1 600	21 005	49,84	36,71
1 700	21 502	50,14	37,49
1 800	22 000	50,43	38,21
1 900	22 496	50,70	38,86
2 000	22 995	50,95	39,45

Закись ртути

Hg₂O (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -21\,800 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = (3,14) \text{ э. е. [24]}$$

Реакция образования: $2\text{Hg} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{Hg}_2\text{O}$

Расчетные данные [24]

9 Зак. 1168

T, °К	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-21 800	(-13 000)
400	(2 000)	(-21 500)	(-10 000)
500	(3 700)	(-21 500)	(-7 000)
600	(5 900)	(-21 000)	(-4 000)
700	(7 350)	(-49 000)	(2 000)
800	(9 750)	(-48 000)	(9 000)
900	(11 650)	(-47 500)	(16 000)
1 000	(13 550)	(-47 000)	(23 000)

Оксид ртути

HgO (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -21\,680 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 17,2 \text{ э. е. [112]}$$

Реакция образования: $\text{Hg} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{HgO}$

Расчетные данные [24]

T, К°	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-21 680	-14 000
400	(1 150)	(-21 550)	(-11 350)
500	(2 380)	(-21 350)	(-8 850)
600	(3 660)	(-21 100)	(-6 350)
700	(4 870)	(-34 850)	(-2 400)
800	(6 250)	(-34 350)	(+2 250)
900	(7 700)	(-33 800)	(+6 800)
1 000	(9 200)	(-33 200)	(+11 250)
1 100	(10 700)	(-32 600)	(+15 650)
1 200	(12 300)	(-31 900)	(+20 050)
1 300	(14 050)	(-31 150)	(+24 350)
1 400	(15 680)	(-30 350)	(+28 600)
1 500	(17 490)	(-29 550)	(+32 750)

Однофтористая ртуть

HgF (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -46\,000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = 22 \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{пл} = 843^\circ \text{ К [6]}$$

Распадается на $\text{Hg} + \text{HgF}_2$ [6]

Реакция образования: $\text{Hg} + \frac{1}{2}\text{F}_2 \rightarrow \text{HgF}$

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298 500	— (3 000)	-46 000 (-45 000)	-40 000 (-35 000)

Двуфтористая ртуть Hg_2F_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -95000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (28) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 918^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (5500) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 920^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (22 000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Hg} + \text{F}_2 \rightarrow \text{HgF}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298 500	— (4 000)	-95 000 (-94 000)	(-83 000) (-75 000)

Однохлористая ртуть HgCl (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -31 600 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = 23,5 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 816^\circ \text{K [6]}$$

Распадается на $\text{Hg} + \text{HgCl}_2$

Интервал I (тв) (298 — 800° K)

$$C_p = 11,05 + 3,70 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -3457 + 11,05T + 1,85 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $\text{Hg} + 1/2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{HgCl}$

Интервал I (298 — 630° K)

$$\Delta C_p = + 0,03 + 3,67 \times 10^{-3}T + 0,34 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -31 050 + 0,03T +$$

$$+ 1,83 \times 10^{-3}T^2 - 0,34 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -31 650 - 0,03T \ln T -$$

$$- 1,83 \times 10^{-3}T^2 - 0,17 \times 10^5 T^{-1} + 22,44T$$

Интервал II (630 — 800° K)

$$\Delta C_p = 1,67 + 3,67 \times 10^{-3}T + 0,34 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -46 670 + 1,67T +$$

$$+ 1,83 \times 10^{-3}T^2 - 0,34 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -46 670 - 1,67T \ln T -$$

$$- 1,83 \times 10^{-3}T^2 - 0,17 \times 10^5 T^{-1} + 56,73T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	23,5	-31 600	-25 250
400	1 260	27,13	-31 350	-22 950
500	2 530	29,97	-31 250	-21 000
600	3 840	32,36	-31 000	-19 009
700	5 185	34,43	-45 650	-16 550
800	6 565	36,27	-44 200	-11 350

Двухлористая ртуть HgCl_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -53 400 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = 34,5 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 550^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 4150 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 557^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 14 080 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 550° K)

$$C_p = 15,28 + 10,4 \times 10^{-3}T \text{ [110]}$$

$$H_T - H_{298} = -5015 + 15,28T + 5,2 \times 10^{-3}T^2$$

Интервал II (г) (557 — 1000° K)

$$C_p = 14,66 + 0,26 \times$$

$$\times 10^3 T - 0,75 \times 10^5 T^{-2} \text{ [110]}$$

$$H_T - H_{298} = 15 220 + 14,66T +$$

$$+ 0,13 \times 10^{-3}T^2 + 0,75 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $\text{Hg} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{HgCl}_2$

Интервал I (298 — 550° K)

$$\Delta C_p = -0,15 + 10,34 \times$$

$$\times 10^{-3}T + 0,68 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -53 600 - 0,15T +$$

$$+ 5,17 \times 10^{-3}T^2 - 0,68 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -53\,600 + 0,15T \ln T - 5,17 \times 10^{-3}T^2 - 0,34 \times 10^5 T^{-1} + 38,70T$$

Интервал II (557 — 630° К)

$$\Delta C_p = -0,77 + 0,2 \times 10^{-3}T - 0,07 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -33\,335 - 0,77T +$$

$$+ 0,10 \times 10^{-3}T^2 + 0,07 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -33\,335 + 0,77T \ln T -$$

$$- 0,10 \times 10^{-3}T^2 + 0,035 \times 10^5 T^{-1} - 4,88T$$

Интервал III (630 — 1000° К)

$$\Delta C_p = 0,87 + 0,20 \times 10^{-3}T - 0,07 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -48\,350 + 0,87T +$$

$$+ 0,10 \times 10^{-3}T^2 + 0,07 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -48\,350 - 0,87T \ln T -$$

$$- 0,10 \times 10^{-3}T^2 + 0,035 \times 10^5 T^{-1} + 29,45T$$

$T, \text{°K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	34,5	-53 400	-42 370
400	1 825	40,05	-53 100	-38 700
500	3 825	44,51	-52 600	-35 200
600	24 190	81,41	-33 750	-33 350
700	25 650	83,67	-47 500	-31 650
800	27 125	85,64	-47 600	-29 500
900	28 600	87,37	-47 500	-27 350
1 000	30 085	88,94	-47 400	-25 000

Однобромистая ртуть

HgBr (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -24\,470 \text{ кал/моль [83]}$$

$$S_{298} = 26,7 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 680^\circ \text{ К [6]}$$

Распадается на Hg + HgBr₂

Расчетные данные [11]

$T, \text{°K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-24 470	-21 200
500	(3 000)	(-27 450)	(-16 600)

Двубромистая ртуть

HgBr₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -40\,500 \text{ кал/моль [106]}$$

$$S_{298} = 38,9 \text{ э. е. [80]}$$

$$T_{\text{пл}} = 514^\circ \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 3960 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 592^\circ \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 14\,080 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: Hg + Br₂ → HgBr₂

Расчетные данные [11]

$T, \text{°K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-40 500	-35 900
500	(4 000)	(-47 350)	(-34 000)

Одноидристая ртуть

HgJ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -14\,455 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 28,6 \text{ э. е. [112]}$$

$$T_{\text{пл}} = 563^\circ \text{ К [6]}$$

Распадается на Hg + HgJ₂

Интервал I (тв) (298 — 563° К)

$$C_p = 11,40 + 4,61 \times 10^{-3}T \text{ [110]}$$

$$H_T - H_{298} = -3600 + 11,40T + 2,30 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: Hg + 1/2 J₂ → HgJ

Интервал I (298 — 386,8° К)

$$\Delta C_p = -1,34 \times 10^{-3}T$$

$$\Delta H_T = -14\,400 - 0,67 \times 10^{-3}T^2$$

$$\Delta F_T = -14\,400 + 0,67 \times 10^{-3}T^2 + 8,14T$$

Интервал II (386,8 — 456° К)

$$\Delta C_p = -4,81 + 4,61 \times 10^{-3}T$$

$$\Delta H_T = -14\,910 - 4,81T + 2,30 \times 10^{-3}T^2$$

$$\Delta F_T = -14\,910 + 4,81T \ln T -$$

$$- 2,30 \times 10^{-3}T^2 - 23,16T$$

Интервал III (456 — 563° К)

$$\Delta C_p = 0,35 + 4,61 \times 10^{-3}T$$

$$\Delta H_T = -22\,200 + 0,35T + 2,30 \times 10^{-3}T^2$$

$$\Delta F_T = -22\,200 - 0,35T \ln T -$$

$$- 2,30 \times 10^{-3}T^2 + 13,52T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	28,6	-14 450	-11 900
400	1 328	32,42	-16 450	-13 000
500	2 675	35,43	-21 450	-17 100

Двуйодистая ртуть

 HgJ_2 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -25200 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 40,8 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{прев}} = 403^\circ \text{K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 650 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 523^\circ \text{K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 4500 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 627^\circ \text{K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 14263 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (α) (298 — 403° K)

$$C_p = 18,50 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -5516 + 18,50T$$

Интервал II (β) (403 — 523° K)

$$C_p = 20,20 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = 5550 + 20,20T$$

Интервал III (ж) (523 — 627° K)

$$C_p = 25,0 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = 3560 + 25,0T$$

Интервал IV (γ) (627 — 1000° K)

$$C_p = 14,90 - 0,27 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = 16993 + 14,90T + 0,27 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $\text{Hg} + \text{J}_2 \rightarrow \text{HgJ}_2$

Интервал I (298 — 386° K)

$$\Delta C_p = 2,30 - 11,90 \times 10^{-3} T$$

$$\Delta H_T = -25357 + 2,30T - 5,95 \times 10^{-3} T^2$$

$$\Delta F_T = -25357 - 2,30T \ln T +$$

$$+ 5,95 \times 10^{-3} T^2 + 17,14T$$

Интервал II (386,1 — 403° K)

$$\Delta C_p = -7,31$$

$$\Delta H_T = -26300 - 7,31T$$

$$\Delta F_T = -26300 + 7,31T \ln T - 35,41T$$

Интервал III (456 — 523° K)

$$\Delta C_p = 4,7$$

$$\Delta H_T = -41000 + 4,7T$$

$$\Delta F_T = -41000 - 4,7T \ln T + 70,22T$$

Интервал IV (523 — 627° K)

$$\Delta C_p = 9,5$$

$$\Delta H_T = -39015 + 9,5T$$

$$\Delta F_T = -39015 - 9,5T \ln T + 96,45T$$

Интервал V (630 — 1000° K)

$$\Delta C_p = 1,04 - 0,27 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -33500 + 1,04T + 0,27 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -33500 - 1,04T \ln T +$$

$$+ 0,135 \times 10^5 T^{-1} + 32,88T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	40,8	-25 200	-23 600
400	1 885	46,28	-29 200	-22 950
500	4 550	52,35	-38 650	-20 500
600	11 440	65,3	-33 300	-17 600
700	27 460	90,78	-32 700	-15 200
800	28 950	92,76	-32 600	-12 750
900	30 430	94,50	-32 500	-10 250
1000	31 920	96,08	-32 400	-7 800

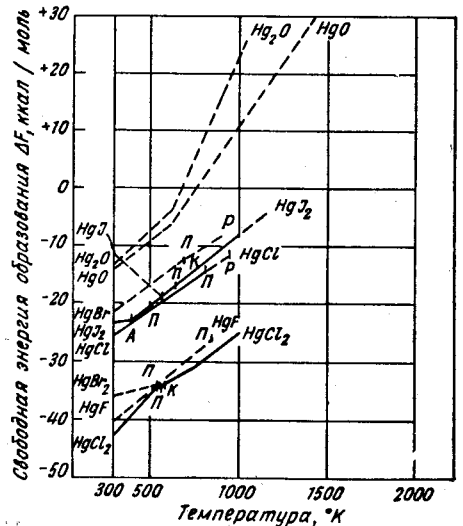


Рис. 33. Ртуть

Молибден и его соединения

Элемент

Mo (ТВ)

$$S_{298} = 6,83 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 2883^\circ \text{ К [112]}$$

Интервал I (ТВ) (298 — 1800° К)

$$C_p = 5,48 + 1,30 \times 10^{-3} T$$

$$H_T - H_{298} = -1690 + 5,48T + 0,65 \times 10^{-3} T^2$$

$$F_T - H_{298} = -1690 - 5,48T \ln T -$$

$$-0,65 \times 10^{-3} T^2 + 30,24T$$

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	6,83	6,83
400	610	8,59	7,06
500	1 215	9,95	7,52
600	1 830	11,07	8,02
700	2 460	12,04	8,53
800	3 105	12,90	9,00
900	3 765	13,68	9,48
1 000	4 440	14,39	9,95
1 100	5 125	15,04	10,36
1 200	5 825	15,65	10,80
1 300	6 530	16,21	11,19
1 400	7 250	16,74	11,53
1 500	7 985	17,25	11,91
1 600	8 740	17,74	12,29
1 700	9 510	18,21	12,64
1 800	10 300	18,66	12,96
1 900	(11 075)	—	(13,27)
2 000	(11 890)	—	(13,65)
2 500	(16 070)	—	(14,86)

Двуокись молибдена

MoO₂ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-131\,000) \text{ кал/моль [8]}$$

$$S_{298} = 11,06 \text{ э. е. [24]}$$

$$T_{\text{пл}} > 2500^\circ \text{ К [42]}$$

Реакция образования: Mo + O₂ → MoO₂

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-131 000)	(-118 300)
400	(4 000)	(-130 500)	(-115 000)
500	(5 800)	(-130 500)	(-111 500)
600	(7 900)	(-130 500)	(-108 000)
700	(10 200)	(-130 000)	(-104 500)
800	(12 400)	(-130 000)	(-101 000)
900	(14 600)	(-130 000)	(-97 500)
1 000	(16 900)	(-129 500)	(-94 000)
1 100	(19 100)	(-129 500)	(-91 000)
1 200	(21 300)	(-129 500)	(-87 500)
1 300	(24 000)	(-129 000)	(-84 000)
1 400	(26 800)	(-129 000)	(-80 500)
1 500	(29 500)	(-129 000)	(-77 000)
1 600	(32 500)	(-128 500)	(-73 500)
1 700	(35 300)	(-128 500)	(-70 000)
1 800	(38 100)	(-128 500)	(-67 000)
1 900	(41 200)	(-128 000)	(-63 500)
2 000	(44 400)	(-128 000)	(-60 000)

Трехокись молибдена

MoO₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -180\,330 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 18,08 \text{ э. е. [112]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1068^\circ \text{ К [112]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 12\,540 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1428^\circ \text{ К [112]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 33\,000 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (ТВ) (298 — 1068° К)

$$C_p = 20,07 + 5,90 \times$$

$$\times 10^{-3} T - 3,68 \times 10^5 T^{-2} \text{ [23]}$$

$$H_T - H_{298} = -7480 + 20,07T +$$

$$+ 2,95 \times 10^{-3} T^2 + 3,68 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: Mo + ³/₂O₂ → MoO₃

Интервал I (298 — 1068° К)

$$\Delta C_p = 3,85 + 3,10 \times 10^{-3} T - 3,08 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -182\,600 + 3,85T +$$

$$+ 1,55 \times 10^{-3} T^2 + 3,08 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -182\,000 - 3,85 T \ln T - 1,55 \times 10^{-3} T^2 + 1,54 \times 10^5 T^{-1} + 89,7T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	18,68	-180 330	-162 030
400	1 970	24,77	-180 050	-155 500
500	4 020	28,95	-179 700	-149 700
600	6 270	33,30	-179 200	-143 900
700	8 680	36,76	-178 700	-137 900
800	10 960	41,06	-178 150	-132 250
900	13 430	43,00	-177 550	-126 550
1 000	16 550	45,73	-176 850	-120 900
1 100	(31 070)	—	(-163 700)	(-115 300)
1 200	(33 770)	—	(-162 950)	(-109 500)
1 300	(36 430)	—	(-162 250)	(-105 200)
1 400	(39 310)	—	(-161 350)	(-101 000)
1 500	(75 040)	—	(-127 650)	(-98 000)
2 000	(90 800)	—	(-122 600)	(-90 000)

Шестифтористый молибденMoF₆ (ж)

$$\Delta H_{298}^0 = -405\,000 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = (77) \text{ э. е. [42]}$$

$$T_{\text{пл}} = 290^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 2500 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 309^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 6000 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Mo} + 3\text{F}_2 \rightarrow \text{MoF}_6$

Расчетные данные [42]

$T, ^\circ\text{K}$	ΔF_T^0
298	(-383 000)
500	(-368 000)
1 000	(-332 000)
1 500	(-297 000)
2 000	(-264 000)

Двухлористый молибденMoCl₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-44\,000) \text{ кал/моль [12]}$$

$$S_{298} = (29) \text{ э. е. [12]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1000^\circ \text{K [12]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 6000 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1700^\circ \text{K [12]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 36\,000 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Mo} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{MoCl}_2$

Расчетные данные [12]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-44 000)	(-35 000)
500	(4 000)	(-43 000)	(-29 000)
1 000	(15 000)	(-39 000)	(-16 000)
1 500	(34 000)	(-28 000)	(-8 000)

Трехлористый молибденMoCl₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-65\,000) \text{ кал/моль [12]}$$

$$S_{298} = 37,8 \text{ э. е. [12]}$$

$$T_{\text{возг}} = 1300^\circ \text{K [12]}$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = 52\,000 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Mo} + 3/2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{MoCl}_3$

Расчетные данные [12]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-65 000)	(-50 000)
500	(5 000)	(-64 000)	(-40 000)
1 000	(20 000)	(-58 000)	(-20 000)
1 500	(83 500)	(-5 000)	(-6 000)

Четырехлористый молибденMoCl₄ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-79\,000) \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 47,4 \text{ э. е. [12]}$$

$$T_{\text{возг}} = 595^\circ \text{K}$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = 25\,000 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Mo} + 2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{MoCl}_4$

Расчетные данные [12]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-79 000)	(-60 000)
500	(6 600)	(-77 000)	(-47 000)
1 000	(44 500)	(-51 000)	(-36 000)
1 500	(56 700)	(-51 000)	(-28 000)

Пятихлористый молибденMoCl₅ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-90\,800) \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = (65) \text{ э. е. [94]}$$

$$T_{\text{пл}} = 467^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 540^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (12\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Mo} + 5/2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{MoCl}_5$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-90 800)	(-68 500)
500	(12 000)	(-84 000)	(-56 000)
1 000	(35 000)	(-75 000)	(-31 000)
1 500	(50 000)	(-75 000)	(-10 000)

Шестихлористый молибден

MoCl_6 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-90\,000) \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 72,3 \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{возг}} = 630^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = (19\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Mo} + 3\text{Cl}_2 \rightarrow \text{MoCl}_6$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-90 000)	(-62 000)
500	(9 300)	(-87 000)	(-43 000)
1 000	(45 600)	(-67 000)	(-13 000)
1 500	(62 100)	(-67 000)	(+14 000)

Двубромистый молибден

MoBr_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-28\,500) \text{ кал/моль [12]}$$

$$S_{298} = 34,5 \text{ э. е. [12]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1000^\circ \text{K}) [12]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (6000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1500^\circ \text{K}) [12]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (31\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Mo} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{MoBr}_2$

Расчетные данные [12]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-28 500)	(-26 000)
500	(4 000)	(-35 000)	(-21 000)
1 000	(16 500)	(-30 000)	(- 8 000)
1 500	(36 000)	(-19 000)	(+ 1 000)
2 000	(75 000)	(+12 000)	(+ 4 000)

Трехбромистый молибден

MoBr_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-40\,000) \text{ кал/моль [12]}$$

$$S_{298} = 43,8 \text{ э. е. [12]}$$

$$T_{\text{возг}} = (1250^\circ \text{K}) [12]$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = (50\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Mo} + 3/2\text{Br}_2 \rightarrow \text{MoBr}_3$

Расчетные данные [12]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-40 000)	(-35 000)
500	(5 000)	(-50 000)	(-25 500)
1 000	(19 000)	(-46 000)	(- 3 000)
1 500	(81 000)	(+ 6 000)	(+ 7 000)

Четырехбромистый молибден

MoBr_4 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-45\,300) \text{ кал/моль [12]}$$

$$S_{298} = (59) \text{ э. е. [12]}$$

$$T_{\text{возг}} = 620^\circ \text{K [12]}$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = (26\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Mo} + 2\text{Br}_2 \rightarrow \text{MoBr}_4$

Расчетные данные [12]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-45 300)	(-39 500)
500	(7 300)	(-58 400)	(-28 000)
1 000	(46 300)	(-31 500)	(-17 000)
1 500	(58 800)	(-31 500)	(- 4 000)

Пятибромистый молибден

MoBr_5 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-50\,000) \text{ кал/моль [12]}$$

$$S_{298} = (77) \text{ э. е. [12]}$$

$$T_{\text{пл}} < 500^\circ \text{K [12]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (600^\circ \text{K}) [12]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (14\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Mo} + \frac{5}{2} \text{Br}_2 \rightarrow \text{MoBr}_5$

Расчетные данные [12]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-50 000)	(-43 000)
500	(13 700)	(-61 400)	(-31 000)
1 000	(44 000)	(-45 500)	(-12 000)
1 500	(59 000)	(-45 500)	(+ 4 000)

Двуйодистый молибден

MoJ_2 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-12 000) \text{ кал/моль} [112]$$

$$S_{298} = (36) \text{ э. е.} [12]$$

$$T_{\text{пл}} = (1000^\circ \text{K}) [12]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (6000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1200^\circ \text{K}) [12]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (25 000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Mo} + \text{J}_2 \rightarrow \text{MoJ}_2$

Расчетные данные [12]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-12 000)	(-12 500)
500	(4 000)	(-26 000)	(-11 000)
1 000	(16 500)	(-21 500)	(+ 3 000)
1 500	(57 500)	(+12 000)	(+ 6 000)

Трехйодистый молибден

MoJ_3 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-15 000) \text{ кал/моль} [112]$$

$$S_{298} = (48) \text{ э. е.} [12]$$

$$T_{\text{возг}} = (1200^\circ \text{K}) [12]$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = (48 000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Mo} + \frac{3}{2} \text{J}_2 \rightarrow \text{MoJ}_3$

Расчетные данные [12]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-15 000)	(-15 000)
500	(5 000)	(-36 000)	(-11 000)
1 000	(19 000)	(-32 000)	(+12 000)
1 500	(67 000)	(+18 000)	(+21 000)

Четырехйодистый молибден

MoJ_4 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-18 000) \text{ кал/моль} [112]$$

$$S_{298} = (64) \text{ э. е.} [12].$$

$$T_{\text{возг}} = 695^\circ \text{K} [12]$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = (29 000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Mo} + 2\text{J}_2 \rightarrow \text{MoJ}_4$

Расчетные данные [12]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-18 000)	(-18 500)
500	(6 000)	(-46 000)	(-15 000)
1 000	(50 000)	(-15 000)	(+ 4 000)
1 500	(59 000)	(-15 000)	(+13 000)

Пятийодистый молибден

MoJ_5 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-18 000) \text{ кал/моль} [112]$$

$$S_{298} = 81,5 \text{ э. е.} [12]$$

$$T_{\text{возг}} = 650^\circ \text{K} [12]$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = (26 000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Mo} + \frac{5}{2} \text{J}_2 \rightarrow \text{MoJ}_5$

Расчетные данные [12]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-18 000)	(-19 500)
500	(8 000)	(-52 000)	(-15 000)
1 000	(51 000)	(-24 000)	(+10 000)
1 500	(62 000)	(-24 000)	(+25 000)

Карбид молибдена

Mo_2C (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = 4200 \text{ кал/моль} [9]$$

$$S_{298} = 19,1 \text{ э. е.} [9]$$

$$T_{\text{пл}} = 2965^\circ \text{K} [9]$$

Реакция образования: $2\text{Mo} + \text{C} \rightarrow \text{Mo}_2\text{C}$

Интервал I (300 — 3000°K)

$$\Delta F_T = 4200 - 4,8T [81]$$

$T, ^\circ\text{K}$	ΔF_T^0	$T, ^\circ\text{K}$	ΔF_T^0
298	2 970	1 200	(-1 550)
400	(2 300)	1 300	(-2 050)
500	(1 800)	1 400	(-2 500)
600	(1 300)	1 500	(-3 000)
700	(800)	1 600	(-3 500)
800	(350)	1 700	(-3 950)
900	(-100)	1 800	(-4 450)
1 000	(-600)	1 900	(-4 900)
1 100	(-1 100)	2 000	(-5 400)

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	21,0	-16 600	-11 970
400	1 610	25,64	-16 550	-10 400
500	3 360	29,54	-16 400	- 8 850
600	5 280	33,03	-16 050	- 7 400
700	7 290	36,13	-15 650	- 5 950
800	9 370	38,90	-15 050	- 4 400

Нитрид молибдена
 Mo_2N (тв)

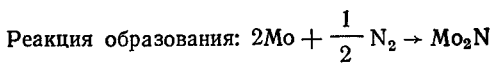
$$\Delta H_{298}^0 = -16\,600 \text{ кал/моль [81]}$$

$$S_{298} = 21 \text{ э. е. [81]}$$

Интервал I (тв) (298 — 800° K)

$$C_p = 11,19 + 13,80 \times 10^{-3} T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -3950 + 11,19T + 6,90 \times 10^{-3} T^2$$



Интервал I (298 — 800° K)

$$\Delta C_p = -3,10 + 10,69 \times 10^{-3} T$$

$$\Delta H_T = -16\,150 - 3,10T + 5,34 \times 10^{-3} T^2$$

$$\Delta F_T = -16\,150 + 3,10T \ln T - 5,34 \times 10^{-3} T^2 - 1,98T$$

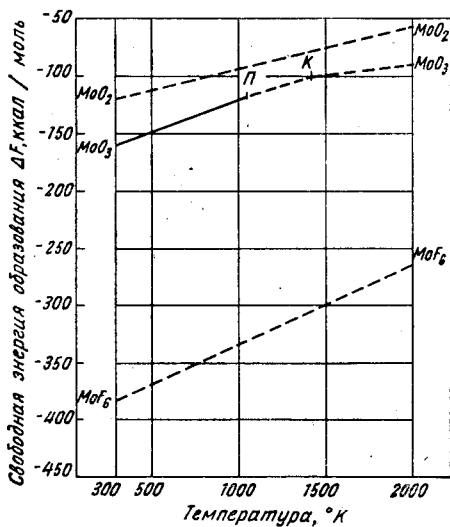


Рис. 34. Молибден (а)

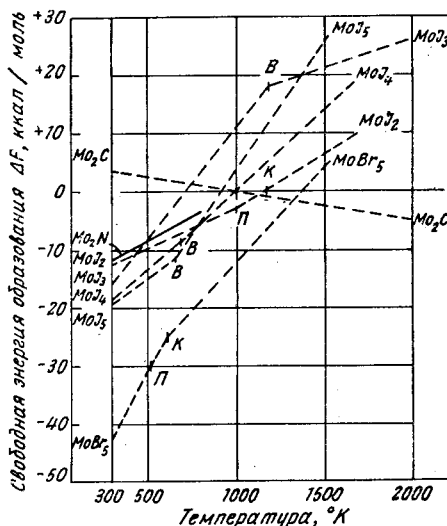


Рис. 35. Молибден (б)

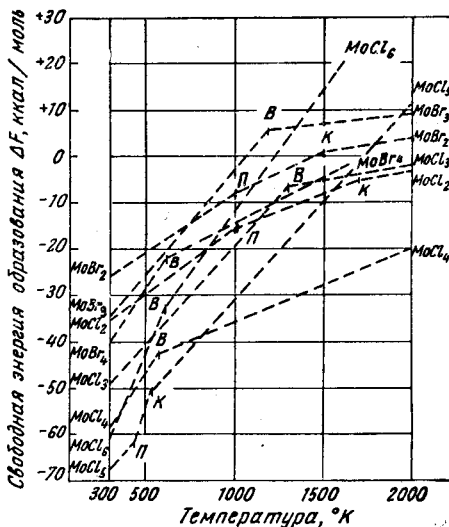


Рис. 36. Молибден (в)

Неодим и его соединения

Элемент

Nd (ТВ)

$$S_{298} = 17,54 \text{ э. е. [121]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1297^\circ \text{K [125]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 2600 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 3450^\circ \text{K [125]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 69\,000 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (ТВ) (298 — 900° K)

$$C_P = 5,61 + 5,34 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1910 + 5,61T + \\ + 2,67 \times 10^{-3}T^2$$

$$F_T - H_{298} = -1910 - 5,51T \ln T - \\ - 2,67 \times 10^{-3}T^2 + 21,61T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	17,54	17,54
400	755	19,72	17,85
500	1 560	21,51	18,38
600	2 420	23,08	19,05
700	3 330	24,48	19,70
800	4 290	25,76	20,40
900	5 300	26,95	21,07
1 000	(6 370)	(28,1)	(21,83)
1 100	(7 490)	(29,2)	(22,39)
1 200	(8 670)	(30,2)	(22,97)
1 300	(12 280)	—	(23,56)
1 400	(13 080)	—	(24,25)
1 500	(13 880)	—	(24,90)
1 600	(14 680)	—	(25,47)
1 700	(15 480)	—	(26,04)
1 800	(16 300)	—	(26,55)
1 900	(17 100)	—	(27,03)
2 000	(17 900)	—	(27,48)

Оксид неодима

Nd₂O₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -432\,150 \text{ кал/моль [61]}$$

$$S_{298} = (41,6) \text{ э. е. [24]}$$

Интервал I (ТВ) (298 — 1175° K)

$$C_P = 28,99 + 5,76 \times 10^{-3}T - 4,159 \times \\ \times 10^5 T^{-2} \text{ [3]}$$

$$H_T - H_{298} = -10\,290 + 28,99T + \\ + 2,88 \times 10^{-3}T^2 + 4,159 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $2\text{Nd} + \frac{3}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{Nd}_2\text{O}_3$

Интервал I (298 — 900° K)

$$\Delta C_P = 7,03 - 6,42 \times 10^{-3}T - 3,559 \times \\ \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -435\,150 + 7,03T - 3,21 \times \\ \times 10^{-3}T^2 + 3,559 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -435\,150 - 7,03T \ln T + 3,21 \times \\ \times 10^{-3}T^2 + 1,78 \times 10^5 T^{-1} + 115,1T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(41,6)	-432 150	(-412 500)
400	3 100	(48,8)	-432 000	(-405 000)
500	6 050	(55,3)	-431 700	(-398 300)
600	9 150	(61,1)	-431 500	(-391 700)
700	12 350	(66,0)	-431 250	(-385 100)
800	15 600	(70,4)	-431 000	(-378 600)
900	18 950	(74,0)	-431 000	(-372 100)
1 000	22 300	(77,7)	(-431 000)	(-365 200)
1 100	25 750	(81,0)	(-431 000)	(-359 000)
1 200	29 300	(84,3)	(-436 900)	(-352 250)

Фтористый неодим

NdF₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-385\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (24) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1647^\circ \text{K [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2600^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (62\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Nd} + \frac{3}{2}\text{F}_2 \rightarrow \text{NdF}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-385 000)	(-366 000)
500	(4 000)	(-385 000)	(-354 000)
1 000	(17 000)	(-383 100)	(-324 000)
1 500	(32 000)	(-382 200)	(-296 500)

Хлористый неодим
NdCl₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -245\,000 \text{ кал/моль [128]}$$

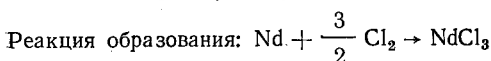
$$S_{298} = 34,6 \text{ э. е. [128]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1031^\circ \text{ К [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1940^\circ \text{ К}) [6]$$

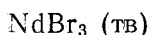
$$\Delta H_{\text{исп}} = (46\,000) \text{ кал/моль}$$



Расчетные данные [11]

T, °К	H _T -H ₂₉₈	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	-245 600	-227 930
500	(5 000)	(-244 000)	(-217 600)
1 000	(19 000)	(-241 100)	(-192 600)
1 500	(43 000)	(-232 000)	(-173 600)

Бромистый неодим



$$\Delta H_{298}^0 = (-187\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

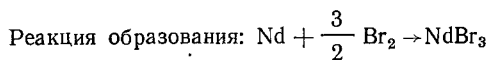
$$S_{298} = (47) \text{ э. е. [11].}$$

$$T_{\text{пл}} = 955^\circ \text{ К [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1810^\circ \text{ К}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (45\,000) \text{ кал/моль}$$



Расчетные данные [11]

T, °К	H _T -H ₂₉₈	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	(-187 000)	(-180 000)
500	(5 000)	(-197 800)	(-170 000)
1 000	(18 000)	(-196 400)	(-145 000)
1 500	(43 000)	(-185 700)	(-126 500)

Йодистый неодим
NdJ₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -158\,000 \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (49) \text{ э. е. [11]}$$

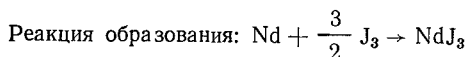
$$T_{\text{прев}} = 827^\circ \text{ К [29]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1048^\circ \text{ К [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1640^\circ \text{ К}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (41\,000) \text{ кал/моль}$$



Расчетные данные [11]

T, °К	H _T -H ₂₉₈	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	-158 000	(-156 000)
500	(5 000)	(-179 500)	(-151 000)
1 000	(19 000)	(-177 000)	(-124 000)
1 500	(44 000)	(-166 000)	(-100 000)

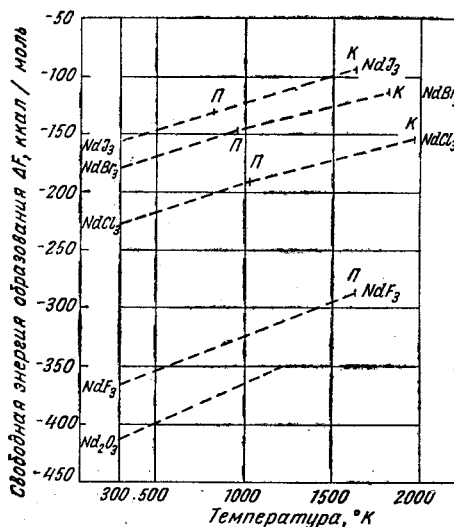


Рис. 37. Неодим

Никель и его соединения

Элемент
Ni (ТВ)

$$S_{298} = 7,12 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{прев}} = 633^\circ \text{K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 0$$

$$T_{\text{пл}} = 1725^\circ \text{K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 4210 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 3073^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 91\,000 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (α) (298 — 633°K)

$$C_p = 4,06 + 7,04 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1525 + 4,06T + \\ + 3,52 \times 10^{-3}T^2$$

$$F_T - H_{298} = -1525 - 4,06T \ln T - \\ - 3,52 \times 10^{-3}T^2 + 22,16T$$

Интервал II (β) (633 — 1725°K)

$$C_p = 6,00 + 1,80 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1700 + 6,00T + \\ + 0,90 \times 10^{-3}T^2$$

$$F_T - H_{298} = -1700 - 6,00T \ln T - \\ - 0,90 \times 10^{-3}T^2 + 33,3T$$

Интервал III (ζ) (1725 — 1900°K)

$$C_p = 9,20 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -330 + 9,20T$$

$$F_T - H_{298} = -330 - 9,20T \ln T + 54,85T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	7,12	7,12
400	665	9,03	7,37
500	1 380	10,63	7,87
600	2 180	12,08	8,44
700	2 940	13,26	9,06
800	3 690	14,26	9,65
900	4 445	15,15	10,21
1 000	5 210	15,96	10,75
1 100	5 985	16,70	11,26
1 200	6 780	17,39	11,74
1 300	7 600	18,05	12,20
1 400	8 450	18,68	12,64
1 500	9 320	19,28	13,07
1 600	10 210	19,85	13,47
1 700	11 110	20,40	13,86
1 800	16 230	23,35	14,33
1 900	17 150	23,85	14,82
2 000	(18 070)	(24,32)	(15,30)

Закись никеля
NiO (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -57\,300 \text{ кал/моль [4]}$$

$$S_{298} = 9,08 \text{ э. е. [88]}$$

$$T_{\text{прев}} = 525^\circ \text{K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 0$$

$$T_{\text{прев}} = 565^\circ \text{K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 0$$

$$T_{\text{пл}} = 2233^\circ \text{K [42]}$$

Интервал I (α) (298 — 525°K)

$$C_p = -4,99 + 37,58 \times 10^{-3}T + \\ + 3,89 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = 1122 - 4,99T + 18,79 \times \\ \times 10^{-3}T^2 - 3,89 \times 10^5 T^{-1}$$

Интервал II (β) (525 — 565°K)

$$C_p = 13,88 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -4347 + 13,88T$$

Интервал III (γ) (565 — 1800°K)

$$C_p = 11,18 + 2,02 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -3140 + 11,18T + \\ + 1,01 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $\text{Ni} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{NiO}$

Интервал I (298 — 525°K)

$$\Delta C_p = -12,63 + 30,04 \times 10^{-3}T + \\ + 4,09 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -53\,500 - 12,63T + 15,02 \times \\ \times 10^{-3}T^2 - 4,09 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -53\,500 + 12,63T \ln T - \\ - 15,02 \times 10^{-3}T^2 - 2,04 \times 10^5 T^{-1} - \\ - 55,39T$$

Интервал II (525 — 565°K)

$$\Delta C_p = 6,24 - 7,54 \times 10^{-3}T + \\ + 0,20 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -58970 + 6,24T - 3,77 \times 10^{-3}T^2 - 0,20 \times 10^5T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -58970 - 6,24T \ln T + 3,77 \times 10^{-3}T^2 - 0,10 \times 10^5T^{-1} + 63,65T$$

Интервал III (565 — 633° К)

$$\Delta C_P = 3,54 - 5,52 \times 10^{-3}T + 0,20 \times 10^5T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -57808 + 3,54T - 2,76 \times 10^{-3}T^2 - 0,20 \times 10^5T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -57808 - 3,54T \ln T + 2,76 \times 10^{-3}T^2 - 0,10 \times 10^5T^{-1} + 43,98T$$

Интервал IV (633 — 1725° К)

$$\Delta C_P = 1,6 - 0,28 \times 10^{-3}T + 0,20 \times 10^5T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -57600 + 1,6T - 0,14 \times 10^{-3}T^2 - 0,20 \times 10^5T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -57600 - 1,6T \ln T + 0,14 \times 10^{-3}T^2 - 0,10 \times 10^5T^{-1} + 32,82T$$

T, °К	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	9,08	-57 300	-50 600
400	1 165	12,43	-57 150	-48 300
500	2 535	15,47	-56 850	-46 100
600	3 940	18,05	-56 650	-44 000
700	5 220	20,02	-56 500	-41 900
800	6 500	21,73	-56 400	-39 800
900	7 780	23,24	-56 250	-37 750
1 000	9 070	24,60	-56 150	-35 700
1 100	10 370	25,84	-56 000	-33 600
1 200	11 700	26,97	-55 900	-31 600
1 300	13 060	28,08	-55 800	-29 550
1 400	14 450	29,11	-55 650	-27 550
1 500	15 860	30,08	-55 600	-25 550
1 600	17 300	31,01	-55 450	-23 500
1 700	18 770	31,90	-55 300	-21 550
1 800	20 260	32,76	-59 400	-19 550

Фтористый никель

NiF₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -158\,000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = 17,69 \text{ э. е. [18]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1300^\circ \text{К}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1900^\circ \text{К}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (48\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: Ni + F₂ → NiF₂

Расчетные данные [11]

T, °К	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-158 000	-146 700
500	(4 000)	(-156 900)	(-140 000)
1 000	(13 000)	(-156 000)	(-124 000)
1 500	(34 000)	(-143 600)	(-108 500)

Хлористый никель

NiCl₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -73\,000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = 23,3 \text{ э. е. [16]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1303^\circ \text{К [25]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 18\,470 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 1303° К)

$$C_P = 17,50 + 3,16 \times 10^{-3}T - 1,19 \times 10^5T^{-2} [25]$$

$$H_T - H_{298} = -5750 + 17,50T + 1,58 \times 10^{-3}T^2 + 1,19 \times 10^5T^{-1}$$

Реакция образования: Ni + Cl₂ → NiCl₂

Интервал I (298 — 633° К)

$$\Delta C_P = 4,62 - 3,94 \times 10^{-3}T - 0,51 \times 10^5T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -74\,375 + 4,62T - 1,97 \times 10^{-3}T^2 + 0,51 \times 10^5T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -74\,375 - 4,62T \ln T + 1,97 \times 10^{-3}T^2 + 0,25 \times 10^5T^{-1} + 67,13T$$

Интервал II (633 — 1303° К)

$$\Delta C_P = 2,68 + 1,30 \times 10^{-3}T - 0,51 \times 10^5T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -74\,200 + 2,68T + 0,65 \times 10^{-3}T^2 + 0,51 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -74\,200 - 2,68T \ln T - 0,65 \times 10^{-3}T^2 + 0,25 \times 10^5 T^{-1} + 56,05T$$

T, °K	H _T -H ₂₉₈	S _T	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	23,3	-73 000	-61 900
400	1 800	28,46	-72 700	-58 100
500	3 650	32,61	-72 400	-54 500
600	5 550	36,06	-72 150	-51 000
700	7 465	39,02	-71 900	-47 500
800	9 400	41,60	-71 600	-44 000
900	11 360	43,91	-71 250	-40 600
1 000	13 350	46,01	-70 900	-37 100
1 100	15 390	47,95	-70 400	-33 800
1 200	17 510	49,80	-70 100	-30 600
1 300	19 750	51,59	-69 450	-25 900

Бромистый никель
NiBr₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -51\,700 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (30) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{возг}} = (1150^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = (36\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: Ni + Br₂ → NiBr₂

Расчетные данные [11]

T, °K	H _T -H ₂₉₈	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	-51 700	(-47 000)
500	(4 000)	(-58 600)	(-41 500)
1 000	(14 000)	(-56 900)	(-24 000)
1 500	(72 000)	(-7 500)	(-17 000)

Йодистый никель
NiI₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -23\,100 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (34) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{возг}} = (1020^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = (32\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: Ni + J₂ → NiJ₂

Расчетные данные [11]

T, °K	H _T -H ₂₉₈	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	-23 100	(-23 000)
500	(4 000)	(-37 000)	(-20 500)
1 000	(14 000)	(-35 300)	(-2 000)
1 500	(68 000)	(+10 000)	(+4 000)

Карбид никеля

Ni₃C (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = 9200 \text{ кал/моль [81]}$$

$$S_{298} = (23,8) \text{ э. е. [78]}$$

Реакция образования: 3Ni + C → Ni₃C

Расчетные данные [11]

T, °K	ΔF _T ⁰
298	(+8 900)
400	(4 800)
500	(3 700)
600	(2 600)
700	(1 500)

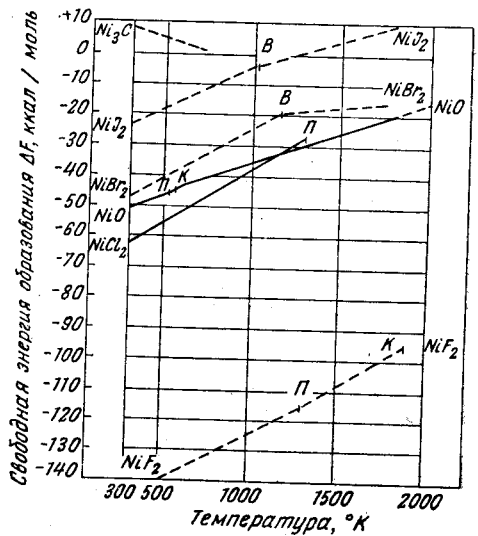


Рис. 38. Никель

Азот и его соединения

Элемент

N₂ (г)

$$S_{298} = 45,77 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{пл} = 63,18^\circ \text{ К [112]}$$

$$\Delta H_{пл} = 172 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{кип} = 77,36^\circ \text{ К [112]}$$

$$\Delta H_{исп} = 1335 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (г) (298 — 2500° К)

$$C_p = 6,66 + 1,02 \times 10^{-3} T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -2031 + 6,66T + 0,51 \times 10^{-3} T^2$$

$$F_T - H_{298} = -2031 - 6,66T \ln T - 0,51 \times 10^{-3} T^2 - 0,87T$$

T, °К	H _T -H ₂₉₈	S _T	$\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	45,77	45,77
400	710	47,82	46,05
500	1 413	49,39	46,48
600	2 126	50,69	47,19
700	2 854	51,81	47,70
800	3 598	52,80	48,25
900	4 358	53,70	48,86
1 000	5 132	54,51	49,38
1 100	5 916	55,25	49,87
1 200	6 723	55,96	50,31
1 300	7 500	56,65	50,72
1 400	8 288	57,26	51,25
1 500	9 186	57,79	51,60
1 600	9 943	58,26	52,08
1 700	10 750	58,76	52,40
1 800	11 620	59,37	52,78
1 900	12 470	59,77	53,14
2 000	13 433	60,23	53,51

Закись азота

N₂O (г)

$$\Delta H_{298}^0 = 19 490 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 52,8 \text{ э. е. [112]}$$

$$T_{пл} = 182,30^\circ \text{ К [112]}$$

$$\Delta H_{пл} = 1563 \text{ кал/моль}$$

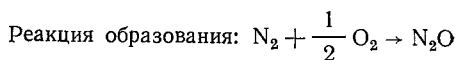
$$T_{кип} = 184,68^\circ \text{ К [112]}$$

$$\Delta H_{исп} = 3956 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (г) (298 — 2000° К)

$$C_p = 10,92 + 2,06 \times 10^{-3} T - 2,04 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -4032 + 10,92T + 1,03 \times 10^{-3} T^2 + 2,04 \times 10^5 T^{-1}$$



Интервал I (298 — 2000° К)

$$\Delta C_p = 0,68 + 0,54 \times 10^{-3} T - 1,84 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = 18 650 + 0,68T + 0,27 \times 10^{-3} T^2 + 1,84 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = 18 650 - 0,68T \ln T - 0,27 \times 10^{-3} T^2 + 0,92 \times 10^5 T^{-1} + 23,2T$$

T, °К	H _T -H ₂₉₈	S _T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	52,8	+19 500	24 700
400	990	55,65	19 400	26 100
500	2 055	58,02	19 400	28 250
600	3 175	60,07	19 450	30 050
700	4 360	61,89	19 500	31 800
800	5 585	63,53	19 600	33 550
900	6 855	65,02	19 700	35 300
1 000	8 145	66,38	19 800	37 050
1 100	9 318	67,66	19 900	38 700
1 200	10 815	68,88	20 000	40 450
1 300	12 062	69,87	20 100	42 150
1 400	13 555	70,92	20 300	43 900
1 500	14 801	71,82	20 500	45 700
1 600	16 345	72,78	20 600	47 200
1 700	17 629	73,58	20 700	48 800
1 800	19 170	74,45	20 800	50 450
1 900	20 541	75,22	20 900	52 000
2 000	22 030	75,59	21 000	54 500

Окись азота

NO (г)

$$\Delta H_{298}^0 = 21 600 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 50,34 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{пл} = 109,5^\circ \text{ К [112]}$$

$$\Delta H_{пл} = 550 \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 121,4^\circ \text{ К [112]}$$

$$\Delta H_{исп} = 3293 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (г) (298 — 2500° К)

$$C_p = 7,03 + 0,92 \times 10^{-3}T - 0,14 \times 10^5 T^{-2} \quad [82]$$

$$H_T - H_{298} = -2184 + 7,03T + 0,46 \times 10^{-3}T^2 + 0,14 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $\frac{1}{2} N_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow NO$

Интервал I (298 — 2500° К)

$$\Delta C_p = 0,12 - 0,08 \times 10^{-3}T + 0,06 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = 21\,590 + 0,12T - 0,04 \times 10^{-3}T^2 - 0,06 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = 21\,590 - 0,12T \ln T + 0,04 \times 10^{-3}T^2 - 0,03 \times 10^5 T^{-1} - 2,2T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	50,34	+21 600	20 700
400	727	52,44	21 600	20 400
500	1 450	54,05	21 600	20 100
600	2 189	55,40	21 600	19 800
700	2 946	56,57	21 600	19 500
800	3 718	57,60	21 600	19 200
900	4 532	58,55	21 600	18 850
1 000	5 318	59,38	21 600	18 650
1 100	6 119	60,13	21 600	18 300
1 200	6 926	60,84	21 650	18 050
1 300	7 743	61,5	21 650	17 800
1 400	8 570	62,11	21 650	17 500
1 500	9 508	62,77	21 650	17 100
1 600	10 251	63,24	21 700	16 900
1 700	11 104	63,75	21 700	16 550
1 800	11 968	64,26	21 700	16 250
1 900	12 841	64,73	21 700	15 950
2 000	13 844	65,26	21 700	15 650

Трехокись (азотистый ангидрид)

 N_2O_3 (г)

$$\Delta H_{298}^0 = 17\,500 \text{ кал/моль} \quad [24]$$

$$S_{298} = (63,9) \text{ э. е.} \quad [24]$$

$$T_{пл} = 162^\circ \text{ К} \quad [112]$$

$$T_{квп} = 275^\circ \text{ К} \quad [112]$$

$$\Delta H_{исп} = 9400 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $N_2 + \frac{3}{2} O_2 \rightarrow N_2O_3$

Расчетные данные [24]

T, °K	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	17 500	(33 500)
400	(1 800)	(17 500)	(39 000)
500	(3 600)	(17 500)	(44 000)

Двуокись азота

 NO_2 (г)

$$\Delta H_{298}^0 = 8091 \text{ кал/моль} \quad [112]$$

$$S_{298} = 57,46 \text{ э. е.} \quad [83]$$

Интервал I (г) (298 — 2000° К)

$$C_p = 10,26 + 2,04 \times 10^{-3}T - 1,61 \times 10^5 T^{-2} \quad [82]$$

$$H_T - H_{298} = -3690 + 10,26T + 1,02 \times 10^{-3}T^2 + 1,61 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $\frac{1}{2} N_2 + O_2 \rightarrow NO_2$

Интервал I (298 — 2000° К)

$$\Delta C_p = -0,23 - 0,54 \times 10^{-3}T - 1,21 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = 7780 - 0,23T - 0,27 \times 10^{-3}T^2 + 1,21 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = 7780 + 0,23T \ln T + 0,27 \times 10^{-3}T^2 + 0,60 \times 10^5T^{-1} + 13,41T$$

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	57,46	8 100	12 400
400	960	60,23	8 000	13 900
500	1 975	62,49	7 900	15 350
600	3 055	64,46	7 800	16 750
700	4 190	66,2	7 750	18 250
800	5 370	67,78	7 750	19 750
900	6 585	69,21	7 900	21 350
1 000	7 830	70,52	7 900	22 850
1 100	8 976	71,65	7 900	24 400
1 200	10 375	72,84	8 050	25 900
1 300	11 500	73,77	8 000	27 400
1 400	12 975	74,84	8 000	28 700
1 500	14 092	75,64	7 900	30 300
1 600	15 625	76,61	8 200	31 750
1 700	16 795	77,33	8 200	33 300
1 800	18 300	78,19	8 300	34 600
1 900	19 571	78,88	8 300	36 150
2 000	20 990	79,60	8 200	37 700

Четырехокись азота

N_2O_4 (г)

$$\Delta H_{298}^0 = 2309 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 72,73 \text{ э. е. [112]}$$

$$T_{пл} = 261,96^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{пл} = 3502 \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 294^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{исп} = 9101 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (г) (298 — 1000° K)

$$C_p = 20,05 + 9,50 \times 10^{-3}T - 3,56 \times 10^5T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -7594 + 20,05T + 4,75 \times 10^{-3}T^2 + 3,56 \times 10^5T^{-1}$$

Реакция образования: $N_2 + 2O_2 \rightarrow N_2O_4$

Интервал I (298 — 1000° K)

$$\Delta C_p = -0,93 + 6,48 \times 10^{-3}T - 2,76 \times 10^5T^{-2}$$

$$\Delta H_T = 1372 - 0,93T + 3,24 \times 10^{-3}T^2 + 2,76 \times 10^5T^{-1}$$

$$\Delta F_T = 1372 + 0,93T \ln T - 3,24 \times 10^{-3}T^2 + 1,38 \times 10^5T^{-1} + 68,31T$$

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	72,73	2 300	+23 500
400	2 060	78,66	2 200	30 750
500	4 310	83,67	2 300	37 600
600	6 740	88,09	2 500	44 000
700	9 300	92,03	2 850	52 100
800	11 980	95,61	3 100	59 050
900	14 730	98,85	3 450	66 000
1 000	17 560	101,83	3 900	73 000

Хлористый нитрозил

$NOCl$ (г)

$$\Delta H_{298}^0 = 12 570 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 63 \text{ э. е. [112]}$$

$$T_{пл} = 211,7^\circ \text{K [112]}$$

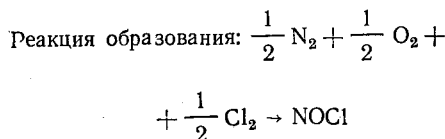
$$T_{кип} = 267,4^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{исп} = 6000 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (г) (298 — 2000° K)

$$C_p = 10,73 + 1,84 \times 10^{-3}T - 1,66 \times 10^5T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -3838 + 10,73T + 0,92 \times 10^{-3}T^2 + 1,66 \times 10^5T^{-1}$$



Интервал I (298 — 2000° K)

$$\Delta C_p = -0,59 + 0,81 \times 10^{-3}T - 1,12 \times 10^5T^{-2}$$

$$\Delta H_T = 12335 - 0,59T + 0,40 \times 10^{-3}T^2 + 1,12 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = 12335 + 0,59T \ln T - 0,40 \times 10^{-3}T^2 + 0,56 \times 10^5 T^{-1} + 7,96T$$

T, °K	H _T - H ₂₉₈	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	12 550	15 850
400	1 000	12 450	17 050
500	2 055	12 350	18 200
600	3 175	12 300	19 350
700	4 340	12 300	20 500
800	5 540	12 250	21 750
900	6 770	12 250	22 900
1 000	8 030	12 300	24 100
1 100	9 229	12 350	25 300
1 200	10 600	12 350	26 350
1 300	11 794	12 350	27 700
1 400	13 215	12 400	28 900
1 500	14 434	12 400	30 000
1 600	15 875	12 550	31 100
1 700	17 160	12 600	32 300
1 800	18 555	12 600	33 350
1 900	19 957	12 700	34 600
2 000	21 255	12 600	35 600

Аммиак

NH₃ (г)

$$\Delta H_{298}^0 = -11\,040 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 45,96 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 195,40^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 1350 \text{ кал/моль}$$

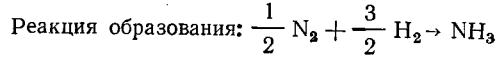
$$T_{\text{кип}} = 239,73^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 5580 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (г) (298 — 2000° K)

$$C_p = 7,11 + 6,00 \times 10^{-3}T - 0,37 \times 10^{-5}T^2 \text{ [83]}$$

$$H_T - H_{298} = -2510 + 7,11T + 3,00 \times 10^{-3}T^2 + 0,37 \times 10^5 T^{-1}$$



Интервал I (298 — 2000° K)

$$\Delta C_p = -6,0 + 4,32 \times 10^{-3}T - 0,55 \times 10^{-5}T^2$$

$$\Delta H_T = -9630 - 6,0T + 2,16 \times 10^{-3}T^2 + 0,55 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -9630 + 6,0T \ln T - 2,16 \times 10^{-3}T^2 + 0,27 \times 10^5 T^{-1} - 14,93T$$

T, °K	H _T - H ₂₉₈	S _T	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	45,96	-11 050	-4 000
400	895	48,54	-11 650	-1 600
500	1 845	50,66	-12 000	+1 200
600	2 885	52,55	-12 400	+3 700
700	3 975	54,23	-12 800	+6 350
800	5 145	55,79	-12 950	9 200
900	6 380	57,28	-13 150	12 000
1 000	7 680	58,61	-13 350	14 800
1 100	8 975	59,88	-13 500	16 400
1 200	10 450	61,14	-13 600	20 300
1 300	11 830	62,28	-13 700	23 200
1 400	13 420	63,42	-13 700	26 000
1 500	14 930	64,47	-13 700	28 900
1 600	16 565	65,52	-13 800	31 500
1 700	18 269	66,58	-13 550	34 400
1 800	19 820	67,44	-13 400	37 400
1 900	21 848	68,58	-13 200	40 050
2 000	23 195	69,21	-13 500	43 150

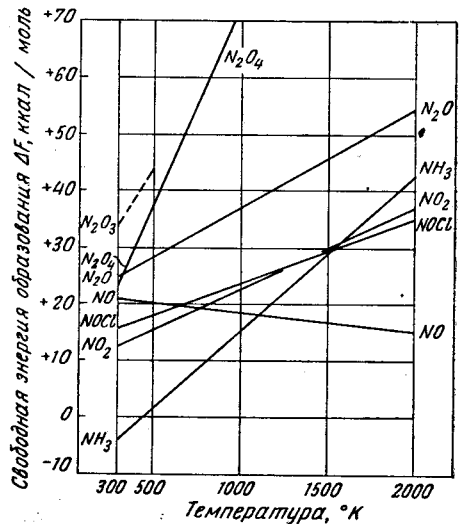


Рис. 39. Азот

Кислород

Элемент

O₂ (г)

$$S_{298} = 49,01 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 54,36^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 106 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 90,19^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 1630 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (г) (298 — 3000° K)

$$C_p = 7,16 + 1,00 \times 10^{-3}T - 0,40 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -2313 + 7,16T + 0,50 \times 10^{-3}T^2 + 0,40 \times 10^5 T^{-1}$$

$$F_T - H_{298} = -2313 - 7,16T \ln T - 0,50 \times 10^{-3}T^2 + 0,20 \times 10^5 T^{-1} - 0,55T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	49,01	49,01
400	723	51,1	49,29
500	1 455	52,73	49,82
600	2 210	54,10	50,42
700	2 989	55,30	51,03
800	3 786	56,37	51,64
900	4 602	57,33	52,21
1 000	5 430	58,20	52,77
1 100	6 208	59,01	53,27
1 200	7 040	59,72	53,83
1 300	7 873	60,41	54,35
1 400	8 716	61,01	54,78
1 500	9 711	61,67	55,21
1 600	10 442	62,21	55,68
1 700	11 334	62,71	56,04
1 800	12 219	63,11	56,32
1 900	13 113	63,66	56,77
2 000	14 155	64,22	57,14

Фосфор и его соединения

Элемент (белый)

Интервал II (ж) (317,4 — 553° K)

P₄ (ТВ)

$$C_p = 23,50 \text{ [82]}$$

$$S_{298} = 42,4 \text{ э. е. [83]}$$

$$H_T - H_{298} = -6435 + 23,50T$$

$$T_{\text{пл}} = 317,4^\circ \text{K [82]}$$

$$F_T - H_{298} = -6435 - 23,50T \ln T + 113,15T$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 601 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 553^\circ \text{K [112]}$$

Интервал III (г) (553 — 1500° K)

$$\Delta H_{\text{исп}} = 11 880 \text{ кал/г-атом}$$

$$C_p = 18,93 + 0,86 \times 10^{-3}T - 2,81 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

Интервал I (ТВ) (298 — 317,4° K)

$$C_p = 22,50 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = 7343 + 18,93T + 0,43 \times 10^{-3}T^2 + 2,81 \times 10^5 T^{-1}$$

$$H_T - H_{298} = -6709 + 22,50T$$

$$F_T - H_{298} = -6709 - 22,50T \ln T + 108,28T$$

$$F_T - H_{298} = 7343 - 18,93T \ln T - 0,43 \times 10^{-3}T^2 + 1,40 \times 10^5 T^{-1} + 59,17T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	42,4	42,4
400	2 975	51,14	43,7
500	5 325	56,40	45,75
600	19 324	81,76	49,55
700	21 206	84,66	54,36
800	23 110	87,21	58,32
900	25 040	89,48	61,66
1 000	26 980	91,52	64,5
1 100	28 940	93,39	67,08
1 200	30 900	95,10	69,35
1 300	32 860	96,66	71,39
1 400	34 820	98,12	73,25
1 500	36 790	99,48	74,95

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	21,84	21,84
400	2 480	29,00	22,80
500	5 080	34,80	24,64
600	7 880	39,88	26,75
700	10 760	44,32	28,95
800	13 760	48,32	31,12
900	23 990	59,19	32,53
1 000	25 934	61,23	35,29
1 100	27 890	63,10	37,75
1 200	29 850	64,81	39,94
1 300	31 810	66,37	41,90
1 400	33 770	67,83	43,71
1 500	35 740	69,19	45,36

Элемент (красный)

 P_4 (ТВ)

$$S_{298} = 21,84 \text{ э. е. [130]}$$

$$T_{\text{возг}} = 870^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = 7350 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (ТВ) (298 — 870° K)

$$C_P = 18,96 + 15,60 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -6348 + 18,96T + \\ + 7,80 \times 10^{-3}T^2$$

$$F_T - H_{298} = -6348 - 18,96T \ln T - \\ - 7,80 \times 10^{-3}T^2 + 109,78T$$

Интервал II (Г) (870 — 1500° K)

$$C_P = 18,93 + 0,86 \times 10^{-3}T - 2,81 \times \\ \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = 6293 + 18,93T + 0,43 \times \\ \times 10^{-3}T^2 + 2,81 \times 10^5 T^{-1}$$

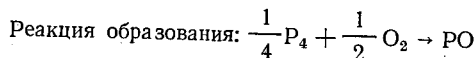
$$F_T - H_{298} = 6293 - 18,93T \ln T - \\ - 0,43 \times 10^{-3}T^2 + 1,40 \times 10^5 T^{-1} + \\ + 89,47T$$

Одноокись фосфора

 PO (Г)

$$\Delta H_{298}^0 = -9500 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = (53,6) \text{ э. е. [24]}$$



Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	— 9 500	(—15 000)
400	(600)	(—10 000)	(—17 000)
500	(1 550)	(—10 000)	(—18 500)
600	(2 450)	(—13 000)	(—20 000)
700	(3 000)	(—13 500)	(—21 000)
800	(3 650)	(—13 500)	(—22 000)
900	(4 550)	(—13 500)	(—23 500)
1 000	(5 450)	(—13 500)	(—24 500)
1 100	(6 350)	(—13 500)	(—25 500)
1 200	(7 000)	(—14 000)	(—26 500)
1 300	(7 650)	(—14 000)	(—27 500)
1 400	(8 550)	(—14 000)	(—28 500)
1 500	(9 550)	(—14 000)	(—29 500)

Пятиокись фосфора

 P_4O_{10} (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -720\,000 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = (67,4) \text{ э. е. [24]}$$

$$T_{\text{возг}} = 631^\circ \text{K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = 17\,600 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 631° К)

$$C_p = 16,75 + 108,0 \times 10^{-3}T \quad [82]$$

$$H_T - H_{298} = -9795 + 16,75T + 54,0 \times 10^{-3}T^2$$

Интервал II (г) (631 — 1400° К)

$$C_p = 73,60 \quad [82]$$

$$H_T - H_{298} = -6570 + 73,60T$$

Реакция образования: $P_4 + 5O_2 \rightarrow P_4O_{10}$

Интервал I (298 — 317,4° К)

$$\Delta C_p = -41,55 + 103,00 \times 10^{-3}T + 2,0 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta H_T = -711\,525 - 41,55T + 51,5 \times 10^{-3}T^2 - 2,0 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -711\,525 + 41,55T \ln T + 51,5 \times 10^{-3}T^2 - 1,0 \times 10^5 T^{-1} - 28,68T$$

Интервал II (317,4 — 553° К)

$$\Delta C_p = -42,55 + 103,0 \times 10^{-3}T + 2,0 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta H_T = -711\,720 - 42,55T + 51,5 \times 10^{-3}T^2 - 2,0 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -711\,720 + 42,55T \ln T - 51,5 \times 10^{-3}T^2 - 1,0 \times 10^5 T^{-1} - 33,72T$$

Интервал III (553 — 631° К)

$$\Delta C_p = -38,0 + 102,14 \times 10^{-3}T + 4,81 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -725\,450 - 38,0T + 51,07 \times 10^{-3}T^2 - 4,81 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -725\,450 + 38,0T \ln T - 51,07 \times 10^{-3}T^2 - 2,40 \times 10^5 T^{-1} + 1,05T$$

Интервал IV (631 — 1400° К)

$$\Delta C_p = 18,87 - 5,86 \times 10^{-3}T + 4,81 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -722\,540 + 18,87T - 2,93 \times 10^{-3}T^2 - 4,81 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -722\,540 - 18,87T \ln T + 2,93 \times 10^{-3}T^2 - 2,40 \times 10^5 T^{-1} + 347,93T$$

Расчетные данные [24]

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(67,4)	-720 000	(-654 400)
400	5 550	(83,37)	-721 100	(-631 800)
500	12 080	(97,87)	-720 500	(-609 400)
600	19 700	(110,74)	-730 700	(-597 800)
700	44 950	(151,45)	-711 200	(-564 400)
800	52 300	(161,26)	-709 700	(-543 700)
900	59 650	(169,91)	-708 400	(-522 800)
1 000	67 050	(177,71)	-707 100	(-502 300)
1 100	74 400	(184,72)	-705 600	(-481 500)
1 200	81 750	(191,12)	-704 300	(-461 300)
1 300	89 100	(196,99)	-703 100	(-440 900)
1 400	96 450	(202,44)	-702 000	(-420 900)

Трехфтористый фосфор

PF₃ (г)

$$\Delta H_{298}^0 = (-170\,000) \text{ кал/моль} \quad [42]$$

$$S_{298} = 64,1 \text{ э. е.} \quad [83]$$

$$T_{пл} = 122^\circ \text{ К} \quad [112]$$

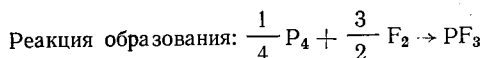
$$T_{кип} = 172^\circ \text{ К} \quad [112]$$

$$\Delta H_{исп} = 3700 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (г) (298 — 2000° К)

$$C_p = 17,18 + 1,92 \times 10^{-3}T - 3,88 \times 10^5 T^{-2} \quad [82]$$

$$H_T - H_{298} = -6509 + 17,18T + 0,96 \times 10^{-3}T^2 + 3,88 \times 10^5 T^{-1}$$



Интервал I (298 — 317,4° К)

$$\Delta C_p = -0,88 + 1,26 \times 10^{-3}T - 2,68 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -170\,700 - 0,88T + 0,63 \times 10^{-3}T^2 + 2,68 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -170\,700 + 0,88T \ln T - 0,63 \times 10^{-3}T^2 + 1,34 \times 10^5 T^{-1} + 15,33T$$

Интервал II (317,4 — 553° К)

$$\Delta C_p = 1,13 + 1,26 \times 10^{-3}T - 2,68 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -170\,770 - 1,13T + 0,63 \times 10^{-3}T^2 + 2,68 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -170\,770 + 1,13T \ln T - 0,63 \times 10^{-3}T^2 + 1,34 \times 10^5 T^{-1} + 14,13T$$

Интервал III (553 — 1500° К)

$$\Delta C_p = 0,01 + 1,05 \times 10^{-3}T - 1,98 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -174\,100 + 0,01T + 0,525 \times 10^{-3}T^2 + 1,98 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -174\,100 - 0,01T \ln T - 0,52 \times 10^{-3}T^2 + 0,99 \times 10^5 T^{-1} + 27,5T$$

$T, ^\circ K$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	64,1	(-170 000)	(-164 250)
400	1 470	68,33	(-170 500)	(-162 200)
500	3 075	71,91	(-170 600)	(-160 000)
600	4 790	75,03	(-173 600)	(-157 600)
700	6 565	77,77	(-173 600)	(-155 000)
800	8 390	80,2	(-173 500)	(-152 400)
900	10 245	82,38	(-173 500)	(-149 800)
1 000	12 125	84,37	(-173 400)	(-147 100)
1 100	13 804	86,06	(-173 500)	(-144 600)
1 200	15 940	87,84	(-173 200)	(-141 900)
1 300	17 745	89,28	(-173 200)	(-139 200)
1 400	19 795	90,81	(-173 000)	(-136 700)
1 500	21 680	92,11	(-172 900)	(-134 100)

Треххлористый фосфор

PCl_3 (ж)

$$\Delta H_{298}^0 = -76\,900 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = 52,2 \text{ э. е. [11]}$$

$$\Delta F_{298}^0 = -74\,500 \text{ кал/моль}$$

$$T_{пл} = 182^\circ \text{ К [6]}$$

$$T_{кип} = 348^\circ \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{исп} = 7278 \text{ кал/моль}$$

Пятихлористый фосфор

PCl_5 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -106\,500 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = 40,8 \text{ э. е. [11]}$$

$$\Delta F_{298}^0 = -75\,800 \text{ кал/моль}$$

$$T_{возг} = 439^\circ \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{возг} = 14\,000 \text{ кал/моль}$$

Хлористый фосфорил

$POCl_3$ (ж)

$$\Delta H_{298}^0 = -151\,000 \text{ кал/моль [112]}$$

$$T_{пл} = 274,3^\circ \text{ К [112]}$$

$$T_{кип} = 378,5^\circ \text{ К [112]}$$

$$\Delta H_{исп} = 8211 \text{ кал/моль}$$

Трехбромистый фосфор

PBr₃ (ж)

$$\Delta H_{298}^0 = (-47\,500) \text{ кал/моль} [112]$$

$$S_{298} = (59) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{\text{пл}} = 233^\circ \text{ К} [6]$$

$$T_{\text{кип}} = 447^\circ \text{ К} [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 9500 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\frac{1}{4} \text{P}_4 + \frac{3}{2} \text{Br}_2 \rightarrow \text{PBr}_3$

Расчетные данные [11]

T, °K	H _T - H ₂₉₈	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	(-47 500)	(-45 500)
500	(15 500)	(-44 500)	(-40 000)

Пятибромистый фосфор

PBr₅ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -66\,000 \text{ кал/моль} [112]$$

$$S_{298} = (53) \text{ э. е.} [11]$$

$$\Delta F_{298}^0 = (-41\,500) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{возг}} = 379^\circ \text{ К} [6]$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = 13\,000 \text{ кал/моль}$$

Бромистый фосфорил

POBr₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -114\,600 \text{ кал/моль} [112]$$

$$T_{\text{пл}} = 328^\circ \text{ К} [112]$$

$$T_{\text{кип}} = 464,9^\circ \text{ К} [112]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 9080 \text{ кал/моль}$$

Трехйодистый фосфор

PI₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -10\,900 \text{ кал/моль} [11]$$

$$S_{298} = (57) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{\text{пл}} = 334^\circ \text{ К} [6]$$

$$T_{\text{кип}} = (500^\circ \text{ К}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 10\,500 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\frac{1}{4} \text{P}_4 + \frac{3}{2} \text{I}_2 \rightarrow \text{PI}_3$

Расчетные данные [11]

T, °K	H _T - H ₂₉₈	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	-10 900	(-12 000)
500	(7 000)	(-19 300)	(-9 600)

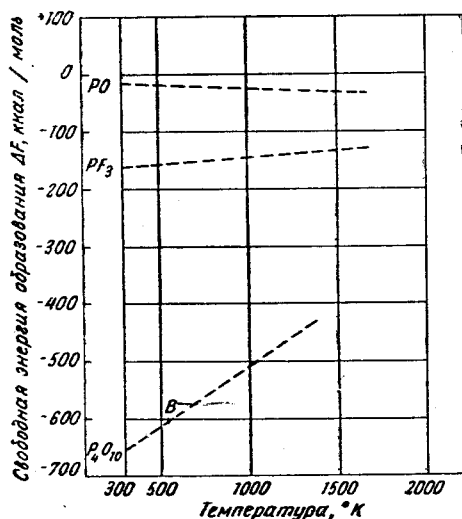


Рис. 40. Фосфор

Платина и ее соединения

Элемент

Pt (тв)

$$S_{298} = 10,00 \text{ э. е.} [83]$$

$$T_{\text{пл}} = 2042,5^\circ \text{ К} [112]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 5200 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 4100^\circ \text{ К} [112]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (122\,000) \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (тв) (298 — 1900° К)

$$C_p = 5,74 + 1,34 \times 10^{-3} T +$$

$$+ 0,10 \times 10^5 T^{-2} [82]$$

$$H_T - H_{298} = -1737 + 5,74T + 0,67 \times 10^{-3} T^2 - 0,10 \times 10^5 T^{-1}$$

$$F_T - H_{298} = -1737 - 5,74 T \ln T - 0,67 \times 10^{-3} T^2 - 0,05 \times 10^5 T^{-1} + 28,79T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	10,0	10,0
400	645	11,86	10,25
500	1 280	13,28	10,72
600	1 920	14,44	11,24
700	2 580	15,46	11,77
800	3 260	16,37	12,29
900	3 950	17,18	12,79
1 000	4 660	17,93	13,27
1 100	5 380	18,61	13,71
1 200	6 110	19,25	14,16
1 300	6 850	19,84	14,57
1 400	7 600	20,39	14,96
1 500	8 370	20,93	15,35
1 600	9 150	21,43	15,71
1 700	9 940	21,93	16,08
1 800	10 740	22,37	16,40
1 900	11 550	22,81	16,73
2 000	(12 370)	(23,52)	(19,34)

Одnoxлористая платина

PtCl (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -13\,000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (22) \text{ э. е. [11]}$$

Температура разложения 856°K ,
1 атм Cl_2 [6]

Реакция образования: $\text{Pt} + \frac{1}{2}\text{Cl}_2 \rightarrow \text{PtCl}$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-13 000	(-8 500)
500	(2 000)	(-13 100)	(-6 000)
1 000	(11 000)	(- 9 700)	(+3 000)

Двухлористая платина

PtCl₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -29\,000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (31) \text{ э. е. [11]}$$

Температура разложения 854°K ,
1 атм Cl_2 [6]

Реакция образования $\text{Pt} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{PtCl}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-29 000	(-19 500)
500	(4 000)	(-28 000)	(-12 500)
1 000	(15 000)	(-24 700)	(+4 000)

Треххлористая платина

PtCl₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -43\,000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (35) \text{ э. е. [11]}$$

Температура разложения 708°K ,1 атм Cl_2 [6]Реакция образования: $\text{Pt} + \frac{3}{2}\text{Cl}_2 \rightarrow \text{PtCl}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-43 000)	(-26 600)
500	(5 000)	(-41 800)	(-15 500)
1 000	(20 000)	(-36 800)	(+9 000)

Четыреххлористая платина

PtCl₄ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -53\,000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (500) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} > 600^\circ\text{K} [6]$$

Реакция образования: $\text{Pt} + 2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{PtCl}_4$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-53 000	(-33 000)
500	(6 000)	(-51 700)	(-20 500)
1 000	(24 000)	(-45 000)	(+10 000)

Однобромистая платина

PtBr (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -6350 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (25) \text{ э. е. [11]}$$

Диспропорционируется [6]

Реакция образования: $\text{Pt} + 1/2\text{Br}_2 \rightarrow \text{PtBr}$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	— 6 350	(— 5 400)
500	(2 000)	(— 10 400)	(— 3 000)

Двубромистая платинаPtBr₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -15 650 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (36) \text{ э. е. [11]}$$

Температура разложения 683° К, 1 атм Br₂ [6]Реакция образования: $\text{Pt} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{PtBr}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	— 15 650	(— 12 400)
500	(4 000)	(— 22 450)	(— 7 000)

Трехбромистая платинаPtBr₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -24 000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (47) \text{ э. е. [11]}$$

Температура разложения 678° К,

1 атм Br₂ [6]Реакция образования: $\text{Pt} + 3/2\text{Br}_2 \rightarrow \text{PtBr}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	— 24 000	(— 18 700)
500	(5 000)	(— 34 500)	(— 9 500)

Четырехбромистая платинаPtBr₄ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -32 300 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (60) \text{ э. е. [11]}$$

Температура разложения 600° К,

1 атм Br₂ [6]Реакция образования: $\text{Pt} + 2\text{Br}_2 \rightarrow \text{PtBr}_4$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	— 32 300	(— 25 500)
500	(6 000)	(— 46 600)	(— 14 000)

Однородистая платина

PtJ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = 440 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (26) \text{ э. е. [11]}$$

Диспропорционируется [6]

Реакция образования: $\text{Pt} + 1/2\text{J}_2 = \text{PtJ}$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	+ 440	(— 200)
500	(2 000)	(— 7 200)	(0)

Двуйодистая платинаPtJ₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -4100 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (38) \text{ э. е. [11]}$$

Температура разложения 600° К,

1 атм J₂ [6]Реакция образования: $\text{Pt} + \text{J}_2 \rightarrow \text{PtJ}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	— 4 100	(—4 300)
500	(4 000)	(—18 000)	(—1 500)

Трехйодистая платинаPtJ₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -8700 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (50) \text{ э. е. [11]}$$

Температура разложения 550° К, 1 атм J₂ [6]1 атм J₂ [6]Реакция образования: Pt + ³/₂J₂ = PtJ₃

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	— 8 700	(—8 200)
500	(5 000)	(—30 000)	(—4 000)

Четырехйодистая платинаPtJ₄ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -11\,250 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (64) \text{ э. е. [11]}$$

Калий и его соединения**Элемент**

K (тв)

$$S_{298} = 15,3 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 336,7^\circ \text{K [32]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 554 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 1030^\circ \text{K [130]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 18\,530 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (тв) (298 — 336,7° К)

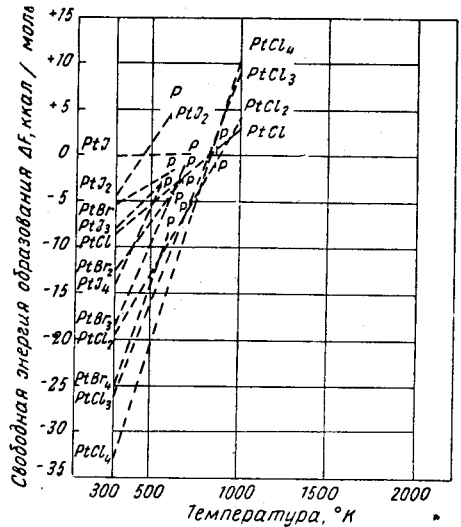
$$C_p = 6,04 + 3,12 \times 10^{-3}T \text{ [34]}$$

$$H_T - H_{298} = -1940 - 6,04T + 1,56 \times 10^{-3}T^2$$

Температура разложения 550° К, 1 атм J₂ [6]Реакция образования: Pt + 2J₂ → PtJ₄

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	—11 250	(—13 900)
500	—	(—39 900)	(— 5 500)



* Рис. 41. Платина

$$F_T - H_{298} = -1940 - 6,04 T \ln T -$$

$$[-1,56 \times 10^{-3}T^2 + 26,08T]$$

Интервал II (ж) (336,7 — 1030° К)

$$C_p = 6,03 + 0,992 \times 10^{-3}T +$$

$$+ 1,96 \times 10^5 T^{-2} \text{ [34]}$$

$$H_T - H_{298} = -676 + 6,03T + 0,49 \times 10^{-3}T^2 - 1,96 \times 10^5 T^{-1}$$

$$F_T - H_{298} = -676 - 6,03T \ln T -$$

$$-0,496 \times 10^{-3}T^2 - 0,98 \times 10^5 T^{-1} + 22,79T$$

Интервал III (г) (1030 — 2500° К)

$$C_p = 4,90 + 0,054 \times 10^{-3}T +$$

$$+ 0,033 \times 10^5 T^{-2} \quad [34]$$

$$H_T - H_{298} = 20\,016 + 4,90T + 0,027 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,033 \times 10^5 T^{-1}$$

$$F_T - H_{298} = 20\,016 - 4,90T \ln T -$$

$$-0,027 \times 10^{-3}T^2 - 0,016 \times 10^5 T^{-1} - 5,47T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	15,3	15,3
400	1 324	19,17	15,86
500	2 067	20,83	16,70
600	2 793	22,15	17,50
700	3 509	23,26	18,24
800	4 220	24,21	18,94
900	4 934	25,05	19,57
1 000	5 654	25,81	20,16
1 100	25 404	44,69	21,60
1 200	25 900	45,12	23,54
1 300	26 397	45,52	25,22
1 400	26 894	45,89	26,68
1 500	27 391	46,23	27,97
1 600	27 889	46,56	29,13
1 700	28 386	46,86	30,16
1 800	28 885	47,14	31,09
1 900	29 384	47,41	31,94
2 000	29 884	47,67	32,73

Оксид калия

K_2O (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -86\,400 \text{ кал/моль} \quad [112]$$

$$S_{298} = (20,3) \text{ э. е.} \quad [24]$$

Реакция образования: $2\text{K} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{K}_2\text{O}$

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-86 400	(-76 300)
400	(1 800)	(-87 600)	(-72 600)
500	(3 650)	(-87 600)	(-68 900)
600	(5 400)	(-87 700)	(-65 100)
700	(7 200)	(-87 700)	(-61 400)
800	(8 950)	(-87 800)	(-57 600)
900	(10 700)	(-87 800)	(-53 800)
1 000	(12 500)	(-87 900)	(-50 000)
1 100	(14 900)	(-125 400)	(-44 400)
1 200	(17 000)	(-124 700)	(-37 100)
1 300	(19 100)	(-124 000)	(-29 800)
1 400	(21 250)	(-123 300)	(-22 600)
1 500	(23 400)	(-122 600)	(-15 400)

Перекись калия

K_2O_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -118\,000 \text{ кал/моль} \quad [112]$$

$$S_{298} = (26,3) \text{ э. е.} \quad [24]$$

$$T_{\text{пл}} = 763^\circ \text{K} \quad [106]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 6100 \text{ кал/моль} \quad [24]$$

Реакция образования $2\text{K} + \text{O}_2 \rightarrow \text{K}_2\text{O}_2$

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-118 000	(-102 000)
400	(2 350)	(-119 000)	(-96 500)
500	(4 600)	(-119 000)	(-91 000)
600	(7 300)	(-118 500)	(-85 500)
700	(9 500)	(-118 500)	(-80 000)
800	(18 200)	(-112 000)	(-75 000)
900	(21 450)	(-111 000)	(-70 500)
1 000	(24 750)	(-110 000)	(-66 000)
1 100	(28 000)	(-147 000)	(-59 500)
1 200	(31 350)	(-145 500)	(-51 500)
1 300	(34 150)	(-144 500)	(-44 000)
1 400	(37 500)	(-143 000)	(-36 500)
1 500	(41 950)	(-141 500)	(-28 500)

Оксид калия

K_2O_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -125\,000 \text{ кал/моль} \quad [112]$$

$$S_{298} = (28,6) \text{ э. е.} \quad [24]$$

$$T_{\text{пл}} = 703^\circ \text{K} \quad [112]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 7030 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $2K + 3/2O_2 \rightarrow K_2O_3$

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ K$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	—125 000	—102 500
400	(3 250)	(—125 500)	(—95 000)
500	(6 300)	(—125 000)	(—87 500)
600	(9 400)	(—124 500)	(—80 000)
700	(12 500)	(—124 000)	(—72 500)
800	(23 600)	(—115 500)	(—66 000)
900	(27 250)	(—114 500)	(—60 000)
1 000	(30 950)	(—113 500)	(—54 000)

Двуокись калия

KO_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -67\,600 \text{ кал/моль} [40]$$

$$S_{298} = 27,9 \text{ э. е.} [133]$$

$$T_{пл} = 653^\circ K [8]$$

$$\Delta H_{пл} = 3920 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $K + O_2 \rightarrow KO_2$

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ K$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	—67 600	—56 800
400	(1 950)	(—67 700)	(—53 000)
500	(3 800)	(—67 300)	(—49 400)
600	(5 800)	(—66 800)	(—45 900)
700	(11 800)	(—62 300)	(—42 700)
800	(14 100)	(—61 500)	(—40 000)
900	(16 450)	(—60 700)	(—37 400)
1 000	(18 750)	(—59 900)	(—34 800)

Трехокись калия

KO_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -62\,000 \text{ кал/моль} [104]$$

$$S_{298} = (33,5) \text{ э. е.} [24]$$

Реакция образования: $K + 3/2O_2 \rightarrow KO_3$

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ K$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	—62 000	(—45 500)
400	(2 400)	(—62 000)	(—39 500)
500	(4 750)	(—61 500)	(—34 000)

Фтористый калий

KF (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -134\,500 \text{ кал/моль} [112]$$

$$S_{298} = 15,91 \text{ э. е.} [112]$$

$$T_{пл} = 1130^\circ K [82]$$

$$\Delta H_{пл} = 6750 \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 1775^\circ K [6]$$

$$\Delta H_{исп} = 41\,275 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 1130° K)

$$C_p = 11,02 + 3,12 \times 10^{-3}T [82]$$

$$H_T - H_{298} = -3424 + 11,02T + 1,56 \times 10^{-3}T^2$$

Интервал II (ж) (1130 — 1200° K)

$$C_p = 16,0 [82]$$

$$H_T - H_{298} = -310 + 16,0T$$

Реакция образования: $K + 1/2F_2 \rightarrow KF$

Интервал I (298 — 336,7° K)

$$\Delta C_p = 0,83 - 0,22 \times 10^{-3}T + 0,40 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -134\,600 + 0,83T - 0,11 \times 10^{-3}T^2 - 0,40 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -134\,600 - 0,83 T \ln T + 0,11 \times 10^{-3}T^2 - 0,20 \times 10^5 T^{-1} + 28,95T$$

Интервал II (336,7 — 1030° K)

$$\Delta C_p = 0,84 + 1,91 \times 10^{-3}T - 1,56 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -135\,860 + 0,84T + 0,95 \times 10^{-3}T^2 + 1,56 \times 10^5T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -135\,860 - 0,84T \ln T - 0,95 \times 10^{-3}T^2 + 0,78 \times 10^5T^{-1} + 32,24T$$

Интервал III (1030 — 1130° К)

$$\Delta C_p = 1,97 + 2,85 \times 10^{-3}T + 0,37 \times 10^5T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -156\,540 + 1,97T + 1,42 \times 10^{-3}T^2 - 0,37 \times 10^5T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -156\,540 - 1,97T \ln T - 1,42 \times 10^{-3}T^2 - 0,18 \times 10^5T^{-1} + 60,44T$$

Интервал IV (1130 — 1200° К)

$$\Delta C_p = 6,95 - 0,274 \times 10^{-3}T + 0,37 \times 10^5T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -151\,650 + 6,95T - 0,137 \times 10^{-3}T^2 - 0,37 \times 10^5T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -151\,650 - 6,95T \ln T + 0,137 \times 10^{-3}T^2 - 0,185 \times 10^5T^{-1} + 90,95T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	15,91	-134 500	-127 500
400	1 230	19,46	-134 500	-124 400
500	2 470	22,22	-134 900	-122 400
600	3 760	24,57	-134 750	-119 900
700	5 070	26,59	-134 550	-117 500
800	6 400	28,37	-134 400	-115 100
900	7 770	29,98	-134 150	-112 700
1 000	9 160	31,45	-133 900	-110 300
1 100	10 580	32,80	-152 700	-106 900
1 200	18 890	40,12	-145 300	-103 300
1 500	(23 300)	(43,2)	(-143 700)	(-92 600)

Хлористый калий
KCl (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -104\,175 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 19,76 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1043^\circ \text{K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 6100 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1680^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 38\,840 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 1043° К)

$$C_p = 9,89 + 5,20 \times 10^{-3}T + 0,77 \times 10^5T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -2920 + 9,89T + 2,60 \times 10^{-3}T^2 - 0,77 \times 10^5T^{-1}$$

Интервал II (ж) (1043 — 1200° К)

$$C_p = 16,00 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -440 + 16,00T$$

Реакция образования: $\text{K} + 1/2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{KCl}$
Интервал I (298 — 336,7° К)

$$\Delta C_p = -0,56 + 2,05 \times 10^{-3}T + 1,11 \times 10^5T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -103\,730 - 0,56T + 1,02 \times 10^{-3}T^2 - 1,11 \times 10^5T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -103\,730 + 0,56T \ln T - 1,02 \times 10^{-3}T^2 - 0,56 \times 10^5T^{-1} + 18,44T$$

Интервал II (336,7 — 1030° К)

$$\Delta C_p = -0,55 + 4,18 \times 10^{-3}T - 0,85 \times 10^5T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -104\,990 - 0,55T + 2,09 \times 10^{-3}T^2 + 0,85 \times 10^5T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -104\,990 + 0,55T \ln T - 2,09 \times 10^{-3}T^2 + 0,42 \times 10^5T^{-1} + 21,78T$$

Интервал III (1043 — 1200° K)

$$\Delta C_p = 5,69 - 0,084 \times 10^{-3}T + \\ + 0,31 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -122\,000 + 5,69T - 0,042 \times \\ \times 10^{-3}T^2 - 0,31 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -122\,000 - 5,69T \ln T + 0,42 \times \\ \times 10^{-3}T^2 - 0,15 \times 10^5 T^{-1} + 79,28T$$

T, °K	H _T - H ₂₉₈	S _T	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	19,76	-104 175	-97 550
400	1 260	23,40	-104 650	-95 200
500	2 520	26,21	-104 550	-92 800
600	3 810	28,56	-104 450	-90 500
700	5 150	30,62	-104 250	-88 200
800	6 550	32,49	-104 000	-85 900
900	8 000	34,20	-103 700	-83 650
1000	9 500	35,78	-103 350	-81 400
1100	17 160	43,12	-115 800	-78 600
1200	18 760	44,51	-115 250	-75 300
(1500)	(23 800)	(48,36)	(-112 950)	(-65 600)

Бромистый калий

KBr (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -93\,730 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 22,6 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1,015^\circ \text{ K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 5000 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1656^\circ \text{ K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 37\,060 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 1000° K)

$$C_p = 11,56 + 3,32 \times 10^{-3}T \text{ [20]}$$

$$H_T - H_{298} = -3594 + 11,56T + 1,66 \times \\ \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $\text{K} + \frac{1}{2}\text{Br}_2 \rightarrow \text{KBr}$

Интервал I (298 — 331° K)

$$\Delta C_p = -3,03 + 0,20 \times 10^{-3}T$$

$$\Delta H_T = -92\,840 - 3,03T + 0,10 \times 10^{-3}T^2$$

$$\Delta F_T = -92\,840 + 3,03T \ln T - \\ - 0,10 \times 10^{-3}T^2 - 9,13T$$

Интервал II (331 — 1015° K)

$$\Delta C_p = 1,01 + 2,33 \times 10^{-3}T - \\ - 1,78 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -99\,100 + 1,01T + 1,16 \times \\ \times 10^{-3}T^2 + 1,78 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -99\,100 - 1,01T \ln T - 1,16 \times \\ \times 10^{-3}T^2 + 0,89 \times 10^5 T^{-1} + 32,75T$$

T, °K	H _T - H ₂₉₈	S _T	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	22,6	-93 750	-90 400
400	1 295	26,33	-98 100	-88 400
500	2 600	29,24	-97 950	-86 000
600	3 940	31,69	-97 800	-83 600
700	5 310	33,80	-97 600	-81 250
800	6 710	35,67	-97 350	-78 950
900	8 150	37,36	-97 100	-76 650
1 000	9 630	38,92	-96 750	-74 400
(1 500)	(22 700)	(50,5)	(-107 700)	(-58 200)

Иодистый калий

KI (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -78\,310 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 24,9 \text{ э. е. [112]}$$

$$T_{\text{пл}} = 955^\circ \text{ K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 4100 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1597^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 34\,691 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 950° K)

$$C_p = 11,36 + 4,00 \times 10^{-3}T [82]$$

$$H_T - H_{298} = -3565 + 11,36T + 2,00 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $\text{K} + 1/2\text{J}_2 \rightarrow \text{KJ}$

Интервал I (298 — 337° K)

$$\Delta C_p = 0,53 - 5,07 \times 10^{-3}T$$

$$\Delta H_T = -77\,260 + 0,53T - 2,53 \times 10^{-3}T^2$$

$$\Delta F_T = -77\,260 - 0,53T \ln T +$$

$$+ 2,53 \times 10^{-3}T^2 + 3,14T$$

Интервал II (337 — 387° K)

$$\Delta C_p = 0,54 - 2,94 \times 10^{-3}T - 1,96 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -78\,500 + 0,54T - 1,47 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 1,96 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -78\,500 - 0,54T \ln T + 1,47 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 0,98 \times 10^5 T^{-1} + 6,37T$$

Интервал III (387 — 456° K)

$$\Delta C_p = 4,27 + 3,01 \times 10^{-3}T -$$

$$- 1,96 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -80\,000 - 4,27T + 1,50 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 1,96 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -80\,000 + 4,27T \ln T - 1,50 \times 10^{-3}T^2 + 0,98 \times 10^5 T^{-1} - 16,9T$$

Интервал IV (456 — 955° K)

$$\Delta C_p = 0,89 + 3,01 \times 10^{-3}T -$$

$$- 1,96 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -87\,350 + 0,89T + 1,50 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 1,96 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -87\,350 - 0,89T \ln T - 1,50 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 0,98 \times 10^5 T^{-1} + 31,04T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	24,9	-78 310	-77 000
400	1 290	26,62	-80 950	-76 500
500	2 630	31,61	-86 200	-74 800
600	3 990	34,09	-85 900	-72 450
700	5 390	36,21	-85 650	-70 200
800	6 800	38,12	-85 400	-68 000
900	8 250	39,86	-85 100	-65 900

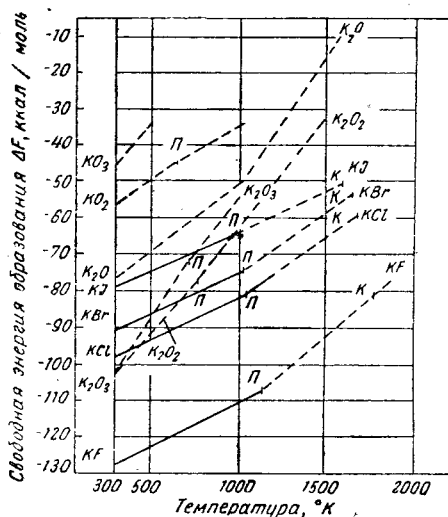


Рис. 42. Калий

Празеодим и его соединения

Элемент

Продолжение

Pr (тв)

$$S_{298} = 17,49 \text{ э. е. [121]}$$

$$T_{\text{прев}} = 1071^\circ \text{K [125]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = (320) \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{пл}} = 1208^\circ \text{K [125]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (2400) \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = (3290^\circ \text{K}) [125]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (2200) \text{ кал/г-атом}$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	17,49	17,49
400	(670)	(19,39)	(17,72)
500	(1 370)	(20,94)	(18,20)
600	(2 090)	(22,26)	(18,78)
700	(2 850)	(23,43)	(19,36)
800	(3 640)	(24,48)	(19,93)
900	(4 460)	(25,45)	(20,50)
1 000	(5 320)	(26,35)	(21,03)
1 100	(6 500)	(27,47)	(21,57)
1 200	(7 300)	(28,16)	(22,08)
1 300	(8 100)	(30,79)	(24,56)
1 400	(8 900)	(31,39)	(25,04)
1 500	(9 700)	(31,94)	(25,48)
1 600	(10 500)	(32,46)	(25,90)
1 700	(11 300)	(32,94)	(26,30)
1 800	(12 100)	(33,40)	(26,68)
1 900	(12 900)	(33,83)	(27,05)
2 000	(13 700)	(34,24)	(27,39)

Оксид празеодима

Pr₂O₃ (тв)

$$\Delta H_{298} = -437\,000 \text{ кал/моль [129]}$$

$$S_{298} = -(43,5) \text{ э. е. [24]}$$

Реакция образования: $2\text{Pr} + \frac{3}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{Pr}_2\text{O}_3$

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	-437 000	(-420 500)
400	(-437 000)	(-414 000)
500	(-436 500)	(-407 500)
600	(-436 500)	(-401 000)

$T, ^\circ\text{K}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
700	(-436 000)	(-395 000)
800	(-436 000)	(-388 500)
900	(-436 000)	(-382 500)
1 000	(-435 500)	(-376 000)
1 100	(-435 500)	(-370 000)
1 200	(-435 000)	(-363 500)
1 300	(-440 500)	(-357 000)
1 400	(-440 500)	(-350 000)
1 500	(-440 000)	(-343 000)
1 600	(-440 000)	(-337 000)
1 700	(-439 500)	(-330 500)
1 800	(-439 500)	(-324 000)
1 900	(-439 500)	(-317 000)
2 000	(-439 000)	(-310 500)

Двуокись празеодима

PrO₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -230\,500 \text{ кал/моль [24]}$$

$$S_{298} = 22,9 \text{ э. е. [24]}$$

Реакция образования: $\text{Pr} + \text{O}_2 \rightarrow \text{PrO}_2$

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	-230 500	-217 500
400	(-230 500)	(-213 000)
500	(-230 500)	(-208 500)
600	(-230 000)	(-204 000)
700	(-230 000)	(-200 000)
800	(-230 500)	(-195 500)
900	(-230 500)	(-191 000)
1 000	(-230 500)	(-187 000)
1 100	(-231 000)	(-182 500)
1 200	(-231 000)	(-178 000)

Фтористый празеодим

PrF₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-388\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (25) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1668^\circ \text{K [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2600^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (62\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Pr} + \frac{3}{2}\text{F}_2 \rightarrow \text{PrF}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-388 000)	(-369 500)
500	(4 000)	(-388 000)	(-358 000)
1 000	(17 000)	(-385 000)	(-328 000)
1 500	(32 000)	(-381 000)	(-301 000)

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-189 000)	(-182 000)
500	(5 000)	(-199 700)	(-171 500)
1 000	(18 000)	(-197 300)	(-146 000)
1 500	(43 000)	(-194 500)	(-127 000)

Иодистый празеодим

PrI_3 (тв)

$\Delta H_{298}^0 = -162\,000$ кал/моль [5]

$S_{298} = (50)$ э. е. [11]

$T_{\text{пл}} = 1010^\circ\text{K}$ [29]

$\Delta H_{\text{пл}} = (8000)$ кал/моль

$T_{\text{кип}} = (1650^\circ\text{K})$ [6]

$\Delta H_{\text{исп}} = (40\,000)$ кал/моль

Реакция образования: $\text{Pr} + \frac{3}{2}\text{I}_2 \rightarrow \text{PrI}_3$

Расчетные данные [11]

Хлористый празеодим

PrCl_3 (тв)

$\Delta H_{298}^0 = -252\,090$ кал/моль [127]

$S_{298} = (34,5)$ э. е. [127]

$T_{\text{пл}} = 1059^\circ\text{K}$ [29]

$\Delta H_{\text{пл}} = (8000)$ кал/моль

$T_{\text{кип}} = (1980^\circ\text{K})$ [6]

$\Delta H_{\text{исп}} = (46\,000)$ кал/моль

Реакция образования: $\text{Pr} + \frac{3}{2}\text{Cl}_2 \rightarrow \text{PrCl}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-252 090	(-244 000)
500	(5 000)	(-251 000)	(-224 500)
1 000	(19 000)	(-247 500)	(-199 000)
1 500	(43 000)	(-233 400)	(-180 000)

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-162 000	(-160 000)
500	(5 000)	(-183 400)	(-148 500)
1 000	(19 000)	(-180 000)	(-122 000)
1 500	(44 000)	(-166 000)	(-99 000)

Бромистый празеодим

PrBr_3 (тв)

$\Delta H_{298}^0 = (-189\,000)$ кал/моль [5]

$S_{298} = (46)$ э. е. [11]

$T_{\text{пл}} = 964^\circ\text{K}$ [29]

$\Delta H_{\text{пл}} = (8000)$ кал/моль

$T_{\text{кип}} = (1820^\circ\text{K})$ [6]

$\Delta H_{\text{исп}} = (45\,000)$ кал/моль

Реакция образования: $\text{Pr} + \frac{3}{2}\text{Br}_2 \rightarrow \text{PrBr}_3$

Расчетные данные [11]

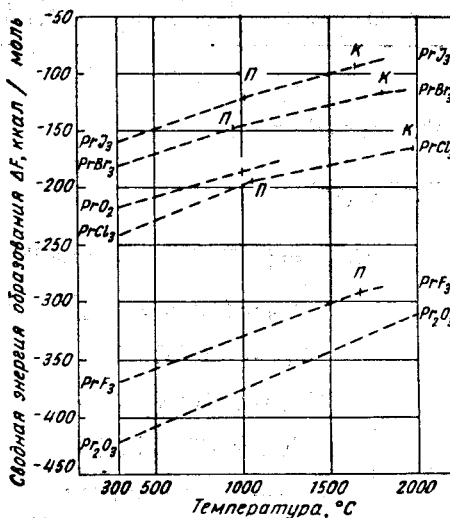


Рис. 43. Празеодим

Прометий и его соединения

Элемент

Pm (ТВ)

$$S_{298} = (17,25) \text{ э. е. [121]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1573^\circ \text{K [125]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (3000) \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = (3000^\circ \text{K [125]})$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (70\,000) \text{ кал/г-атом}$$

Расчетные данные [130]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	(17,25)	(17,25)
400	(670)	(19,15)	(17,48)
500	(1360)	(20,69)	(17,97)
600	(2070)	(21,98)	(18,53)
700	(2810)	(23,12)	(19,11)
800	(3570)	(24,14)	(19,68)
900	(4360)	(25,07)	(20,23)
1000	(5170)	(25,92)	(20,75)
1100	(6010)	(26,72)	(21,26)
1200	(6870)	(27,47)	(21,75)
1300	(7760)	(28,19)	(22,22)
1400	(8560)	(28,94)	(22,83)
1500	(9360)	(29,64)	(23,40)
1600	(13160)	(32,15)	(23,93)
1700	(13960)	(32,64)	(24,43)
1800	(14760)	(33,09)	(24,89)
1900	(15560)	(33,53)	(25,35)
2000	(16360)	(33,94)	(25,76)

Фтористый прометий

PmF₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-383\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (24) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1680^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2600^\circ \text{K [6]})$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (62\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Pm} + {}^3/2\text{F}_2 \rightarrow \text{PmF}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-383 000)	(-364 500)
500	(4 000)	(-383 000)	(-352 500)
1 000	(17 000)	(-380 000)	(-322 000)
1 500	(32 000)	(-379 000)	(-296 500)

Хлористый прометий

PmCl₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-227\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (39) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1010^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1940^\circ \text{K [6]})$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (46\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Pm} + {}^3/2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{PmCl}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-227 000)	(-211 000)
500	(5 000)	(-225 900)	(-200 000)
1 000	(19 000)	(-222 300)	(-175 000)
1 500	(43 000)	(-209 000)	(-156 500)

Бромистый прометий

PmBr₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-183\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (47) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 950^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1800^\circ \text{K [6]})$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (45\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Pt} + \frac{3}{2}\text{Br}_2 \rightarrow \text{PtBr}_3$

Расчетные данные [11]

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-183 000)	(-177 000)
500	(5 000)	(-193 600)	(-167 000)
1 000	(18 000)	(-191 200)	(-142 000)
1 500	(43 000)	(-180 000)	(-123 500)

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-131 000)	(-129 000)
500	(5 000)	(-152 400)	(-124 000)
1 000	(19 000)	(-148 090)	(- 97 000)
1 500	(44 000)	(-137 300)	(- 73 500)

Иодистый прометий PtJ_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-131\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (49) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1070^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1640^\circ \text{K [6]})$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (41\,000) \text{ кал/моль}$$

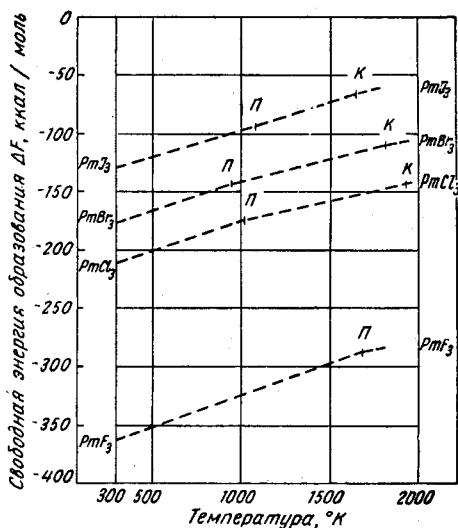
Реакция образования: $\text{Pt} + \frac{3}{2}\text{J}_2 \rightarrow \text{PtJ}_3$ 

Рис. 44. Прометий

Рений и его соединения**Элемент** Re (тв)

$$S_{298} = 8,89 \text{ э. е. [123]}$$

$$T_{\text{пл}} = 3453^\circ \text{K [118]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (7900) \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 5900^\circ \text{K [118]}$$

Интервал I (тв) (298 — 1500° K)

$$C_p = 5,66 + 1,30 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1745 + 5,66T + 0,65 \times 10^{-3}T^2$$

$$F_T - H_{298} = -1745 - 5,66T \ln T -$$

$$-0,65 \times 10^{-3}T^2 + 29,39T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	8,89	8,89
400	620	10,68	9,13
500	1 240	12,06	9,58
600	1 890	13,25	10,10
700	2 550	14,26	10,62
800	3 210	15,14	11,12
900	3 880	15,93	11,62
1 000	4 570	16,66	12,09
1 100	5 270	17,33	12,54

Продолжение

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
1 200	5 980	17,94	12,96
1 300	6 710	18,53	13,36
1 400	7 460	19,08	13,75
1 500	8 220	19,61	14,13
1 600	(8 990)	(20,10)	(14,48)
1 700	(9 770)	(20,56)	(14,81)
1 800	(10 560)	(21,02)	(15,15)
1 900	(11 370)	(21,45)	(15,47)
2 000	(12 180)	(21,88)	(15,79)

Трехокись рения

 ReO_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-147\,000) \text{ кал/моль [8]}$$

$$S_{298} = (18,6) \text{ э. е. [24]}$$

$$T_{\text{пл}} = 433^\circ \text{K [24]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 5200 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Re} + \frac{3}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{ReO}_3$

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-147 000)	(-128 000)
400	(2 200)	(-146 500)	(-121 500)
500	(10 400)	(-140 000)	(-116 500)
600	(13 700)	(-138 500)	(-112 000)
700	(17 000)	(-137 000)	(-107 500)
800	(19 900)	(-136 000)	(-103 500)
900	(23 300)	(-134 500)	(-99 500)
1 000	(26 700)	(-133 000)	(-95 500)

Ренийевый ангидрид

 Re_2O_7 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -297\,000 \text{ кал/моль [8]}$$

$$S_{298} = (40) \text{ э. е. [24]}$$

$$T_{\text{пл}} = 569^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 15\,340 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 635,5^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 18\,060 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $2\text{Re} + \frac{7}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{Re}_2\text{O}_7$

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-297 000	(-252 000)
400	(5 300)	(-295 500)	(-237 000)
500	(10 600)	(-294 000)	(-223 000)
600	(32 000)	(-276 500)	(-209 500)
700	(55 000)	(-257 500)	(-200 500)
800	(59 200)	(-257 500)	(-192 000)
900	(62 900)	(-258 000)	(-184 000)
1 000	(67 100)	(-258 000)	(-176 000)
1 100	(71 200)	(-258 000)	(-167 500)
1 200	(75 300)	(-258 500)	(-159 500)
1 300	(79 500)	(-258 500)	(-151 000)
1 400	(83 900)	(-258 500)	(-143 000)
1 500	(88 800)	(-258 500)	(-134 500)

Четырехокись рения

 Re_2O_8 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-308\,500) \text{ кал/моль [24]}$$

$$S_{298} = (41) \text{ э. е. [24]}$$

$$T_{\text{пл}} = 420^\circ \text{K [24]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 3800 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $2\text{Re} + 4\text{O}_2 \rightarrow \text{Re}_2\text{O}_8$

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-308 500)	(-257 000)
400	(6 100)	(-306 500)	(-239 500)
500	(17 300)	(-299 500)	(-224 000)
600	(25 600)	(-295 500)	(-209 000)

Трехфтористый рений

 ReF_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-170\,000) \text{ кал/моль [42]}$$

$$S_{298} = (26) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1380^\circ \text{K}) [42]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (1100) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1530^\circ \text{K}) [42]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (37\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Re} + \frac{3}{2}\text{F}_2 \rightarrow \text{ReF}_3$

Расчетные данные [11]

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-170 000)	(-153 300)
500	(4 000)	(-169 500)	(-142 500)
1 000	(17 000)	(-166 400)	(-116 000)

Четырехфтористый рений

ReF_4 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-220\,000) \text{ кал/моль} [42]$$

$$S_{298} = (36) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{\text{пл}} = 398^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (4500) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1070^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (27\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Re} + 2\text{F}_2 \rightarrow \text{ReF}_4$

Расчетные данные [11]

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-220 000)	(-209 300)
500	(6 000)	(-218 500)	(-201 000)
1 000	(22 000)	(-214 300)	(-169 000)

Пятифтористый рений

ReF_5 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-225\,000) \text{ кал/моль} [11]$$

$$S_{298} = (59) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{\text{пл}} = (398^\circ \text{K}) [42]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (4500) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (660^\circ \text{K}) [42]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (15\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Re} + \frac{5}{2}\text{F}_2 \rightarrow \text{ReF}_5$

Расчетные данные [11]

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-225 000)	(-204 000)
500	(12 000)	(-218 000)	(-192 500)

Шестифтористый рений

ReF_6 (ж)

$$\Delta H_{298}^0 = -278\,000 \text{ кал/моль} [112]$$

$$S_{298} = (78) \text{ э. е.} [11]$$

$$\Delta F_{298}^0 = (-255\,000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 292^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 5000 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 321^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 6900 \text{ кал/моль}$$

Треххлористый рений

ReCl_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-55\,000) \text{ кал/моль} [11]$$

$$S_{298} = (38) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{\text{пл}} = (1000^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (15\,000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1100^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (27\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Re} + \frac{3}{2}\text{Cl}_2 \rightarrow \text{ReCl}_3$

Расчетные данные [11]

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-55 000)	(-39 800)
500	(5 000)	(-53 800)	(-29 500)
1 000	(19 000)	(-49 700)	(-6 000)

Четыреххлористый рений

ReCl₄ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-60\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (50) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (450^\circ \text{ K}) [42]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (4000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 650^\circ \text{ K} [42]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (14\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Re} + 2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{ReCl}_4$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ \text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-60 000)	(-41 000)
500	(6 000)	(-58 600)	(-28 000)

Пятихлористый рений

ReCl₅ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-70\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (66) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (530^\circ \text{ K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (9000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (600^\circ \text{ K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (14\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Re} + 5/2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{ReCl}_5$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ \text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-70 000)	(-47 400)
500	(7 000)	(-68 000)	(-33 000)

Трехбромистый рений

ReBr₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-32\,700) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (44) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (900^\circ \text{ K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (13\,500) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1000^\circ \text{ K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (25\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Re} + 3/2\text{Br}_2 \rightarrow \text{ReBr}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ \text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-32 700)	(-23 400)
500	(5 000)	(-43 200)	(-12 700)
1 000	(18 000)	(-40 300)	(+10 700)

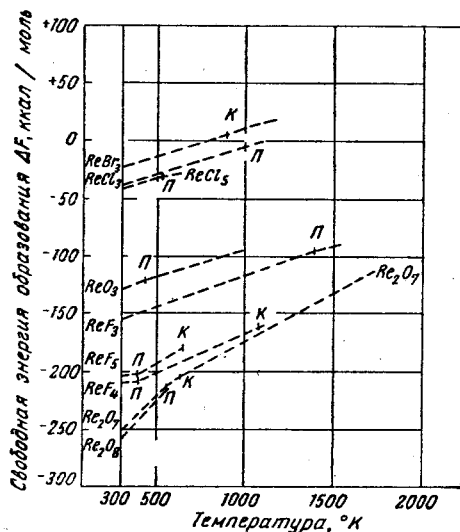


Рис. 45. Рений

Самарий и его соединения

Элемент

Расчетные данные [24]

Sm (ТВ)

$$S_{298} = (16,32) \text{ э. е. [121]}$$

$$T_{\text{прев}} = 1190^\circ \text{ K [125]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = (360) \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{пл}} = (1325^\circ \text{ K [125]})$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (2650) \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 1860^\circ \text{ K [125]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (45\,800) \text{ кал/г-атом}$$

Расчетные данные [130]

$T, ^\circ\text{K}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	-434 000	(-410 500)
400	(-434 000)	(-404 000)
500	(-433 500)	(-397 500)
600	(-433 500)	(-391 000)
700	(-433 000)	(-385 000)
800	(-433 000)	(-378 500)
900	(-433 000)	(-372 500)
1 000	(-425 500)	(-366 000)
1 100	(-425 500)	(-360 000)
1 200	(-425 000)	(-353 500)
1 300	(-425 000)	(-347 500)
1 400	(-425 000)	(-341 000)
1 500	(-424 500)	(-335 000)
1 600	(-424 500)	(-329 000)
1 700	(-438 500)	(-322 500)
1 800	(-438 500)	(-315 500)
1 900	(-438 000)	(-309 000)
2 000	(-438 000)	(-302 500)

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	(16,32)	(16,32)
400	(675)	(18,23)	(16,55)
500	(1 370)	(19,77)	(17,03)
600	(2 090)	(21,08)	(17,60)
700	(2 835)	(22,23)	(18,18)
800	(3 610)	(23,27)	(18,76)
900	(4 415)	(24,22)	(19,32)
1 000	(5 250)	(25,09)	(19,84)
1 100	(6 110)	(25,91)	(20,36)
1 200	(7 350)	(26,98)	(20,86)
1 300	(8 150)	(27,62)	(21,36)
1 400	(11 600)	(30,21)	(21,93)
1 500	(12 400)	(30,76)	(22,50)
1 600	(13 200)	(31,28)	(23,03)
1 700	(14 000)	(31,76)	(23,53)
1 800	(14 800)	(32,22)	(24,00)
1 900	(61 340)	(57,04)	(24,76)
2 000	(61 970)	(57,36)	(26,38)

Двухфтористый самарий

SmF₂ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-272\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (23) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1603^\circ \text{ K [29]})$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (5000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2700^\circ \text{ K [6]})$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (78\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Sm} + \text{F}_2 \rightarrow \text{SmF}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-272 000)	(-259 500)
500	(4 000)	(-271 000)	(-251 000)
1 000	(13 000)	(-270 100)	(-232 000)
1 500	(24 000)	(-270 600)	(-213 500)

Оксид самария

Sm₂O₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -433\,890 \text{ кал/моль [64]}$$

$$S_{298} = (41) \text{ э. е. [24]}$$

Реакция образования: $2\text{Sm} + \frac{3}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{Sm}_2\text{O}_3$

Трехфтористый самарий

SmF₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-380\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = 27 \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1579^\circ \text{K}) [29]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2600^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (62\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Sm} + \frac{3}{2}\text{F}_2 \rightarrow \text{SmF}_3$

Расчетные данные [11]

<i>T</i> , °K	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-380 000)	(-361 500)
500	(4 000)	(-379 700)	(-349 500)
1 000	(17 000)	(-377 000)	(-319 000)
1 500	(32 000)	(-375 800)	(-291 500)

Двухлористый самарий

SmCl₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -195\,600 \text{ кал/моль [96]}$$

$$S_{298} = 30 \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 835^\circ \text{K} [29]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (6000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2300^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (55\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Sm} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{SmCl}_2$

Расчетные данные [11]

<i>T</i> , °K	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-195 600	(-184 000)
500	(4 000)	(-194 500)	(-177 000)
1 000	(13 000)	(-193 900)	(-160 000)
1 500	(31 000)	(-187 400)	(-149 000)

Треххлористый самарий

SmCl₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -(223\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (39) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 955^\circ \text{K} [29]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

Разлагается [6]

Реакция образования: $\text{Sm} + \frac{3}{2}\text{Cl}_2 \rightarrow \text{SmCl}_3$

Расчетные данные [11]

<i>T</i> , °K	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-223 000)	(-206 500)
500	(5 000)	(-221 900)	(-196 000)
1 000	(19 000)	(-218 700)	(-172 000)
1 500	(43 000)	(-208 000)	(-152 000)

Двубромистый самарий

SmBr₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-157\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (35) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 781^\circ \text{K} [29]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (6000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2150^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (50\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Sm} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{SmBr}_2$

Расчетные данные [11]

<i>T</i> , °K	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-157 000)	(-152 000)
500	(4 000)	(-163 900)	(-145 000)
1 000	(20 000)	(-156 700)	(-127 000)
1 500	(32 000)	(-155 900)	(-115 000)

Трехбромистый самарий

SmBr_3 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-180\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (47) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 937^\circ \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1675^\circ \text{ К [51]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 46\,100 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Sm} + 3/2\text{Br}_2 \rightarrow \text{SmBr}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-180 000)	(-173 500)
500	(5 000)	(-190 600)	(-163 000)
1 000	(18 000)	(-188 300)	(-138 000)
1 500	(43 000)	(-177 200)	(-119 500)

Двуйодистый самарий

SmJ_2 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-122\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (40) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (773^\circ \text{ К [29]})$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (5000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1850^\circ \text{ К [6]})$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (40\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Sm} + \text{J}_2 \rightarrow \text{SmJ}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-122 000)	(-121 000)
500	(4 000)	(-136 000)	(-114 500)
1 000	(19 000)	(-129 400)	(-99 000)
1 500	(31 000)	(-128 000)	(-88 500)

Трехйодистый самарий

SmJ_3 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-127\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (49) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1123^\circ \text{ К [5]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (9000) \text{ кал/моль}$$

Разлагается [6]

Реакция образования: $\text{Sm} + 3/2\text{J}_2 \rightarrow \text{SmJ}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-127 000)	(-125 000)
500	(5 000)	(-148 400)	(-113 000)
1 000	(19 000)	(-144 900)	(-86 000)
1 500	(44 000)	(-133 800)	(-62 500)

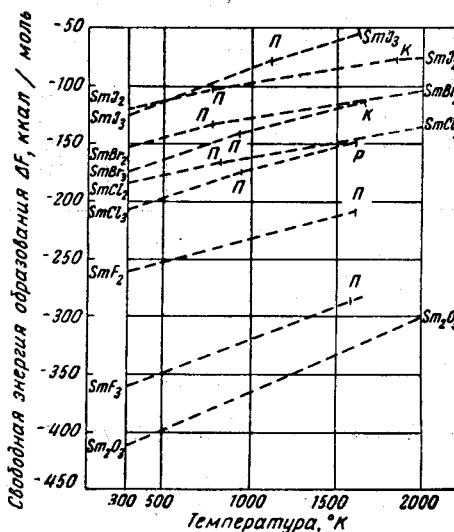


Рис. 46. Самарий

Скандий и его соединения

Элемент

Sc (ТВ)

$$S_{298} = (9,00) \text{ э. е. [7]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1673^\circ \text{K [130]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (3850) \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = (2750^\circ \text{K}) [130]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (72\,850) \text{ кал/г-атом}$$

Расчетные данные [130]

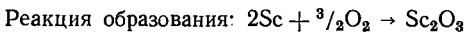
$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	(9,00)	(9,00)
400	(617)	(10,78)	(9,24)
500	(1 235)	(12,16)	(9,69)
600	(1 860)	(13,30)	(10,20)
700	(2 500)	(14,29)	(10,72)
800	(3 150)	(15,15)	(11,22)
900	(3 850)	(15,93)	(11,70)
1 000	(4 480)	(16,64)	(12,16)
1 100	(5 170)	(17,29)	(12,59)
1 200	(5 860)	(17,89)	(13,01)
1 300	(6 560)	(18,46)	(13,42)
1 400	(7 280)	(18,99)	(13,79)
1 500	(8 010)	(19,49)	(14,15)
1 600	(8 760)	(19,96)	(14,50)
1 700	(13 350)	(22,72)	(14,87)
1 800	(14 150)	(23,18)	(15,32)
1 900	(14 950)	(23,61)	(15,75)
2 000	(15 750)	(24,02)	(16,15)
2 500	(19 750)	(25,81)	(17,91)

Оксид скандия

Sc₂O₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-411\,000) \text{ кал/моль [8]}$$

$$S_{298} = (18) \text{ э. е. [24]}$$



Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-411 000)	(-389 000)
400	(2 300)	(-411 000)	(-381 000)
500	(4 650)	(-411 500)	(-373 500)
600	(7 050)	(-411 500)	(-366 000)
700	(9 500)	(-411 500)	(-358 500)
800	(12 000)	(-411 500)	(-351 000)
900	(14 600)	(-411 500)	(-343 500)
1 000	(17 100)	(-411 500)	(-336 000)
1 100	(19 650)	(-411 500)	(-328 000)
1 200	(22 300)	(-411 500)	(-320 000)
1 300	(24 900)	(-411 500)	(-313 000)
1 400	(27 600)	(-411 000)	(-305 500)
1 500	(30 550)	(-411 000)	(-298 000)
1 600	(33 200)	(-410 500)	(-290 000)
1 700	(43 700)	(-418 000)	(-283 000)
1 800	(46 600)	(-418 000)	(-275 000)
1 900	(49 600)	(-417 500)	(-267 000)
2 000	(52 700)	(-417 500)	(-259 000)

Фтористый скандий

ScF₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-367\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

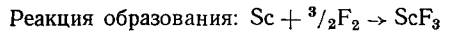
$$S_{298} = (24) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1500^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (12\,000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1800^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (55\,000) \text{ кал/моль}$$



Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-367 000)	(-349 700)
500	(4 000)	(-366 500)	(-338 000)
1 000	(17 000)	(-363 000)	(-311 000)
1 500	(43 000)	(-347 500)	(-287 500)

Хлористый скандий

ScCl₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -221\,000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (32) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1213^\circ \text{ К [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (19\,000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1240^\circ \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 46\,000 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Sc} + \frac{3}{2}\text{Cl}_2 \rightarrow \text{ScCl}_3$

Расчетные данные [11]

<i>T</i> , °К	<i>H_T</i> - <i>H₂₉₈</i>	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-221 000	(-204 000)
500	(4 000)	(-220 800)	(-193 000)
1 000	(17 000)	(-217 600)	(-166 000)
1 500	(97 000)	(-147 500)	(-146 000)

Бромистый скандий

ScBr₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -183\,000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (40) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1213^\circ \text{ К [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (19\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Sc} + \frac{3}{2}\text{Br}_2 \rightarrow \text{ScBr}_3$

Расчетные данные [11]

<i>T</i> , °К	<i>H_T</i> - <i>H₂₉₈</i>	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-183 000	(-165 000)
500	(5 000)	(-193 500)	(-161 000)
1 000	(18 000)	(-190 500)	(-136 000)
1 500	(58 000)	(-160 800)	(-117 000)

Йодистый скандий

ScI₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-109\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (44) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1218^\circ \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (18\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Sc} + \frac{3}{2}\text{I}_2 \rightarrow \text{ScI}_3$

Расчетные данные [11]

<i>T</i> , °К	<i>H_T</i> - <i>H₂₉₈</i>	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-109 000)	(-102 500)
500	(5 000)	(-130 200)	(-94 000)
1 000	(19 000)	(-126 200)	(-69 000)
1 500	(52 000)	(-103 400)	(-51 000)

Нитрид скандия

ScN (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -68\,000 \text{ кал/моль [9]}$$

$$S_{298} = 7 \text{ э. е. [9]}$$

$$\Delta S_{298} = (-25) \text{ э. е.}$$

$$\Delta F_{298}^0 = (-60\,500) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 2923^\circ \text{ К [9]}$$

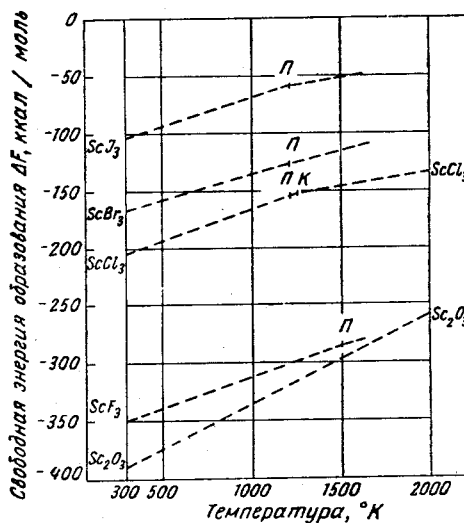


Рис. 47. Скандий

Кремний и его соединения

Элемент

Si (тв)

$$S_{298} = 4,5 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1683^\circ \text{ К [130]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 11\,100 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = (2950^\circ \text{ К}) [130]$$

Интервал I (тв) (298 — 1200° К)

$$C_p = 5,79 + 0,56 \times 10^{-3}T - 1,09 \times 10^5 T^{-2} [82]$$

$$H_T - H_{298} = -2117 + 5,79T + 0,28 \times 10^{-3}T^2 + 1,09 \times 10^5 T^{-1}$$

$$F_T - H_{298} = -2117 - 5,79T \ln T - 0,28 \times 10^{-3}T^2 + 0,54 \times 10^5 T^{-1} + 35,05T$$

$T, ^\circ \text{ К}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	4,5	4,5
400	515	5,98	4,69
500	1 060	7,2	5,08
600	1 640	8,25	5,52
700	2 230	9,16	5,97
800	2 830	9,96	6,42
900	3 440	10,68	6,85
1 000	4 060	11,34	7,28
1 100	4 690	11,94	7,67
1 200	5 340	12,5	8,05
1 300	(6 030)	(13,1)	(8,47)
1 400	(6 700)	(13,59)	(8,81)
1 500	(7 380)	(14,06)	(9,14)
1 600	(8 070)	(14,51)	(9,47)
1 700	(8 860)	(15,53)	(9,85)
1 800	(9 660)	(16,53)	(10,18)
1 900	(10 470)	(17,50)	(10,51)
2 000	(11 290)	(18,44)	(10,84)

Двуокись кремния (кварц)

SiO₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -209\,900 \text{ кал/моль [24]}$$

$$S_{298} = 9,9 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{прев}} = 848^\circ \text{ К [82]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 290 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 1883^\circ \text{ К [24]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 2040 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (α) (298 — 848° К)

$$C_p = 11,22 + 8,20 \times 10^{-3}T - 2,70 \times 10^5 T^{-2} [82]$$

$$H_T - H_{298} = -4615 + 11,22T + 4,10 \times 10^{-3}T^2 + 2,70 \times 10^5 T^{-1}$$

Интервал II (β) (848 — 1883° К)

$$C_p = 14,41 + 1,94 \times 10^{-3}T [82]$$

$$H_T - H_{298} = -4455 + 14,41T + 0,97 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования Si + O₂ → SiO₂

Интервал I (298 — 848° К)

$$\Delta C_p = -1,73 + 6,64 \times 10^{-3}T - 1,21 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -210\,100 - 1,73T + 3,32 \times 10^{-3}T^2 + 1,21 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -210\,100 + 1,73T \ln T - 3,32 \times 10^{-3}T^2 + 0,60 \times 10^5 T^{-1} + 34,68T$$

Интервал II (848 — 1200° К)

$$\Delta C_p = 1,46 + 0,38 \times 10^{-3}T + 1,49 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -209\,950 + 1,46T + 0,19 \times 10^{-3}T^2 - 1,49 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -209\,950 - 1,46T \ln T - 0,19 \times 10^{-3}T^2 - 0,74 \times 10^5 T^{-1} + 53,57T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	9,9	-209 900	-196 900
400	1 200	13,35	-209 900	-192 400
500	2 560	16,38	-209 850	-188 050
600	4 040	19,07	-209 700	-183 750
700	5 630	21,52	-209 500	-178 450
800	7 320	23,88	-209 300	-175 350
900	9 300	26,11	-208 650	-170 950
1 000	10 920	27,82	-208 450	-166 700
1 100	12 570	29,39	-208 250	-162 500
1 200	14 250	30,85	-208 050	-158 400
1 300	15 940	32,20	(-207 850)	(-154 150)
1 400	17 650	33,46	(-207 700)	(-150 100)
1 500	19 360	34,65	(-207 500)	(-146 000)
1 600	21 100	35,78	(-207 300)	(-141 800)
1 700	22 860	36,84	(-218 250)	(-137 650)
1 800	24 630	37,86	(-218 050)	(-133 100)

Двуокись кремния (кristобалит)

SiO₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -209\,500 \text{ кал/моль [69]}$$

$$S_{298} = 10,19 \text{ э. е. [112]}$$

$$T_{\text{прев}} = 523^\circ \text{K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 200 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 2001^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (1840) \text{ кал/моль}$$

Интервал I (α) (298 — 523° K)

$$C_P = 4,28 + 21,06 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -2212 + 4,28T + 10,53 \times 10^{-3}T^2$$

Интервал II (β) (523 — 2000° K)

$$C_P = 14,40 + 2,04 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -4696 + 14,40T + 1,02 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: Si + O₂ → SiO₂

Интервал I (298 — 523° K)

$$\Delta C_P = -8,67 + 19,50 \times 10^{-3}T + 1,49 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -207\,280 - 8,67T + 9,75 \times 10^{-3}T^2 - 1,49 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -207\,280 + 8,67T \ln T - 9,75 \times 10^{-3}T^2 - 0,74 \times 10^5 T^{-1} - 9,76T$$

Интервал II (523 — 2000° K)

$$\Delta C_P = 1,45 + 0,48 \times 10^{-3}T + 1,49 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -209\,690 + 1,45T + 0,24 \times 10^{-3}T^2 - 1,49 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -209\,690 - 1,45T \ln T - 0,24 \times 10^{-3}T^2 - 0,74 \times 10^5 T^{-1} + 53,38T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	10,19	-209 500	-196 600
400	1 210	13,67	-209 500	-192 150
500	2 560	16,67	-209 450	-187 800
600	4 310	19,87	-209 050	-183 550
700	5 850	22,24	-208 850	-179 300
800	7 460	24,39	-208 650	-175 100
900	9 090	26,31	-208 450	-170 900
1 000	10 730	28,04	-208 150	-166 650
1 100	12 390	29,62	-218 100	-162 650
1 200	14 080	31,09	-207 800	-158 450
1 300	15 790	32,46	(-207 600)	(-154 250)
1 400	17 510	33,73	(-207 400)	(-150 200)
1 500	19 240	34,92	(-207 300)	(-146 100)
1 600	20 990	36,06	(-207 000)	(-141 950)
1 700	22 750	37,12	(-217 950)	(-137 850)
1 800	24 530	38,14	(-217 750)	(-133 550)
1 900	26 320	39,11	(-217 550)	(-128 500)
2 000	28 120	40,03	(-217 500)	(-123 800)

Двуокись кремния (тридимит)

SiO₂ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -209\,400 \text{ кал/моль [24]}$$

$$S_{298} = 10,22 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{прев}} = 390^\circ \text{ К [82]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 40 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 1953^\circ \text{ К [24]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 2150 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (α) (298 — 390° К)

$$C_p = 3,27 + 24,80 \times 10^{-3} T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -2077 + 3,27T + 12,40 \times 10^{-3} T^2$$

Интервал II (β) (390 — 1953° К)

$$C_p = 13,64 + 2,64 \times 10^{-3} T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -4395 + 13,64T + 1,32 \times 10^{-3} T^2$$

Реакция образования: Si + O₂ → SiO₂

Интервал I (298 — 390° К)

$$\Delta C_p = -9,68 + 23,24 \times 10^{-3} T + 1,49 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -207\,050 - 9,68T + 11,62 \times 10^{-3} T^2 - 1,49 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -207\,050 + 9,68T \ln T - 11,62 \times 10^{-3} T^2 - 0,74 \times 10^5 T^{-1} - 15,45T$$

Интервал II (390 — 1200° К)

$$\Delta C_p = 0,69 + 1,08 \times 10^{-3} T + 1,49 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -209\,380 + 0,69T + 0,54 \times 10^{-3} T^2 - 1,49 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -209\,380 - 0,69T \ln T - 0,54 \times 10^{-3} T^2 - 0,74 \times 10^5 T^{-1} + 48,12T$$

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	10,22	—209 400	—196 500
400	1 270	13,85	—209 350	—192 050
500	2 710	17,06	—209 200	—187 750
600	4 170	19,72	—209 100	—183 500
700	5 710	22,09	—208 900	—179 250
800	7 320	24,24	—208 700	—175 050
900	8 950	26,18	—208 500	—170 850
1 000	10 590	27,89	—208 300	—166 650
1 100	12 250	29,47	—208 050	—162 400
1 200	13 940	30,94	—207 850	—158 350
1 300	15 650	32,31	(—207 650)	(—154 100)
1 400	17 370	33,57	(—207 450)	(—150 000)
1 500	19 100	34,78	(—207 350)	(—145 950)
1 600	20 850	35,91	(—207 050)	(—141 750)
1 700	22 610	36,97	(—218 000)	(—137 650)
1 800	24 390	37,99	(—217 800)	(—133 100)
1 900	26 180	38,96	(—217 600)	(—128 300)

Двуокись кремния (стекло)

SiO₂

$$\Delta H_{298}^0 = -202\,500 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 11,2 \text{ э. е. [112]}$$

Интервал I (298 — 2000° К)

$$C_p = 13,38 + 3,68 \times 10^{-3} T - 3,45 \times 10^5 T^{-2} \text{ [79]}$$

$$H_T - H_{298} = -5310 + 13,38T + 1,84 \times 10^{-3} T^2 + 3,45 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: Si + O₂ → SiO₂

Интервал I (298 — 1200° К)

$$\Delta C_p = 0,43 + 2,12 \times 10^{-3} T - 1,96 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -203\,380 + 0,43T + 1,06 \times 10^{-3} T^2 + 1,96 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -203\,380 - 0,43T \ln T - 1,06 \times 10^{-3} T^2 + 0,98 \times 10^5 T^{-1} + 47,01T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	11,2	-202 500	-189 900
400	1 230	14,74	-202 500	-185 600
500	2 550	17,68	-202 450	-181 300
600	3 950	20,23	-202 400	-177 100
700	5 430	22,51	-202 300	-172 900
800	6 990	24,59	-202 150	-168 700
900	8 610	26,50	-201 950	-164 600
1 000	10 280	28,26	-201 700	-160 400
1 100	11 980	29,88	-201 450	-156 300
1 200	13 700	31,27	-201 200	-152 200
1 300	15 450	32,77	(-200 950)	(-148 100)
1 400	17 240	34,1	(-200 700)	(-144 000)
1 500	19 080	35,37	(-200 500)	(-139 900)
1 600	20 980	36,59	(-200 050)	(-135 800)
1 700	22 930	37,77	(-210 750)	(-131 700)
1 800	24 920	38,91	(-210 350)	(-127 300)
1 900	26 950	40,01	(-209 900)	(-122 600)
2 000	29 040	41,07	(-209 600)	(-118 000)

$$\Delta F_T = -370\,600 + 0,42T \ln T - 0,61 \times 10^{-3}T^2 + 1,01 \times 10^5 T^{-1} + 32,2T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	68,0	-370 000	-360 000
400	1 905	73,48	-370 200	-356 500
500	3 965	78,07	-370 300	-353 100
600	6 160	82,07	-370 300	-349 600
700	8 445	85,59	-370 300	-346 200
800	10 795	88,73	-370 300	-342 800
900	13 185	91,54	-370 200	-339 400
1 000	15 610	94,10	-370 200	-336 000
1 100	17 940	96,40	-370 100	-332 500
1 200	20 545	98,60	(-370 000)	(-329 000)
1 300	23 900	100,58	(-370 100)	(-325 700)
1 400	25 535	102,44	(-369 900)	(-322 200)
1 500	27 986	104,27	(-369 900)	(-319 000)
1 600	30 570	105,80	(-369 800)	(-315 400)
1 700	33 190	107,49	(-380 700)	(-312 000)
1 800	35 630	108,78	(-380 700)	(-307 800)
1 900	38 508	110,46	(-379 300)	(-303 000)
2 000	40 720	111,46	(-380 600)	(-297 700)

Четырехфтористый кремний

SiF_4 (г)

$$\Delta H_{298}^0 = -370\,000 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 68,0 \text{ э. е. [112]}$$

$$T_{\text{возг}} = 178^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = 6130 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (г) (298 — 2000° K)

$$C_p = 21,95 + 2,66 \times 10^{-3}T - 4,72 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -8250 + 21,95T + 1,33 \times 10^{-3}T^2 + 4,72 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $\text{Si} + 2\text{F}_2 \rightarrow \text{SiF}_4$

Интервал I (298 — 2000° K)

$$\Delta C_p = 0,42 + 1,22 \times$$

$$\times 10^{-3}T - 2,03 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -370\,600 - 0,42T + 0,61 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 2,03 \times 10^5 T^{-1}$$

Четыреххлористый кремний

SiCl_4 (ж)

$$\Delta H_{298}^0 = -150\,100 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = 57,3 \text{ э. е. [80]}$$

$$\Delta S_{298} = -54,8 \text{ э. е.}$$

$$\Delta F_{298}^0 = -132\,700 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 205^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 1840 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 330^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 7000 \text{ кал/моль}$$

Четырехбромистый кремний

SiBr_4 (ж)

$$\Delta H_{298}^0 = -93\,500 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (63) \text{ э. е. [11]}$$

$$\Delta S_{298} = (-14) \text{ э. е.}$$

$$\Delta F_{298}^0 = (-89\,300) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 278^\circ \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (800) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 426^\circ \text{ К}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 9050 \text{ кал/моль}$$

Четырехйодистый кремний

SiI₄ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -29\,900 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (63) \text{ э. е. [11]}$$

$$\Delta S_{298} = (-3,0) \text{ э. е.}$$

$$\Delta F_{298}^0 = (-29\,000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 349^\circ \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (1200) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 561^\circ \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (12\,500) \text{ кал/моль}$$

Интервал I (298 — 1200° К)

$$\Delta C_p = -0,96 + 1,42 \times$$

$$\times 10^{-3}T + 0,12 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -12\,740 - 0,96T + 0,71 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,12 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -12\,740 + 0,96T \ln T - 0,71 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,06 \times 10^5 T^{-1} - 4,08T$$

T, °К	H _T - H ₂₉₈	S _T	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	3,95	-13 000	-12 400
400	760	6,13	-13 000	-12 200
500	1 610	8,02	-13 000	-12 000
600	2 570	9,77	-13 000	-11 800
700	3 600	11,35	-13 000	-11 600
800	4 670	12,78	-13 000	-11 400
900	5 780	14,09	-13 000	-11 300
1 000	6 920	15,29	-12 950	-11 100
1 100	8 080	16,40	-12 950	-10 900
1 200	9 270	17,43	(-12 900)	(-10 700)
1 300	10 510	18,42	(-12 900)	(-10 500)
1 400	11 800	19,38	(-12 800)	(-10 300)
1 500	13 140	20,30	(-12 800)	(-10 200)
1 600	14 530	21,20	(-12 800)	(-10 000)
1 700	15 970	22,07	(-23 500)	(-9 800)

Карбид кремния

SiC (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -13\,000 \text{ кал/моль [72]}$$

$$S_{298} = 3,95 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} > 2970^\circ \text{ К [9]}$$

Интервал I (тв) (298 — 1700° К)

$$C_p = 8,93 + 3,00 \times$$

$$\times 10^{-3}T - 3,07 \times 10^5 T^{-2} [79]$$

$$H_T - H_{298} = -3825 + 8,93T + 1,50 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 3,07 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: Si + C → SiC

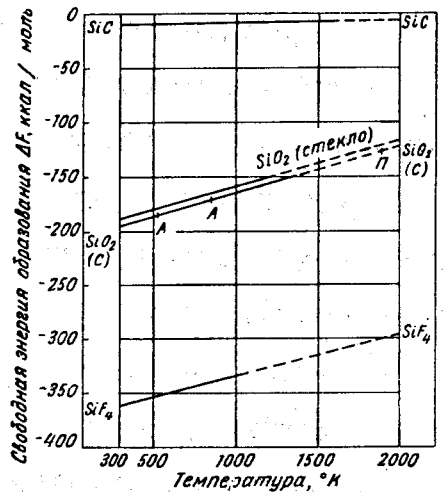


Рис. 48. Кремний

Серебро и его соединения

Элемент

Ag (тв)

$$S_{298} = 10,20 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{пл} = 1234^\circ \text{ К [82]}$$

$$\Delta H_{пл} = 2855 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{кип} = 2450^\circ \text{ К [7]}$$

$$\Delta H_{исп} = 60720 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (тв) (298 — 1234° К)

$$C_p = 5,09 + 2,04 \times 10^{-3}T + 0,36 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1488 + 5,09T + 1,02 \times 10^{-3}T^2 - 0,36 \times 10^5 T^{-1}$$

$$F_T - H_{298} = -1488 - 5,09T \ln T - 1,02 \times 10^{-3}T^2 - 0,18 \times 10^5 T^{-1} + 24,29T$$

Интервал II (ж) (1234 — 1600° К)

$$C_p = 7,30 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = +160 + 7,30T$$

$$F_T - H_{298} = 160 - 7,30T \ln T + 37,42T$$

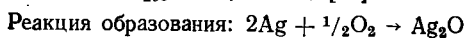
$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	10,20	10,20
400	615	11,78	10,25
500	1240	13,37	10,90
600	1885	14,55	11,42
700	2535	15,55	11,93
800	3195	16,43	12,44
900	3880	17,24	12,93
1000	4585	17,98	13,40
1100	5310	18,67	13,84
1200	6060	19,32	14,27
1300	6850	22,22	14,80
1400	10380	22,76	15,34
1500	11110	23,26	15,85
1600	11840	23,74	16,33
1700	(12570)	(24,18)	(16,78)
1800	(13300)	(24,60)	(17,21)
1900	(14030)	(24,99)	(17,55)
2000	(14760)	(25,36)	(17,96)

Оксид серебра

Ag₂O (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -7200 \text{ кал/моль [24]}$$

$$S_{298} = 29,1 \text{ э. е. [24]}$$



Расчетные данные [24]

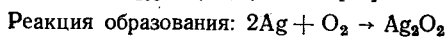
$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-7200	-2500
400	(1800)	(-7000)	(-900)
500	(3550)	(-6850)	(600)
600	(5400)	(-6650)	(2050)
700	(7250)	(-6500)	(3500)
800	(9200)	(-6300)	(4900)
900	(11150)	(-6100)	(6300)
1000	(13100)	(-5950)	(7700)

Оксид (перекись) серебра

Ag₂O₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -6200 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = (26,4) \text{ э. е. [24]}$$



Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-6200	(+6600)
400	(2050)	(-6100)	(+10900)
500	(4250)	(-5900)	(+15100)

Однофтористое серебро

AgF (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -48700 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = (21) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{пл} = 708^\circ \text{ К [6]}$$

$$T_{кип} = 1420^\circ \text{ К [6]}$$

Реакция образования: $\text{Ag} + 1/2\text{F}_2 \rightarrow \text{AgF}$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-48 700	(-44 500)
500	(3 000)	(-47 700)	(-41 700)
1 000	(12 000)	(-44 200)	(-38 700)
1 500	(19 000)	(-45 900)	(-35 200)

Двухфтористое серебро

 AgF_2 (тв)

$$\overline{\Delta H}_{298}^0 = -83\,000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (25) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} > 963^\circ \text{K [6]}$$

Реакция образования: $\text{Ag} + \text{F}_2 \rightarrow \text{AgF}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-83 000	(-72 900)
500	(4 000)	(-81 800)	(-66 000)
1 000	(17 000)	(-76 400)	(-51 000)

Однохлористое серебро

 AgCl (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -30\,360 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 22,97 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 728^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 3155 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1837^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 42\,520 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 728° K)

$$C_p = 14,88 + 1,00 \times$$

$$\times 10^{-3}T - 2,70 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -5390 + 14,88T + 0,50 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 2,70 \times 10^5 T^{-1}$$

Интервал II (ж) (728 — 900° K)

$$C_p = 16,0 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -2490 + 16,0T$$

Реакция образования: $\text{Ag} + 1/2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{AgCl}$

Интервал I (298 — 728° K)

$$\Delta C_p = 5,38 - 1,07 \times$$

$$\times 10^{-3}T - 2,72 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -32\,830 + 5,38T - 0,535 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 2,72 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -32\,830 - 5,38T \ln T + 0,535 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 1,36 \times 10^5 T^{-1} + 51,2T$$

Интервал II (728 — 900° K)

$$\Delta C_p = 6,50 - 2,07 \times$$

$$\times 10^{-3}T - 0,02 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -29\,940 + 6,50T - 1,03 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 0,02 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -29\,940 - 6,50T \ln T + 1,03 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 0,01 \times 10^5 T^{-1} + 54,5T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	22,97	-30 350	-26 200
400	1 320	26,78	-30 100	-25 900
500	2 720	29,89	-29 700	-23 550
600	4 150	32,51	-29 350	-22 350
700	5 660	34,83	-28 950	-21 250
800	10 310	41,16	-25 400	-20 450
900	11 910	42,94	-24 900	-19 800
1 000	(13 500)	(44,64)	(-24 500)	(-19 100)
1 500	(20 200)	(50,0)	(-26 450)	(-16 000)

Однобромистое серебро

 AgBr (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -20\,060 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 25,60 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 703^\circ \text{K [82]}$$

$$\Delta H_{пл} = 2190 \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = (1810^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{исп} = (37\,000) \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 703° K)

$$C_p = 7,93 + 15,40 \times 10^{-3}T [82]$$

$$H_T - H_{298} = -3049 + 7,93T + 7,70 \times 10^{-3}T^2$$

Интервал II (ж) (703 — 900° K)

$$C_p = 14,9 [82]$$

$$H_T - H_{298} = 1950 + 14,9T$$

Реакция образования: $\text{Ag} + \frac{1}{2}\text{Br}_2 \rightarrow \text{AgBr}$

Интервал I (298 — 331° K)

$$\Delta C_p = -5,71 + 13,36 \times 10^{-3}T - 0,36 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -19\,050 - 5,71T + 6,68 \times 10^{-3}T^2 + 0,36 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -19\,050 + 5,71T \ln T - 6,68 \times 10^{-3}T^2 + 0,18 \times 10^5 T^{-1} - 31,2T$$

Интервал II (331 — 703° K)

$$\Delta C_p = -1,68 + 13,36 \times 10^{-3}T - 0,18 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -24\,100 - 1,68T + 6,68 \times 10^{-3}T^2 + 0,18 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -24\,100 + 1,68T \ln T - 6,68 \times 10^{-3}T^2 + 0,09 \times 10^5 T^{-1} + 7,35T$$

Интервал III (703 — 900° K)

$$\Delta C_p = 5,29 - 2,04 \times 10^{-3}T - 0,18 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -22\,950 + 5,29T - 1,02 \times 10^{-3}T^2 + 0,18 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -22\,950 - 5,29T \ln T + 1,02 \times 10^{-3}T^2 + 0,09 \times 10^5 T^{-1} + 46,22T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	25,60	-20 060	-19 200
400	1 355	29,50	-23 650	-18 200
500	2 840	32,81	-23 200	-16 750
600	4 480	35,79	-22 650	-15 500
700	6 275	38,56	-22 000	-14 400
800	9 970	43,68	-19 400	-13 650
900	11 460	45,43	-19 000	-12 900
1 000	(12 950)	(47,00)	(-18 700)	(-12 300)

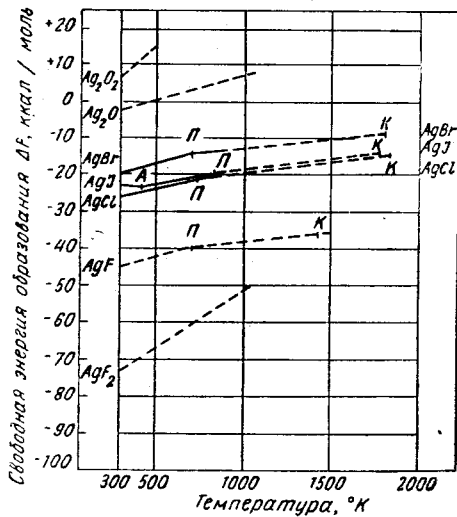


Рис. 49. Серебро

Одноидристое серебро

AgJ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -22\,300 \text{ кал/моль} [112]$$

$$S_{298} = 27,6 \text{ э. е.} [83]$$

$$T_{прев} = 423^\circ \text{K} [82]$$

$$\Delta H_{прев} = 1470 \text{ кал/моль}$$

$$T_{пл} = 830^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{пл} = 2250 \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 1779^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{исп} = 34\,447 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (α) (298 — 423° K)

$$C_p = 5,82 + 24,10 \times 10^{-3}T \quad [82]$$

$$H_T - H_{298} = -2806 + 5,82T + 12,05 \times 10^{-3}T^2$$

Интервал II (β) (423 — 600° K)

$$C_p = 13,5 \quad [82]$$

$$H_T - H_{298} = -2430 + 13,5T$$

Реакция образования: $\text{Ag} + \frac{1}{2}\text{J}_2 \rightarrow \text{AgJ}$

Интервал I (298 — 386,8° K)

$$\Delta C_p = -4,06 + 16,11 \times 10^{-3}T - 0,36 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -21\,925 - 4,06T + 8,05 \times 10^{-3}T^2 + 0,36 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -21\,925 + 4,06T \ln T - 8,05 \times 10^{-3}T^2 + 0,18 \times 10^5 T^{-1} - 25,44T$$

Интервал II (386,8 — 423° K)

$$\Delta C_p = -8,87 + 22,06 \times 10^{-3}T - 0,36 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -22\,390 - 8,87T + 11,03 \times 10^{-3}T^2 + 0,36 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -22\,390 + 8,87T \ln T - 11,03 \times 10^{-3}T^2 + 0,18 \times 10^5 T^{-1} - 52,11T$$

Интервал III (423 — 600° K)

$$\Delta C_p = 3,97 - 2,04 \times 10^{-3}T - 0,36 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -29\,350 + 3,97T - 1,02 \times 10^{-3}T^2 + 0,36 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -29\,350 - 3,97T \ln T + 1,02 \times 10^{-3}T^2 + 0,18 \times 10^5 T^{-1} + 36,18T$$

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	27,6	-22 300	-23 300
400	1450	31,77	-24 100	-23 700
500	4320	38,38	-27 550	-23 300
600	5670	40,84	-27 300	-22 500
1 000	(12 900)	(49,1)	(-24 550)	(-18 950)
1 500	(20 400)	(55,2)	(-25 800)	(-16 100)

Натрий и его соединения

Элемент

Na (тв)

$$S_{298} = 12,23 \text{ э. е.} \quad [83]$$

$$T_{\text{пл}} = 371^\circ \text{K} \quad [41]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 630 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 1162^\circ \text{K} \quad [41]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 23\,120 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (тв) (298 — 391° K)

$$C_p = 9,9261 - 28,038 \times 10^{-3}T + 5,785 \times 10^{-5}T^2 \quad [41]$$

$$H_T - H_{298} = -2235 + 9,93T - 14,02 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 1,93 \times 10^{-5}T^2$$

$$F_T - H_{298} = -2235 - 9,93T \ln T + 14,02 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,96 \times 10^{-5}T^2 + 48,35T$$

Интервал II (ж) (391 — 1162° K)

$$C_p = 9,0696 - 45,765 \times$$

$$\times 10^{-4}T + 2,54 \times 10^{-6}T^2 \quad [41]$$

$$H_T - H_{298} = -1960 + 9,07T - 22,88 \times 10^{-4}T^3 + 0,85 \times 10^{-6}T^3$$

$$H_T - H_{298} = -4920 + 15,70T + 2,70 \times 10^{-3}T$$

$$F_T - H_{298} = -1960 - 9,07T \ln T + 22,88 \times 10^{-4}T^2 - 0,42 \times 10^{-6}T^3 + 45,66T$$

Реакция образования: $2\text{Na} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{O}$

Интервал I (298 — 391° K)

Интервал III (г) (1162 — 2500° K)

$$C_p = 4,87 \text{ [34]}$$

$$\Delta C_p = -7,74 + 60,98 \times 10^{-3}T - 11,57 \times 10^{-5}T^2 + 0,20 \times 10^5T^{-2}$$

$$H_T - H_{298} = 24\,530 + 4,87T$$

$$\Delta H_T = -98\,700 - 7,74T + 30,49 \times 10^{-3}T^2 - 3,86 \times 10^{-5}T^3 - 0,2 \times 10^5T^{-1}$$

$$F_T - H_{298} = 24\,530 - 4,87T \ln T - 4,23T$$

$$\Delta F_T = -98\,700 + 7,74T \ln T - 30,49 \times 10^{-3}T^2 + 1,92 \times 10^{-5}T^3 - 0,10 \times 10^5T^{-1} - 7,14T$$

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	12,23	12,23
400	1 355	16,08	12,69
500	2 097	17,73	13,52
600	2 819	19,05	14,33
700	3 521	20,13	15,11
800	4 218	21,06	15,79
900	4 909	21,88	16,44
1 000	5 597	22,60	17,00
1 100	6 294	23,26	17,55
1 200	30 380	43,63	18,58
1 300	30 877	44,03	20,46
1 400	31 374	44,40	22,07
1 500	31 871	44,74	23,60
1 600	32 367	45,06	24,94
1 700	32 864	45,36	26,12
1 800	33 361	45,65	27,17
1 900	33 858	45,91	28,10
2 000	34 255	46,17	28,95
2 500	36 847	47,28	32,64

Интервал II (391 — 1100° K)

$$\Delta C_p = -6,02 + 14,05 \times 10^{-3}T - 5,08 \times 10^{-6}T^2 + 0,20 \times 10^5T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -99\,300 - 6,02T + 7,02 \times 10^{-3}T^2 - 1,69 \times 10^{-6}T^3 - 0,20 \times 10^5T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -99\,300 + 6,02T \ln T - 7,02 \times 10^{-3}T^2 + 0,85 \times 10^{-6}T^3 - 0,10 \times 10^5T^{-1} - 1,61T$$

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	17,4	—99 400	—89 950
400	1 750	22,45	—100 700	—86 600
500	3 600	26,57	—100 700	—83 100
600	5 500	30,03	—100 650	—79 600
700	7 400	32,96	—100 550	—76 100
800	9 350	35,56	—100 400	—72 400
900	11 350	37,92	—100 150	—69 200
1 000	13 500	40,18	—99 800	—65 700
1 100	15 750	42,33	—99 350	—62 000
1 200	(25 050)	—	(—138 100)	(—58 200)
1 300	(27 450)	—	(—137 100)	(—51 600)
1 400	(29 900)	—	(—136 100)	(—45 100)
1 500	(32 350)	—	(—135 100)	(—38 600)
1 600	(34 700)	—	(—134 100)	(—32 200)
1 700	(37 200)	—	(—133 100)	(—25 900)
1 800	(39 600)	—	(—132 100)	(—19 600)
1 900	(42 050)	—	(—131 100)	(—13 400)
2 000	(44 660)	—	(—130 100)	(—7 200)

Оксид натрия

Na_2O (тв).

$$\Delta H_{298}^0 = -99\,400 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 17,4 \text{ э. е. [112]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1190^\circ \text{ K [24]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 7140 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} > 2500^\circ \text{ K [42]}$$

Интервал I (тв) (298 — 1100° K)

$$C_p = 15,70 + 5,40 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

Оксид (перекись) натрия

$$\Delta H_{\text{пл}} = 7780 \text{ кал/моль}$$

 Na_2O_2 (тв)

$$T_{\text{кип}} = 1977^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{298}^0 = -122\,100 \text{ кал/моль} [40]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 53\,260 \text{ кал/моль}$$

$$S_{298} = 22,6 \text{ э. е.} [133]$$

$$T_{\text{пл}}^* = 733^\circ \text{K} [24]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 5860 \text{ кал/моль}$$

Температура разложения 919°K [3]Реакция образования: $2\text{Na} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{O}_2$

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
2 98	—	-122 100	-107 000
4 00	(2 600)	(-123 300)	(-101 800)
5 00	(4 600)	(-123 100)	(-96 400)
6 00	(7 100)	(-122 800)	(-91 100)
7 00	(9 500)	(-122 600)	(-85 900)
8 00	(18 300)	(-116 000)	(-81 200)
9 00	(21 400)	(-115 100)	(-76 900)

Интервал I (тв) ($298 - 1265^\circ \text{K}$)

$$C_p = 9,66 + 4,50 \times 10^{-3}T [82]$$

$$H_T - H_{298} = -3080 + 9,66T + 2,25 \times 10^{-3}T^2$$

Интервал II (ж) ($1265 - 1300^\circ \text{K}$)

$$C_p = 16,0 [82]$$

$$H_T - H_{298} = 280 + 16,0T$$

Реакция образования: $\text{Na} + 1/2\text{F}_2 \rightarrow \text{NaF}$ Интервал I ($298 - 371^\circ \text{K}$)

$$\Delta C_p = -4,42 + 32,32 \times$$

$$\times 10^{-3}T - 5,78 \times 10^{-5}T^2 + 0,40 \times 10^5T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -135\,500 - 4,42T + 16,16 \times 10^{-3}T^2 - 1,93 \times 10^{-5}T^3 - 0,40 \times 10^5T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -135\,500 + 4,42T \ln T - 16,16 \times 10^{-3}T^2 + 0,96 \times 10^{-5}T^3 - 0,20 \times 10^5T^{-1} + 0,66T$$

Интервал II ($391 - 1162^\circ \text{K}$)

$$\Delta C_p = -3,56 + 8,86 \times$$

$$\times 10^{-3}T - 2,54 \times 10^{-6}T^2 + 0,40 \times 10^5T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -135\,700 - 3,56T + 4,43 \times 10^{-3}T^2 - 0,85 \times 10^{-6}T^3 - 0,40 \times 10^5T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -135\,700 + 3,56T \ln T - 4,43 \times 10^{-3}T^2 + 0,42 \times 10^{-6}T^3 - 0,20 \times 10^5T^{-1} + 3,56T$$

Двуокись (перекись) натрия

 NaO_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -62\,100 \text{ кал/моль} [40]$$

$$S_{298} = 27,7 \text{ э. е.} [133]$$

Реакция образования: $\text{Na} + \text{O}_2 \rightarrow \text{NaO}_2$

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-62 100	-52 100
400	(2 200)	(-62 000)	(-48 500)
500	(4 150)	(-61 500)	(-45 000)
600	(6 100)	(-61 000)	(-42 000)
700	(8 100)	(-60 500)	(-39 000)
800	(10 100)	(-60 000)	(-35 500)
900	(12 100)	(-59 500)	(-32 500)
1 000	(14 100)	(-59 000)	(-29 500)

Фтористый натрий

 NaF (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -136\,000 \text{ кал/моль} [112]$$

$$S_{298} = 13,1 \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{\text{пл}} = 1265^\circ \text{K} [82]$$

Интервал III (1162 — 1265° К)

$$\Delta C_p = 0,64 + 4,28 \times 10^{-3}T + 0,40 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -162\,040 + 0,64T + 2,14 \times 10^{-3}T^2 - 0,40 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -162\,040 - 0,64T \ln T - 2,14 \times 10^{-3}T^2 - 0,20 \times 10^5 T^{-1} + 53,19T$$

$$H_T - H_{298} = 260 + 16,0T$$

Реакция образования: $\text{Na} + 1/2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{NaCl}$

Интервал I (298 — 391° К)

$$\Delta C_p = -3,36 + 31,9 \times 10^{-3}T - 5,78 \times 10^{-5}T^2 + 0,34 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -98\,100 - 3,36T + 15,95 \times 10^{-3}T^2 - 1,93 \times 10^{-5}T^3 -$$

$$-0,34 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -98\,100 + 3,36T \ln T - 15,95 \times 10^{-3}T^2 + 0,96 \times 10^{-5}T^3 -$$

$$-0,17 \times 10^5 T^{-1} + 5,88T$$

Интервал II (391 — 1073° К)

$$\Delta C_p = -2,5 + 8,45 \times$$

$$\times 10^{-3}T - 2,54 \times 10^{-6}T^2 + 0,34 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -98\,400 - 2,5T + 4,22 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,85 \times 10^{-6}T^3 -$$

$$-0,34 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -98\,400 + 2,5T \ln T - 4,22 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 0,42 \times 10^{-6}T^3 -$$

$$-0,17 \times 10^5 T^{-1} + 8,71T$$

Интервал III (1073 — 1162° К)

$$\Delta C_p = 2,52 + 4,55 \times$$

$$\times 10^{-3}T - 2,54 \times 10^{-6}T^2 + 0,34 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -94\,500 + 2,52T + 2,27 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 - 0,85 \times 10^{-6}T^3 -$$

$$-0,34 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -94\,500 - 2,52T \ln T - 2,27 \times$$

$$\times 10^{-3}T^2 + 0,42 \times 10^{-6}T^3 -$$

$$-0,17 \times 10^5 T^{-1} + 38,02T$$

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	13,1	-136 000	-129 000
400	1 140	16,39	-136 600	-126 500
500	2 310	19,0	-136 600	-124 050
600	3 530	21,22	-136 550	-121 550
700	4 780	23,15	-136 350	-119 050
800	6 080	24,88	-136 200	-116 600
900	7 420	26,46	-136 000	-114 200
1 000	8 810	27,92	-135 700	-111 800
1 100	10 260	29,30	-135 400	-109 350
1 200	11 760	30,61	-158 150	-106 550
1 300	21 080	37,98	-149 750	-105 000

Хлористый натрий

NaCl (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -98\,330 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = 17,3 \text{ э. е. [112]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1073^\circ \text{ К [82]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 6850 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1738^\circ \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 40\,800 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 1073° К)

$$C_p = 10,98 + 3,90 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -3447 + 10,98T + 1,95 \times 10^{-3}T^2$$

Интервал II (ж) (1073 — 1300° К)

$$C_p = 16,0 \text{ [82]}$$

Интервал IV (1162 — 1300° К)

$$\Delta C_p = 6,72 - 0,03 \times 10^{-3}T + 0,34 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -120\,900 + 6,72T - 0,015 \times 10^{-3}T^2 - 0,34 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -120\,900 - 6,72T \ln T + 0,015 \times 10^{-3}T^2 - 0,17 \times 10^5 T^{-1} + 88,05T$$

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	17,30	-98 330	-91 900
400	1 240	20,88	-98 850	-89 600
500	2 510	23,71	-98 750	-87 500
600	3 830	26,12	-98 600	-85 050
700	5 190	28,21	-98 350	-82 850
800	6 590	30,08	-98 100	-80 600
900	8 020	31,76	-97 800	-78 400
1 000	9 480	33,30	-97 500	-76 250
1 100	17 860	41,14	-90 150	-74 350
1 200	19 460	42,53	-112 900	-72 500
1 300	21 060	43,81	-112 200	-69 000

Бромистый натрий

NaBr (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -86\,500 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = 20,1 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1020^\circ \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 6140 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1665^\circ \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 37\,950 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 550° К)

$$C_p = 11,87 + 2,10 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -3632 + 11,87T + 1,05 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $\text{Na} + 1/2\text{Br}_2 \rightarrow \text{NaBr}$

Интервал I (298 — 331° К)

$$\Delta C_p = -6,61 + 30,14 \times 10^{-3}T - 5,78 \times 10^{-5}T^2$$

$$\Delta H_T = -85\,350 - 6,61T + 15,07 \times 10^{-3}T^2 - 1,93 \times 10^{-5}T^3$$

$$\Delta F_T = -85\,350 + 6,61T \ln T - 15,07 \times 10^{-3}T^2 + 0,96 \times 10^{-5}T^3 - 27,42T$$

Интервал II (331 — 391° К)

$$\Delta C_p = -2,58 + 30,14 \times 10^{-3}T - 5,78 \times 10^{-5}T^2 + 0,18 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -90\,250 - 2,58T + 15,07 \times 10^{-3}T^2 - 1,93 \times 10^{-5}T^3 - 0,18 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -90\,250 + 2,58T \ln T - 15,07 \times 10^{-3}T^2 + 0,96 \times 10^{-5}T^3 - 0,09 \times 10^5 T^{-1} + 12,33T$$

Интервал III (391 — 550° К)

$$\Delta C_p = -1,72 + 6,68 \times 10^{-3}T - 2,54 \times 10^{-6}T^2 + 0,18 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -90\,640 - 1,72T + 3,34 \times 10^{-3}T^2 - 0,85 \times 10^{-6}T^3 - 0,18 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -90\,640 + 1,72T \ln T - 3,34 \times 10^{-3}T^2 + 0,42 \times 10^{-6}T^3 - 0,09 \times 10^5 T^{-1} + 14,04T$$

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	20,1	-86 500	-83 400
400	1 285	23,81	-90 900	-81 450
500	2 565	26,66	-90 800	-79 100
1 000	(9 300)	—	(-89 000)	(-68 000)
1 500	(23 400)	—	(-104 000)	(-61 050)

Йодистый натрий

NaI (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -70\,650 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 22,50 \text{ э. е. [112]}$$

$$T_{\text{пл}} = 935^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 5240 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1577^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 38\,160 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Na} + \frac{1}{2}\text{J}_2 \rightarrow \text{NaJ}$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-70 650	-69 200
500	(2 650)	(-78 400)	(-64 800)
1 000	(14 800)	(-71 900)	(-54 700)
1 500	(22 800)	(-92 100)	(-47 800)

Карбид натрия

 Na_2C_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -9660 \text{ кал/моль [81]}$$

$$S_{298} = 16,9 \text{ э. е. [81]}$$

$$\Delta F_{298}^0 = -6570 \text{ кал/моль}$$

Температура разложения 1073°K

Стронций и его соединения

Элемент

Sr (тв)

$$S_{298} = 12,50 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{прев}} = 862^\circ \text{K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 200 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{пл}} = 1043^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 2200 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 1657^\circ \text{K [79]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 33\,610 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (α) ($298 - 862^\circ \text{K}$)

Нитрид натрия

 NaN_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = 5080 \text{ кал/моль [43]}$$

$$S_{298} = 16,85 \text{ э. е. [43]}$$

$$\Delta F_{298}^0 = 24\,180 \text{ кал/моль}$$

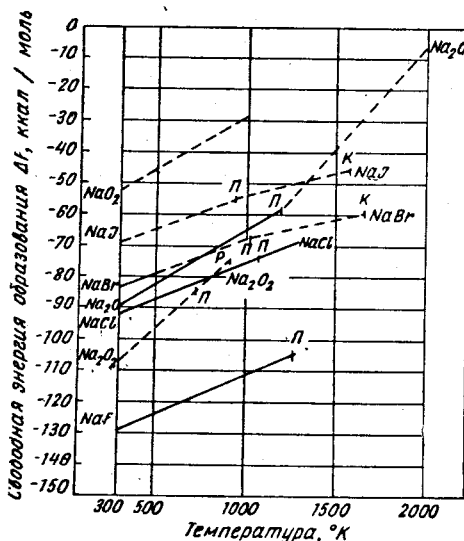
Температура разложения 548°K 

Рис. 50. Натрий

$$C_p = 5,31 + 3,32 \times 10^{-3}T$$

Расчетные данные [84]

$$H_T - H_{298} = -1731 + 5,31T + 1,66 \times 10^{-3}T^2$$

$$F_T - H_{298} = -1731 - 5,31T \ln T - 1,66 \times 10^{-3}T^2 + 24,04T$$

Интервал II (β) ($862 - 1043^\circ \text{K}$)

$$C_p = 9,12$$

Расчетные данные [94]

$$H_T - H_{298} = -3582 + 9,12T$$

$$F_T - H_{298} = -3582 - 9,12T \ln T + 50,54T$$

Интервал III (ж) (1043 — 1600° К)

$$C_p = 7,40$$

Расчетные данные [84]

$$H_T - H_{298} = 610 + 7,40T$$

$$F_T - H_{298} = 610 - 7,40T \ln T + 34,66T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	12,50	12,50
400	(660)	(14,40)	(12,75)
500	(1 340)	(15,92)	(13,24)
600	(2 050)	(17,22)	(13,81)
700	(2 800)	(18,37)	(14,37)
800	(3 500)	(19,41)	(14,94)
900	(4 610)	(20,62)	(15,50)
1 000	(5 520)	(21,58)	(16,06)
1 100	(8 550)	(24,56)	(16,79)
1 200	(9 290)	(25,21)	(17,47)
1 300	(10 040)	(25,80)	(18,08)
1 400	(10 780)	(26,35)	(18,65)
1 500	(11 520)	(26,86)	(19,18)
1 600	(12 260)	(27,34)	(19,68)
1 700	(46 070)	(47,97)	(20,87)
1 800	(46 570)	(48,26)	(22,39)
1 900	(47 070)	(48,53)	(23,76)
2 000	(47 570)	(48,79)	(25,01)

Оксид стронция

SrO (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -141\,000 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 13,0 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 2688^\circ \text{K [112]}$$

Интервал I (тв) (298 — 1265,5° К)

$$C_p = 12,34 + 1,12 \times 10^{-3}T - 1,806 \times 10^5 T^{-2} \text{ [95]}$$

$$H_T - H_{298} = -4327 + 12,34T + 0,56 \times 10^{-3}T^2 + 1,806 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $\text{Sr} + \frac{1}{2}\text{O} \rightarrow \text{SrO}$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	13,0	-141 000	-133 850
400	1 143	16,29	(-140 900)	(-131 450)
500	2 334	18,96	(-140 750)	(-129 100)
600	3 565	21,21	(-140 600)	(-126 750)
700	4 824	23,15	(-140 400)	(-124 400)
800	6 104	24,88	(-140 400)	(-122 250)
900	7 401	26,41	(-140 600)	(-120 000)
1 000	8 714	27,80	(-140 300)	(-117 400)
1 100	9 940	29,05	(-142 700)	(-115 200)
1 200	11 380	30,24	(-141 400)	(-112 600)
1 500	(16 600)	—	(-140 800)	(-106 000)

Двуокись стронция

SrO₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -150\,800 \text{ кал/моль [139]}$$

$$S_{298} = (19,6) \text{ э. е. [24]}$$

Реакция образования: $\text{Sr} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SrO}_2$

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-150 800	-138 300
400	(1 900)	(-150 300)	(-134 300)
500	(3 300)	(-150 300)	(-130 300)
600	(5 250)	(-149 800)	(-126 300)
700	(6 300)	(-149 300)	(-122 300)
800	(9 350)	(-148 800)	(-118 800)
900	(11 700)	(-148 300)	(-114 800)
1 000	(14 000)	(-147 800)	(-111 300)

Фтористый стронций

SrF₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -290\,300 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = (18) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1673^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 4260 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 2750^\circ \text{K [9]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 71000 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Sr} + \text{F}_2 \rightarrow \text{SrF}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-290 300	(-277 200)
500	(3 600)	(-289 600)	(-268 500)
1 000	(13 000)	(-288 700)	(-247 900)
1 500	(23 300)	(-288 800)	(-227 800)

$$\Delta H_{\text{пл}} = 4780 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2150^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (50\,000) \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 926° K)

$$C_p = 18,1 + 3,15 \times 10^{-3} T [73]$$

$$H_T - H_{298} = -5535 + 18,1T + 1,57 \times 10^{-3} T^2$$

Реакция образования: $\text{Sr} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{SrBr}_2$

Хлористый стронций

SrCl₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -198\,000 \text{ кал/моль} [112]$$

$$S_{298} = 28 \text{ э. е.} [112]$$

$$T_{\text{пл}} = 1145^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 4100 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2300^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (55\,000) \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 1145° K)

$$C_p = 18,2 + 2,45 \times 10^{-3} T [110]$$

$$H_T - H_{298} = -5533 + 18,2T + 1,225 \times 10^{-3} T^2$$

Реакция образования: $\text{Sr} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{SrCl}_2$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(34,0)	-171 100	(-166 700)
400	1 958	(39,6)	(-178 400)	(-163 400)
500	3 910	(44,0)	(-178 050)	(-159 700)
600	5 893	(47,6)	(-177 700)	(-156 100)
700	7 908	(50,7)	(-177 300)	(-153 200)
800	9 954	(53,5)	(-176 900)	(-149 100)
900	12 031	(55,9)	(-176 800)	(-145 600)
1 000	(19 200)	(63,0)	(-171 400)	(-141 900)
1 500	(31 200)	(73,0)	(-170 000)	(-127 400)

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	28,0	-198 000	-186 750
400	1 943	33,61	(-197 550)	(-182 900)
500	3 873	37,92	(-197 150)	(-179 300)
600	5 828	41,48	(-196 750)	(-175 700)
700	7 807	44,53	(-196 400)	(-172 300)
800	9 811	47,21	(-196 050)	(-168 800)
900	11 833	49,59	(-195 950)	(-165 500)
1 000	13 892	51,77	(-195 700)	(-162 000)
1 100	15 969	53,72	(-195 400)	(-158 500)
1 500	(29 600)	(65,0)	(-190 300)	(-146 500)

Йодистый стронций

SrI₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -135\,500 \text{ кал/моль} [112]$$

$$S_{298} = (38,0) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{\text{пл}} = 788^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (5400) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1850^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (40\,000) \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 788° K)

$$C_p = 18,6 + 3,05 \times 10^{-3} T [73]$$

$$H_T - H_{298} = -5680 + 18,6T + 1,52 \times 10^{-3} T^2$$

Реакция образования: $\text{Sr} + \text{I}_2 \rightarrow \text{SrI}_2$

Бромистый стронций

SrBr₂ (тв)

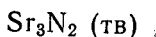
$$\Delta H_{298}^0 = -171\,100 \text{ кал/моль} [112]$$

$$S_{298} = (34) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{\text{пл}} = 926^\circ \text{K} [6]$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(38,0)	(-135 500)	(-134 800)
400	1 000	(43,8)	(-140 400)	(-135 400)
500	4 000	(48,2)	(-149 500)	(-132 100)
600	6 030	(51,9)	(-149 300)	(-128 900)
700	8 075	(55,1)	(-148 700)	(-125 400)
1 000	(20 400)	(60,0)	(-141 800)	(-117 000)
1 500	(32 400)	(79,0)	(-140 200)	(-103 200)

Нитрид стронция



$$\Delta H_{298}^0 = -92\,200 \text{ кал/моль [9]}$$

$$S_{298} = 57,8 \text{ э. е. [9]}$$

$$\Delta F_{298}^0 = -77\,000 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 1300^\circ \text{K [9]}$$

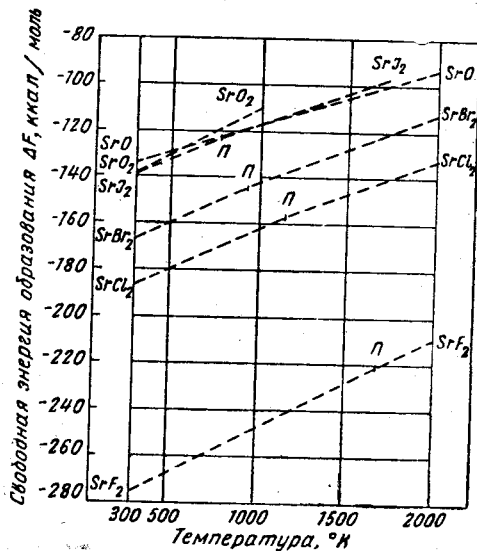
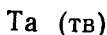


Рис. 51. Стронций

Тантал и его соединения

Элемент



$$S_{298} = 9,94 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 3269^\circ \text{K [130]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (7500) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 5700^\circ \text{K [130]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 180\,000 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 1900°K)

$$C_p = 5,82 + 0,78 \times 10^{-3} T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1770 + 5,82T + 0,39 \times 10^{-3} T^2$$

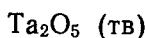
$$F_T - H_{298} = -1770 - 5,82T \ln T - 0,39 \times 10^{-3} T^2 + 29,21T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	9,94	9,94
400	620	11,73	10,20
500	1 230	13,09	10,62
600	1 845	14,22	11,16
700	2 470	15,18	11,61

Продолжение

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
800	3 120	16,05	12,12
900	3 780	16,83	12,64
1 000	4 440	17,53	13,09
1 100	5 100	18,16	13,53
1 200	5 770	18,74	13,94
1 300	6 445	19,29	14,31
1 400	7 130	19,80	14,66
1 500	7 825	20,28	15,05
1 600	8 530	20,73	14,42
1 700	9 250	21,17	15,71
1 800	9 980	21,59	16,03
1 900	10 720	21,98	16,25

Пятиокись тантала



$$\Delta H_{298}^0 = -488\,800 \text{ кал/моль [24]}$$

$$S_{298} = 34,2 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 2150^\circ \text{K [8]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 48\,000 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} > 2500^\circ \text{K [24]}$$

Интервал I (тв) (298 — 1800° К)

$$C_p = 37,00 + 6,56 \times 10^{-3}T - 5,92 \times 10^5 T^{-2} \quad [107]$$

$$H_T - H_{298} = -13\,215 + 37,00T + 3,28 \times 10^{-3}T^2 + 5,92 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция: $2\text{Ta} + 5/2\text{O}_2 \rightarrow \text{Ta}_2\text{O}_5$

Интервал I (298 — 1700° К)

$$\Delta C_p = 7,46 + 2,50 \times 10^{-3}T - 4,92 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -492\,780 + 7,46T + 1,25 \times 10^{-3}T^2 + 4,92 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -492\,780 - 7,46T \ln T - 1,25 \times 10^{-3}T^2 + 2,46 \times 10^5 T^{-1} + 161,6T$$

$T, \text{°K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	34,2	-488 800	-456 500
400	3 430	44,07	-488 350	-445 650
500	7 070	52,18	-487 750	-435 000
600	10 950	59,25	-487 050	-424 400
700	14 990	66,08	-486 250	-414 250
800	19 130	71,01	-485 400	-404 150
900	23 340	75,96	-484 500	-393 800
1 000	27 630	80,49	-483 600	-383 700
1 100	31 990	84,64	-482 600	-373 550
1 200	36 410	88,49	-481 600	-363 850
1 300	40 880	92,06	-480 600	-354 200
1 400	45 390	95,4	-479 550	-344 550
1 500	49 970	98,56	-478 450	-335 350
1 600	54 630	101,57	-477 350	-325 850
1 700	59 380	104,45	-476 300	-316 300

Хлористый тантал

TaCl₅ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -205\,500 \text{ кал/моль} \quad [48]$$

$$S_{298} = (66) \text{ э. е.} \quad [11]$$

$$T_{\text{пл}} = 480^\circ \text{ К} \quad [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 9000 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 507^\circ \text{ К} \quad [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 12\,500 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Ta} + 5/2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{TaCl}_5$

Расчетные данные [11]

$T, \text{°K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-205 500	(-182 500)
500	(13 000)	(-199 000)	(-168 000)
1 000	(30 000)	(-195 000)	(-152 000)

Бромистый тантал

TaBr₅ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -142\,900 \text{ кал/моль} \quad [49]$$

$$S_{298} = (78) \text{ э. е.} \quad [11]$$

$$T_{\text{пл}} = 513^\circ \text{ К} \quad [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (9000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 622^\circ \text{ К}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 14\,900 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Ta} + 5/2\text{Br}_2 \rightarrow \text{TaBr}_5$

Расчетные данные [11]

$T, \text{°K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-143 000	(-135 000)
500	(8 000)	(-159 000)	(-122 000)

Карбид тантала

TaC (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -38\,500 \text{ кал/моль} \quad [66]$$

$$S_{298} = 10,1 \text{ э. е.} \quad [112]$$

$$T_{\text{пл}} = 4070^\circ \text{ К} \quad [9]$$

Интервал I (тв) (298 — 1800° К)

$$C_p = 7,28 + 1,65 \times 10^{-3}T \quad [94]$$

$$H_T - H_{298} = -2242 + 7,28T + 0,825 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $\text{Ta} + \text{C} \rightarrow \text{TaC}$

Интервал I (298 — 1800° К)

$$\Delta C_p = -2,64 - 0,15 \times 10^{-3}T + 2,10 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -37\,000 - 2,64T - 0,075 \times 10^{-3}T^2 - 2,10 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -37\,000 + 2,64T \ln T + 0,075 \times 10^{-3}T^2 - 1,05 \times 10^5 T^{-1} - 17,64T$$

Интервал I (298 — 773° K)

$$\Delta C_p = -1,42 + 6,51 \times 10^{-3}T$$

$$\Delta H_T = -59\,900 - 1,42T + 3,25 \times 10^{-3}T^2$$

$$\Delta F_T = -59\,900 + 1,42T \ln T - 3,25 \times 10^{-3}T^2 + 12,87T$$

T, °K	H _T -H ₂₉₈	S _T	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	10,1	-38 500	-38 090
400	800	12,41	-38 600	-38 000
500	1 604	14,20	-38 750	-37 800
600	2 423	15,70	-38 950	-37 650
700	3 258	16,98	-39 200	-37 350
800	4 110	18,12	-39 400	-37 100
900	4 978	19,14	-39 650	-36 750
1 000	5 863	20,08	-39 900	-36 450
1 100	6 764	20,92	-40 200	-36 050
1 200	7 682	21,73	-40 450	-35 800
1 300	8 616	22,48	-40 700	-35 500
1 400	9 567	23,19	-41 000	-34 900
1 500	10 534	23,85	-41 250	-34 300
1 600	11 516	24,49	-41 550	-33 850
1 700	12 518	25,09	-41 800	-33 500
1 800	13 535	25,68	-42 100	-33 000

T, °K	H _T -H ₂₉₈	S _T	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	12,4	-60 000	-53 930
400	1 050	15,43	-59 900	-51 850
500	2 190	17,97	-59 750	-49 950
600	3 400	20,17	-59 500	-47 900
700	4 680	22,14	-59 200	-45 950
800	6 030	23,94	-58 900	-44 100
900	(7 460)	—	(-58 500)	(-43 300)
1 000	(8 980)	—	(-58 050)	(-40 500)
1 100	(10 570)	—	(-57 550)	(-38 750)
1 200	(12 240)	—	(-56 900)	(-37 300)
1 300	(13 990)	—	(-56 250)	(-35 450)
1 400	(15 810)	—	(-55 550)	(-33 850)
1 500	(17 720)	—	(-54 750)	(-32 300)
1 600	(19 700)	—	(-53 850)	(-30 850)
1 700	(21 760)	—	(-52 900)	(-29 550)
1 800	(23 590)	—	(-51 900)	(-28 150)
1 900	(26 110)	—	(-50 850)	(-26 850)
2 000	(28 410)	—	(-49 700)	(-25 600)

Нитрид тантала

TaN (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -60\,000 \text{ кал/моль [100]}$$

$$S_{298} = 12,4 \text{ э. е. [94]}$$

$$T_{пл} = (3360^\circ \text{ K}) [9]$$

Интервал I (тв) (298 — 773° K)

$$C_p = 7,73 + 7,80 \times 10^{-3}T [82]$$

$$H_T - H_{298} = -2652 + 7,73T + 3,90 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: Ta + 1/2N₂ → TaN

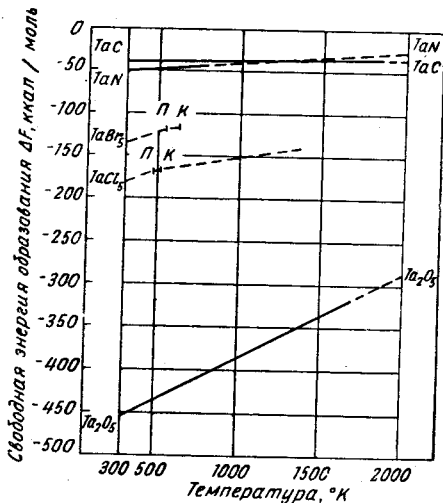


Рис. 52. Тантал

Тербий и его соединения

Элемент

Tb (тв)

$$S_{298} = (17,50) \text{ э. е. [121]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1638^\circ \text{ К}) [125]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (3900) \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = (2800^\circ \text{ К}) [125]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (70\,000) \text{ кал/г-атом}$$

Расчетные данные [130]

T, °К	$H_T - H_{298}$	S_T	$(F_T - H_{298})$
			T
298	—	(17,50)	(17,50)
400	(675)	(19,41)	(17,73)
500	(1 360)	(20,92)	(18,20)
600	(2 055)	(22,20)	(18,78)
700	(2 770)	(23,30)	(19,35)
800	(3 510)	(24,28)	(19,90)
900	(4 260)	(25,17)	(20,44)
1 000	(5 030)	(25,98)	(20,95)
1 100	(5 820)	(26,74)	(21,45)
1 200	(6 630)	(27,44)	(21,92)
1 300	(7 450)	(28,10)	(22,37)
1 400	(8 300)	(28,72)	(22,80)
1 500	(9 160)	(29,32)	(23,22)
1 600	(10 040)	(29,88)	(23,61)
1 700	(14 830)	(32,72)	(24,00)
1 800	(15 630)	(33,17)	(24,49)
1 900	(16 430)	(33,61)	(25,41)
2 000	(17 230)	(34,02)	(25,83)

Окись тербия

Tb₂O₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -436\,800 \pm 2000 \text{ кал/моль [129]}$$

Окисел тербия

Tb₇O₁₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = 1\,563\,000 \pm 7000 \text{ кал/моль [129]}$$

Окисел тербия

Tb₅O₉ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -1\,132\,000 \pm 5000 \text{ кал/моль [129]}$$

Трехфтористый тербий

TbF₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-375\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (25) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1445^\circ \text{ К}) [29]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2550^\circ \text{ К}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (60\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: Tb + ³/₂F₂ → TbF₃

Расчетные данные [11]

T, °К	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-375 000)	(-357 000)
500	(4 000)	(-374 700)	(-345 000)
1 000	(17 000)	(-371 800)	(-315 000)
1 500	(32 000)	(-368 000)	(-289 500)

Треххлористый тербий

TbCl₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-216\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (41) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{прев}} = 770^\circ \text{ К [29]}$$

$$T_{\text{пл}} = 855^\circ \text{ К [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (7000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1820^\circ \text{ К}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (45\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: Tb + ³/₂Cl₂ → TbCl₃

Расчетные данные [11]

T, °К	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-216 000)	(-200 500)
500	(5 000)	(-214 900)	(-190 000)
1 000	(19 000)	(-211 100)	(-167 000)
1 500	(43 000)	(-197 600)	(-148 500)

Трехбромистый тербий

TbBr₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-175\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (46) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1100^\circ \text{ К}) [29]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (9000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1760^\circ \text{ К}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (44\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $Tb + \frac{3}{2}Br_3 \rightarrow TbBr_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ K$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-175 000)	(-168 500)
500	(5 000)	(-185 600)	(-157 500)
1 000	(18 000)	(-183 000)	(-133 000)
1 500	(43 000)	(-181 000)	(-94 500)

$T, ^\circ K$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-122 000)	(-124 000)
500	(5 000)	(-143 400)	(-112 000)
1 000	(19 000)	(-139 500)	(-84 000)
1 500	(44 000)	(-125 000)	(-59 500)

Трехйодистый тербий

TbJ_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-122\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (48) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{пл} = (1219^\circ K [29])$$

$$\Delta H_{пл} = (10\,000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = (1600^\circ K [6])$$

$$\Delta H_{исп} = (40\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $Tb + \frac{3}{2}J_2 \rightarrow TbJ_3$

Расчетные данные [11]

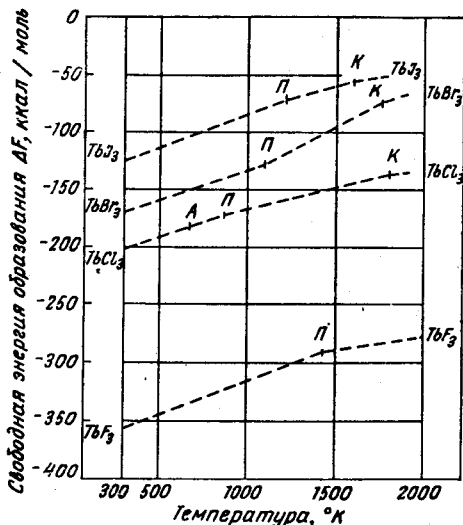


Рис. 53. Тербий

Торий и его соединения

Элемент

Th (тв)

$$S_{298} = 12,76 \text{ э. е. [46]}$$

$$T_{прев} = 1673^\circ K [130]$$

$$\Delta H_{прев} = (670) \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{пл} = 1968^\circ K [130]$$

$$\Delta H_{пл} = (3740) \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{кип} = 4500^\circ K [130]$$

$$\Delta H_{исп} = (130\,000) \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (тв) (298 — 1500° K)

$$C_p = 6,40 + 3,06 \times 10^{-3}T + 0,35 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1927 + 6,40T + 1,53 \times 10^{-3}T^2 - 0,35 \times 10^5 T^{-1}$$

$$F_T - H_{298} = -1927 - 6,40T \ln T - 1,53 \times 10^{-3}T^2 - 0,175 \times 10^5 T^{-1} + 30,71T$$

$T, ^\circ K$	$H_T - H_{298}$	S_T	$\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	12,76	12,76
400	790	15,04	13,09
500	1 600	16,85	13,65
600	2 420	18,34	14,31
700	3 260	19,64	14,97
800	4 120	20,79	15,64
900	5 010	21,85	16,28
1 000	5 930	22,80	16,87
1 100	6 880	23,71	17,45
1 200	7 870	24,57	18,01
1 300	8 910	25,40	18,55
1 400	10 000	26,21	19,07
1 500	11 130	26,99	19,57
1 600	(12 200)	(27,59)	(19,98)
1 700	(13 200)	(28,30)	(20,54)
1 800	(14 500)	(29,06)	(21,01)

Моноокись тория

ThO (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -145\,000 \text{ кал/моль [42]}$$

$$S_{298} = 16,1 \text{ э. е. [42]}$$

$$T_{\text{пл}} > 2500^\circ \text{K [42]}$$

Реакция образования: $\text{Th} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{ThO}$

Расчетные данные [42]

$T, ^\circ\text{K}$	ΔF_T^0	$T, ^\circ\text{K}$	ΔF_T^0
298	(-138 000)	1 500	(-113 000)
500	(-134 000)	2 000	(-102 000)
1 000	(-123 000)	2 500	(-91 000)

Двуокись тория

ThO₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -293\,200 \text{ кал/моль [63]}$$

$$S_{298} = 15,59 \text{ э. е. [24]}$$

$$T_{\text{пл}} = 3225^\circ \text{K [8]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 291\,100 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 4670^\circ \text{K [8]}$$

Интервал I (тв) (298 — 1800°K)

$$C_p = 15,84 + 2,88 \times 10^{-3}T - 1,60 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -5388 + 15,84T + 1,44 \times 10^{-3}T^2 + 1,60 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $\text{Th} + \text{O}_2 \rightarrow \text{ThO}_2$

Интервал I (298 — 1500°K)

$$\Delta C_p = 2,28 - 1,18 \times 10^{-3}T - 1,55 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -294\,350 + 2,28T - 0,59 \times 10^{-3}T^2 + 1,55 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -294\,350 - 2,28T \ln T + 0,59 \times 10^{-3}T^2 + 0,775 \times 10^5 T^{-1} + 61,96T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	15,59	-293 200	-279 450
400	1 600	20,20	-293 100	-274 700
500	3 210	23,79	-293 050	-270 150
600	4 890	26,85	-292 950	-265 600
700	6 620	29,91	-292 850	-261 050
800	8 390	31,88	-292 700	-256 500
900	10 200	34,01	-292 600	-251 950
1 000	12 050	35,96	-292 500	-247 450
1 100	13 940	37,76	-292 350	-242 450
1 200	15 860	39,43	-292 250	-238 400
1 300	17 800	40,98	-292 200	-233 900
1 400	19 760	42,43	-292 150	-229 450
1 500	21 740	43,80	-292 250	-225 000
1 600	23 740	45,09	(-292 100)	(-220 550)
1 700	25 750	46,31	(-292 000)	(-216 000)
1 800	27 770	47,46	(-292 150)	(-211 700)

Четырехфтористый торий

ThF₄ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-477\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (35) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1300^\circ \text{K}) [11]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (17\,000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2000^\circ \text{K}) [11]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (50\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Th} + 2\text{F}_2 \rightarrow \text{ThF}_4$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-477 000)	(-454 000)
500	(6 000)	(-475 800)	(-438 000)
1 000	(22 000)	(-472 600)	(-403 000)
1 500	(59 000)	(-449 600)	(-373 000)

Треххлористый торий

ThCl₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-242\,000) \text{ кал/моль [42]}$$

$$S_{298} = (43,2) \text{ э. е. [42]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1100^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (9\,000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1890^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (46\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Th} + 3/2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{ThCl}_3$

Расчетные данные [42]

$T, ^\circ\text{K}$	ΔF_T^0	$T, ^\circ\text{K}$	ΔF_T^0
298	(-227 000)	1 500	(-179 000)
500	(-218 000)	2 000	(-172 000)
1 000	(-196 000)	2 500	(-161 000)

Четыреххлористый торий

ThCl_4 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -285\,200 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (44) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1038^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 22\,500 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1195^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 36\,500 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Th} + 2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{ThCl}_4$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-285 200	(-262 600)
500	(6 000)	(-284 000)	(-247 200)
1 000	(23 000)	(-280 000)	(-211 000)
1 500	(84 500)	(-232 500)	(-198 000)

Четырехбромистый торий

ThBr_4 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-230\,300) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (56) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 953^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 9\,500 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1130^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 34\,500 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Th} + 2\text{Br}_2 \rightarrow \text{ThBr}_4$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-230 300)	(-221 200)
500	(6 000)	(-244 900)	(-207 000)
1 000	(33 000)	(-231 200)	(-172 500)
1 500	(88 500)	(-189 700)	

Четырехйодистый торий

ThI_4 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-161\,200) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (63) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 839^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 8\,000 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1110^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 31\,500 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Th} + 2\text{I}_2 \rightarrow \text{ThI}_4$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-161 200)	(-159 000)
500	(6 000)	(-189 900)	(-154 200)
1 000	(33 000)	(-176 200)	(-118 000)
1 500	(85 500)	(-137 800)	(-72 000)

Карбид тория

ThC_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -45\,600 \text{ кал/моль [9]}$$

$$S_{298} = (30) \text{ э. е. [9]}$$

$$\Delta F_{298}^0 = (-50\,000) \text{ кал/моль [9]}$$

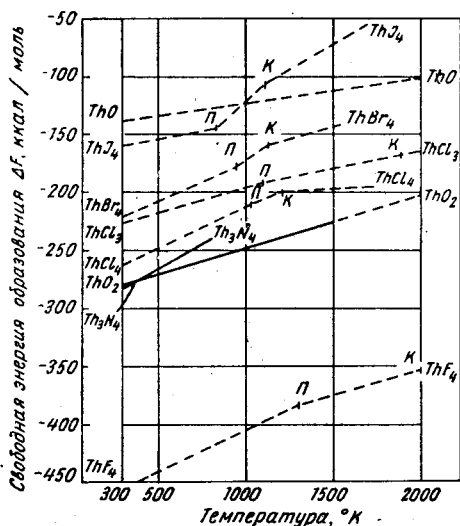


Рис. 54. Торий

Нитрид тория

Th₃N₄ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -308\,400 \text{ кал/моль [9]}$$

$$S_{298} = 42,7 \text{ э. е. [9]}$$

Интервал I (тв) (298 — 800° K)

$$C_p = 27,78 + 31,8 \times 10^{-3} T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -9696 + 27,78T + 15,9 \times 10^{-3} T^2$$

Реакция образования: 3Th + 2N₂ → Th₃N₄

Интервал I (298 — 800° K)

$$\Delta C_p = -4,74 + 20,58 \times 10^{-3} T - 1,05 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -308\,250 - 4,74T + 10,29 \times 10^{-3} T^2 + 1,05 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -308\,250 - 4,74T \ln T - 10,29 \times 10^{-3} T^2 + 0,525 \times 10^5 T^{-1} + 62,07T$$

T, °K	H _T - H ₂₉₈	S _T	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	42,7	-308 400	-282 450
400	3 960	54,11	-308 250	-273 600
500	8 180	63,51	-307 850	-264 950
600	12 720	71,78	-307 200	-256 400
700	17 540	79,20	-306 350	-248 000
800	22 540	85,87	-305 400	-239 700

Тулий и его соединения

Элемент

Tl (тв)

$$S_{298} = (17,10) \text{ э. е. [127]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1900^\circ \text{K}) \text{ [125]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (4400) \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = (2400^\circ \text{K}) \text{ [125]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (51\,000) \text{ кал/г-атом}$$

Расчетные данные [130]

T, °K	H _T - H ₂₉₈	S _T	(F _T - H ₂₉₈) / T
298	—	(17,10)	(17,10)
400	(660)	(18,97)	(17,32)
500	(1 330)	(20,46)	(17,80)
600	(2 010)	(21,71)	(18,36)
700	(2 710)	(22,78)	(18,91)
800	(3 420)	(23,73)	(19,46)
900	(4 150)	(24,59)	(19,98)
1 000	(4 890)	(25,37)	(20,48)
1 100	(5 650)	(26,09)	(20,96)
1 200	(6 420)	(26,77)	(21,42)
1 300	(7 210)	(27,40)	(21,86)
1 400	(8 010)	(27,99)	(22,27)
1 500	(8 830)	(28,56)	(22,68)
1 600	(9 660)	(29,09)	(23,06)
1 700	(10 510)	(29,61)	(23,43)
1 800	(11 370)	(30,10)	(23,79)
1 900	(16 650)	(32,89)	(24,13)
2 000	(17 450)	(33,30)	(24,58)

Фтористый тулий

TlF₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-366\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (25) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1610^\circ \text{K}) \text{ [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2500^\circ \text{K}) \text{ [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (60\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: Tl + ³/₂F₂ → TlF₃

Расчетные данные [11]

T, °K	H _T - H ₂₉₈	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	(-366 000)	(-348 000)
500	(4 000)	(-365 700)	(-336 500)
1 000	(17 000)	(-362 600)	(-308 000)
1 500	(32 000)	(-378 000)	(-282 000)

Хлористый тулий

TlCl₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -229\,000 \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (39) \text{ э. е. [39]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1094^\circ \text{К} [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (9000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1760^\circ \text{К}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (44\ 000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Tu} + \frac{3}{2}\text{Cl}_2 \rightarrow \text{TuCl}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	—229 000	(—212 500)
500	(5 000)	(—227 900)	(—201 500)
1 000	(19 000)	(—224 000)	(—176 000)
1 500	(43 000)	(—210 400)	(—157 000)

Бромистый тулий

TuBr_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-167\ 000) \text{ кал/моль} [5]$$

$$S_{298} = (44) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{\text{пл}} = (1225^\circ \text{К}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (10\ 000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1710^\circ \text{К}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (43\ 000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Tu} + \frac{3}{2}\text{Br}_2 \rightarrow \text{TuBr}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(—167 000)	(—160 000)
500	(5 000)	(—177 600)	(—148 500)
1 000	(18 000)	(—174 900)	(—123 000)
1 500	(43 000)	(—160 600)	(—103 500)

Олово и его соединения

Элемент

Sn (тв)

$$S_{298} = 1229 \text{ э. е.} [83]$$

$$T_{\text{пл}} = 505^\circ \text{К} [82]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 1720 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 2960^\circ \text{К} [130]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 69\ 400 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (тв) (298 — 505° К)

$$C_p = 4,42 + 6,30 \times 10^{-3} T [82]$$

$$H_T - H_{298} = -1598 + 4,42T +$$

$$+ 3,15 \times 10^{-3} T^2$$

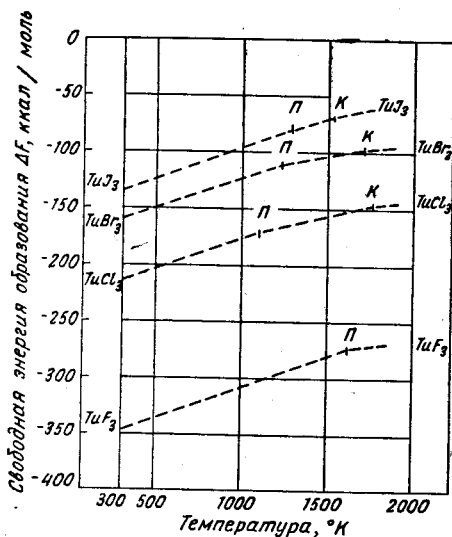


Рис. 55. Тулий

Иодистый тулий

TuI_3 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-138\ 000) \text{ кал/моль} [5]$$

$$S_{298} = (47) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{\text{пл}} = 1288^\circ \text{К} [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (10\ 000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1530^\circ \text{К}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (40\ 000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Tu} + \frac{3}{2}\text{I}_2 \rightarrow \text{TuI}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(—138 000)	(—135 500)
500	(5 000)	(—159 300)	(—123 500)
1 000	(19 000)	(—155 600)	(—95 000)
1 500	(44 000)	(—142 000)	(—70 500)

$$F_T - H_{298} = -1598 - 4,42T \ln T - 3,15 \times 10^{-3}T^2 + 19,19T$$

Интервал II (ж) (505 — 1300° К)

$$C_P = 7,30 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -526 - 7,30T$$

$$F_T - H_{298} = -526 - 7,30T \ln T + 33,41T$$

Интервал III (ж) (1300 — 2000° К)

Расчетные данные [130]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	12,29	12,29
400	680	14,25	12,55
500	1 400	15,85	13,05
600	3 850	20,59	14,17
700	4 580	21,72	15,17
800	5 310	22,69	16,05
900	6 040	23,55	16,83
1 000	6 770	24,32	17,55
1 100	7 500	25,02	18,20
1 200	8 230	25,65	18,79
1 300	8 960	26,23	19,34
1 400	(9 690)	(26,77)	(19,85)
1 500	(10 420)	(27,28)	(20,34)
1 600	(11 150)	(27,75)	(20,79)
1 700	(11 880)	(28,19)	(21,21)
1 800	(12 610)	(28,61)	(21,61)
1 900	(13 340)	(29,00)	(21,98)
2 000	(14 070)	(29,38)	(22,35)

Закись олова

SnO (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -68 350 \text{ кал/моль [71]}$$

$$S_{298} = 13,5 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1315^\circ \text{ К [42]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (6400) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1800^\circ \text{ К [42]})$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (60 000) \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 1273° К)

$$C_P = 9,95 + 3,50 \times 10^{-3}T$$

$$H_T - H_{298} = -3120 + 9,95T + 1,75 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $\text{Sn} + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{SnO}$

Интервал I (298 — 505° К)

$$\Delta C_P = 1,95 - 3,3 \times 10^{-3}T + 0,20 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -68 720 + 1,95T - 1,65 \times 10^{-3}T^2 - 0,20 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -68 720 - 1,95T \ln T + 1,65 \times 10^{-3}T^2 - 0,10 \times 10^5 T^{-1} + 35,26T$$

Интервал II (505 — 1300° К)

$$\Delta C_P = -0,93 + 3,0 \times 10^{-3}T + 0,20 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -69 800 - 0,93T + 1,5 \times 10^{-3}T^2 - 0,20 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -69 800 + 0,93T \ln T + 1,5 \times 10^{-3}T^2 - 0,10 \times 10^5 T^{-1} + 21,07T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	13,5	-68 350	-61 400
400	1 130	16,79	-68 250	-59 000
500	2 280	19,37	-68 200	-56 800
600	3 460	21,53	-69 850	-54 200
700	4 680	23,41	-69 750	-51 600
800	5 930	25,09	-69 700	-49 100
900	7 210	26,61	-69 500	-46 500
1 000	8 580	28,01	-69 250	-43 900
1 100	9 880	29,30	-69 050	-41 300
1 200	11 270	30,52	-68 850	-38 800
1 300	12 690	31,67	-68 550	-36 300

Окись олова

SnO₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -138 820 \text{ кал/моль [71]}$$

$$S_{298} = 12,5 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{возг}} = 2123^\circ \text{ К [94]}$$

Интервал I (тв) (298 — 1500° К)

$$C_P = 17,66 + 2,40 \times 10^{-3}T - 5,16 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -7100 + 17,66T + 1,20 \times 10^{-3}T^2 + 5,16 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $\text{Sn} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SnO}_2$

Интервал I (298 — 505° К)

$$\Delta C_p = 6,08 - 4,90 \times 10^{-3}T - 4,76 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -142010 + 6,08T - 2,45 \times 10^{-3}T^2 + 4,76 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -142010 - 6,08T \ln T + 2,45 \times 10^{-3}T^2 + 2,38 \times 10^5 T^{-1} + 90,74T$$

Интервал II (505 — 1300° К)

$$\Delta C_p = 3,2 + 1,4 \times 10^{-3}T - 4,76 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -143190 + 3,2T + 0,7 \times 10^{-3}T^2 + 4,76 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -143190 - 3,2T \ln T - 0,7 \times 10^{-3}T^2 + 2,38 \times 10^5 T^{-1} + 76,58T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	12,5	-138 820	-124 300
400	1 510	16,84	-138 700	-119 300
500	3 100	20,38	-138 600	-114 500
600	4 780	23,45	-140 100	-109 300
700	6 550	26,18	-139 800	-104 300
800	8 390	28,63	-139 500	-99 200
900	10 280	30,85	-139 200	-94 200
1 000	12 210	32,88	-138 800	-89 200
1 100	14 190	34,77	-138 300	-84 200
1 200	16 210	36,53	-137 900	-79 300
1 300	18 260	38,17	-137 400	-74 400
1 400	20 340	39,71	-136 800	-69 500
1 500	22 440	41,16	-136 500	-64 800

Двухфтористое олово

SnF_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-158\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = 29 \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} > 900^\circ \text{K [6]}$$

$$T_{\text{кип}} > 1500^\circ \text{K [6]}$$

Реакция образования: $\text{Sn} + \text{F}_2 \rightarrow \text{SnF}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-158 000)	(-148 500)
500	(4 000)	(-157 000)	(-141 500)

Двуххлористое олово

SnCl_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-81\,100) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (34) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 500^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 3050 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 925^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 19\,500 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Sn} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{SnCl}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-81 000	(-71 600)
500	(4 000)	(-80 000)	(-65 500)

Четыреххлористое олово

SnCl_4 (ж)

$$\Delta H_{298}^0 = -127\,400 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = 62,2 \text{ э. е. [83]}$$

$$\Delta F_{298}^0 = -16\,900 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 240^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 2190 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 386^\circ \text{K}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 9325 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (г) (298 — 1000° К)

$$C_p = 25,57 + 0,20 \times 10^{-3}T - 1,87 \times 10^5 T^{-2} \quad [82]$$

$$H_T - H_{298} = -8260 + 25,57T + 0,10 \times 10^{-3}T^2 + 1,87 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $\text{Sn} + 2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{SnCl}_4$

Расчетные данные [11]

Расчетные данные [11]

T, °K	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-94 700	(-87 000)
500	(22 000)	(-98 000)	(-79 000)

Двубромистое олово

SnBr_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -61\,400 \text{ кал/моль} \quad [11]$$

$$S_{298} = (39) \text{ э. е.} \quad [11]$$

$$T_{\text{пл}} = 505^\circ \text{ К} \quad [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 1720 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 912^\circ \text{ К} \quad [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 23\,500 \text{ кал/моль}$$

Двуйодистое олово

SnJ_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -38\,900 \text{ кал/моль} \quad [11]$$

$$S_{298} = (41) \text{ э. е.} \quad [11]$$

$$T_{\text{пл}} = 593^\circ \text{ К} \quad [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (3000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 987^\circ \text{ К} \quad [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 24\,000 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Sn} + \text{J}_2 \rightarrow \text{SnJ}_2$

Расчетные данные [11]

T, °K	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-38 900	(-39 100)
500	(4 000)	(-53 000)	(-36 800)

Реакция образования: $\text{Sn} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{SnBr}_2$

Расчетные данные [11]

T, °K	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-61 400	(-58 500)
500	(4 000)	(-68 400)	(-52 000)

Четырехбромистое олово

SnBr_4 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -94\,700 \text{ кал/моль} \quad [11]$$

$$S_{298} = (62) \text{ э. е.} \quad [11]$$

$$T_{\text{пл}} = 303^\circ \text{ К} \quad [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 3000 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 480^\circ \text{ К} \quad [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (10\,500) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Sn} + 2\text{Br}_2 \rightarrow \text{SnBr}_4$

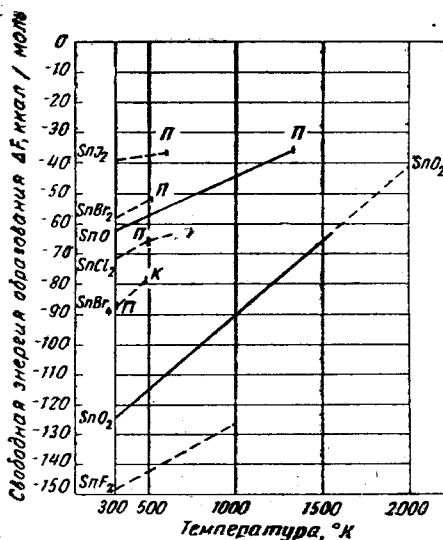


Рис. 56. Олово

Титан и его соединения

Элемент

Ti (ТВ)

$$S_{298} = 7,24 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{прев}} = 1150^\circ \text{ К [82]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 950 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{пл}} = 1998^\circ \text{ К [94]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 4500 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кнп}} = 3550^\circ \text{ К [7]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 101\,000 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (α) (298 — 1150° К)

$$C_p = 5,25 + 2,52 \times 10^{-3} T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1677 + 5,25T + 1,26 \times 10^{-3} T^2$$

$$F_T - H_{298} = -1677 - 5,25T \ln T - 1,26 \times 10^{-3} T^2 + 28,66T$$

Интервал II (β) (1150 — 1988° К)

$$C_p = 7,50 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1650 + 7,50T$$

$$F_T - H_{298} = -1650 - 7,50T \ln T + 43,1T$$

$T, ^\circ \text{ К}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	7,24	7,24
400	625	9,04	7,50
500	1 250	10,44	7,90
600	1 920	11,66	8,47
700	2 610	12,72	9,07
800	3 330	13,68	9,56
900	4 070	14,55	10,03
1 000	4 840	15,36	10,52
1 100	5 630	16,11	10,99
1 200	7 350	17,62	11,51
1 300	8 100	18,22	12,00
1 400	8 850	18,77	12,40
1 500	9 600	19,29	12,84
1 600	10 350	19,70	13,22
1 700	11 100	20,15	13,59
1 800	11 850	20,5	13,92
1 900	12 590	20,95	14,32
2 000	17 850	23,65	14,72

Закись титана

TiO (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -123\,900 \text{ кал/моль [68]}$$

$$S_{298} = 8,31 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{прев}} = 1264^\circ \text{ К [82]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 820 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 2293^\circ \text{ К [94]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 14\,000 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (ТВ) (298 — 1264° К)

$$C_p = 10,57 + 3,60 \times 10^{-3} T - 1,86 \times 10^{-5} T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -3935 + 10,57T + 1,80 \times 10^{-3} T^2 + 1,86 \times 10^5 T^{-1}$$

Интервал II (ж) (1264 — 2000° К)

$$C_p = 11,85 + 3,00 \times 10^{-3} T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -4100 + 11,87T + 1,50 \times 10^{-3} T^2$$

Реакция образования: $\text{Ti} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{TiO}$

Интервал I (298 — 1150° К)

$$\Delta C_p = 1,74 + 0,58 \times 10^{-3} T - 1,66 \times 10^{-5} T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -125\,000 + 1,74T + 0,29 \times 10^{-3} T^2 + 1,66 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -125\,000 - 1,74T \ln T - 0,29 \times 10^{-3} T^2 + 0,83 \times 10^5 T^{-1} + 36,12T$$

Интервал II (1150 — 1264° К)

$$\Delta C_p = -0,51 + 3,10 \times 10^{-3} T - 1,66 \times 10^{-5} T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -125\,050 - 0,51T + 1,55 \times 10^{-3}T^2 + 1,66 \times 10^5T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -125\,050 + 0,51T \ln T - 1,55 \times 10^{-3}T^2 + 0,83 \times 10^5T^{-1} + 21,80T$$

Интервал III (1264 — 1800° К)

$$\Delta C_P = 0,77 + 2,50 \times 10^{-3}T + 0,20 \times 10^5T^{-1}$$

$$\Delta H_T = -125\,245 + 0,77T + 1,25 \times 10^{-3}T^2 - 0,20 \times 10^5T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -125\,245 - 0,77T \ln T - 1,25 \times 10^{-3}T^2 - 0,10 \times 10^5T^{-1} + 30,8T$$

Интервал I (α) (298 — 473° К)

$$C_P = 7,31 + 53,52 \times 10^{-3}T \quad [82]$$

$$H_T - H_{298} = -4558 + 7,31T + 26,76 \times 10^{-3}T^2$$

Интервал II (β) (473 — 1800° К)

$$C_P = 34,68 + 1,30 \times 10^{-3}T - 10,20 \times 10^5T^{-2} \quad [82]$$

$$H_T - H_{298} = -13\,605 + 34,68T + 0,65 \times 10^{-3}T^2 + 10,20 \times 10^5T^{-1}$$

Реакция образования: $2Ti + \frac{3}{2}O_2 \rightarrow Ti_2O_3$

Интервал I (298 — 473° К)

$$\Delta C_P = -13,93 + 46,98 \times 10^{-3}T + 0,60 \times 10^5T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -360\,630 - 13,93T + 23,49 \times 10^{-3}T^2 - 0,60 \times 10^5T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -360\,630 + 13,93T \ln T - 23,49 \times 10^{-3}T^2 - 0,30 \times 10^5T^{-1} - 17,41T$$

Интервал II (473 — 1150° К)

$$\Delta C_P = 13,44 - 5,24 \times 10^{-3}T - 9,60 \times 10^5T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -369\,620 + 13,44T - 2,62 \times 10^{-3}T^2 + 9,60 \times 10^5T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -369\,620 - 13,44T \ln T + 2,62 \times 10^{-3}T^2 + 4,80 \times 10^5T^{-1} + 163,11T$$

Интервал III (1150 — 1800° К)

$$\Delta C_P = 8,94 - 0,2 \times 10^{-3}T - 9,60 \times 10^5T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -369\,730 + 8,94T - 0,10 \times 10^{-3}T^2 + 9,60 \times 10^5T^{-1}$$

$T, ^\circ K$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	8,31	-123 900	-116 900
400	1 080	11,42	-123 800	-113 550
500	2 220	13,96	-123 650	-112 250
600	3 410	16,13	-123 500	-110 000
700	4 640	18,02	-123 350	-107 700
800	5 910	19,72	-123 200	-105 500
900	7 240	21,27	-123 050	-103 300
1 000	8 600	22,71	-122 850	-101 100
1 100	10 020	24,06	-122 600	-98 900
1 200	11 490	25,34	-123 300	-96 700
1 300	13 840	27,21	-122 100	-94 500
1 400	15 430	28,39	-121 700	-92 500
1 500	17 050	29,51	-121 300	-90 350
1 600	18 700	30,57	-120 750	-88 350
1 700	20 380	31,59	-120 300	-86 400
1 800	22 090	32,57	-119 750	-84 750

Оксид титана

 Ti_2O_3 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -362\,900 \text{ кал/моль} \quad [68]$$

$$S_{298} = 18,83 \text{ э. е.} \quad [83]$$

$$T_{\text{прев}} = 473^\circ \text{ К} \quad [82]$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 215 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 2400^\circ \text{ К} \quad [8]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 38\,400 \text{ кал/моль}$$

$$\Delta F_T = -369\,730 - 8,94T \ln T + 0,10 \times 10^{-3}T^2 + 4,80 \times 10^5 T^{-1} + 133,85T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	18,83	-362 900	-344 000
400	2 610	26,32	-362 600	-335 200
500	5 940	33,70	-361 600	-328 250
600	9 140	39,54	-360 900	-322 000
700	12 440	44,62	-360 150	-315 550
800	15 930	49,14	-359 400	-309 300
900	19 270	53,19	-358 650	-303 050
1 000	22 740	56,85	-358 000	-297 800
1 100	26 260	60,21	-357 200	-290 600
1 200	29 800	63,29	-358 350	-284 350
1 300	33 360	66,13	-357 550	-278 550
1 400	36 950	68,79	-356 700	-272 300
1 500	40 560	71,29	-356 050	-266 450
1 600	44 180	73,62	-355 100	-260 600
1 700	47 830	75,83	-354 300	-254 750
1 800	51 490	77,93	-353 450	-249 450

Оксид титана

Ti₃O₅ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -587\,000 \text{ кал/моль [68]}$$

$$S_{298} = 30,9 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{прев}} = 405^\circ \text{K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 2240 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} > 2500^\circ \text{K [42]}$$

Интервал I (α) (298 — 405° K)

$$C_p = 35,47 + 29,50 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -11\,887 + 35,47T + 14,75 \times 10^{-3}T^2$$

Интервал II (β) (405 — 1400° K)

$$C_p = 41,60 + 8,00 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -10\,230 + 41,60T + 4,00 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $3\text{Ti} + \frac{5}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{Ti}_3\text{O}_5$

Интервал I (298 — 450° K)

$$\Delta C_p = 1,82 + 19,44 \times 10^{-3}T + 1,0 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -588\,070 + 1,82T + 9,72 \times 10^{-3}T^2 - 1,0 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -588\,070 + 1,82T \ln T - 9,72 \times 10^{-3}T^2 - 0,50 \times 10^5 T^{-1} + 130,77T$$

Интервал II (450 — 1150° K)

$$C_p = 7,95 - 2,06 \times 10^{-3}T + 1,0 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -586\,330 + 7,95T - 1,03 \times 10^{-3}T^2 - 1,0 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -586\,330 - 7,95T \ln T + 1,03 \times 10^{-3}T^2 - 0,50 \times 10^5 T^{-1} + 159,57T$$

Интервал III (1150 — 1400° K)

$$\Delta C_p = 1,20 + 5,50 \times 10^{-3}T + 1,0 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -586\,460 + 1,20T + 2,75 \times 10^{-3}T^2 - 1,0 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -586\,460 - 1,20T \ln T - 2,75 \times 10^{-3}T^2 - 0,50 \times 10^5 T^{-1} + 116,27T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	30,9	-587 000	-553 200
400	4 660	44,33	-586 000	-541 900
500	11 570	59,75	-582 800	-531 100
600	16 220	68,22	-582 050	-520 650
700	20 880	75,40	-581 400	-510 700
800	25 550	81,64	-580 900	-500 700
900	30 290	87,21	-580 400	-491 600
1 000	35 030	92,42	-580 050	-480 900
1 100	40 270	97,42	-579 150	-471 050
1 200	45 510	101,79	-581 150	-460 850
1 300	50 660	105,91	-580 300	-450 500
1 400	55 810	109,73	-579 550	-440 750

Двуокись титана (рутил)

TiO₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -225\,600 \text{ кал/моль [68]}$$

$$S_{298} = 12,01 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 2123^\circ \text{ К [94]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 15\,500 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 3273^\circ \text{ К [94]}$$

Интервал I (тв) (298 — 1800° К)

$$C_p = 17,97 + 0,28 \times 10^{-3}T - 4,35 \times 10^5 T^{-2} \text{ [83]}$$

$$H_T - H_{298} = -6829 + 17,97T + 0,14 \times 10^{-3}T^2 + 4,35 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: Ti + O₂ → TiO₂

Интервал I (298 — 1150° К)

$$\Delta C_p = 5,56 - 3,24 \times 10^{-3}T - 3,95 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -228\,520 + 5,56T - 1,62 \times 10^{-3}T^2 + 3,95 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -228\,520 - 5,56T \ln T + 1,62 \times 10^{-3}T^2 + 1,97 \times 10^5 T^{-1} + 82,64T$$

Интервал II (1150 — 1800° К)

$$\Delta C_p = 3,31 - 0,72 \times 10^{-3}T - 3,95 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -228\,570 + 3,31T - 0,36 \times 10^{-3}T^2 + 3,95 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -228\,570 - 3,31T \ln T + 0,36 \times 10^{-3}T^2 + 1,95 \times 10^5 T^{-1} + 68,47T$$

T, °К	H _T -H ₂₉₈	S _T	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	12,01	-225 600	-212 400
400	1 540	16,44	-225 400	-207 900
500	3 100	19,92	-225 200	-203 600
600	4 735	22,90	-225 000	-199 300
700	6 440	25,52	-224 750	-194 950
800	8 160	27,82	-224 550	-190 750
900	9 900	29,87	-224 350	-186 550
1 000	11 650	31,71	-224 200	-182 350
1 100	13 420	33,40	-224 000	-178 000
1 200	15 200	34,95	-224 800	-173 890
1 300	17 000	36,39	-224 550	-169 550
1 400	18 820	37,74	-224 350	-165 450
1 500	20 660	39,01	-224 200	-161 200
1 600	22 540	40,22	-223 850	-157 250
1 700	24 340	41,37	-223 600	-153 100
1 800	26 340	42,46	-223 350	-149 350

Двуфтористый титан

TiF₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-198\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (18) \text{ э. е. [11]}$$

Реакция образования: Ti + F₂ → TiF₂

Расчетные данные [86]

T, °К	H _T -H ₂₉₈	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	(-198 000)	(-187 000)
500	(4 000)	(-197 000)	(-179 000)
1 000	(14 000)	(-195 000)	(-160 000)
1 500	(25 000)	(-193 000)	(-142 000)

Трехфтористый титан

TiF₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-315\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

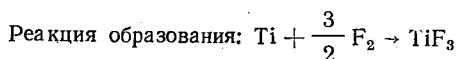
$$S_{298} = (28) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1500^\circ \text{ К}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (12\,000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1700^\circ \text{ К}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (49\,000) \text{ кал/моль}$$



Расчетные данные [11]

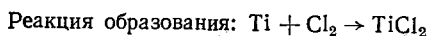
$T, ^\circ K$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-315 000)	(-299 500)
500	(4 000)	(-314 600)	(-289 000)
1 000	(17 000)	(-309 000)	(-262 000)
1 500	(32 000)	(-303 000)	(-237 000)

Двухлористый титан

$TiCl_2$ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -123\,700 \text{ кал/моль [86]}$$

$$S_{298} = (24,3) \text{ э. е. [86]}$$



Расчетные данные [86]

$T, ^\circ K$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-123 000	(-112 150)
400	(1 790)	(-122 700)	(-108 500)
500	(3 600)	(-122 350)	(-105 000)
600	(5 450)	(-122 050)	(-101 550)
700	(7 340)	(-121 700)	(- 98 200)
800	(9 280)	(-121 400)	(- 94 850)
900	(11 270)	(-121 000)	(- 91 550)
1 000	(13 300)	(-120 650)	(- 88 300)
1 100	(15 380)	(-120 050)	(- 85 100)
1 200	(17 500)	(-120 750)	(- 81 850)

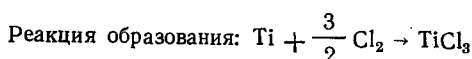
Трехлористый титан

$TiCl_3$ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -172\,000 \text{ кал/моль [86]}$$

$$S_{298} = (33,4) \text{ э. е. [86]}$$

Диспропорционируется (1200° K) [6]



Расчетные данные [86]

$T, ^\circ K$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-172 000	(-155 950)
400	(2 320)	(-171 550)	(-150 500)
500	(4 660)	(-171 150)	(-145 300)
600	(7 070)	(-170 700)	(-140 150)
700	(9 560)	(-170 200)	(-135 100)
800	(12 110)	(-169 700)	(-130 150)
900	(14 740)	(-169 150)	(-125 200)
1 000	(17 430)	(-168 600)	(-120 350)
1 100	(20 190)	(-167 950)	(-115 600)
1 200	(23 030)	(-168 200)	(-110 750)

Четырехлористый титан

$TiCl_4$ (ж)

$$\Delta H_{298}^0 = -192\,100 \text{ кал/моль [86]}$$

$$S_{298} = 59,50 \text{ э. е. [86]}$$

$$T_{пл} = 250^\circ K [6]$$

$$\Delta H_{пл} = 2240 \text{ кал/моль}$$

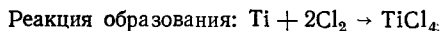
$$T_{кип} = 409^\circ K [6]$$

$$\Delta H_{исп} = 8346 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (г) (409 — 2000° K)

$$C_p = 25,45 + 0,24 \times 10^{-3}T - 2,36 \times 10^5 T^{-2} [82]$$

$$H_T - H_{298} = -8390 + 25,45T + 0,12 \times 10^{-3}T^2 + 2,36 \times 10^5 T^{-1}$$



Интервал I (298 — 409° K)

Интервал II (409 — 1150° K)

$$\Delta C_p = 2,56 - 2,4 \times 10^{-3}T - 1,0 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -183\,300 + 2,56T - 1,2 \times 10^{-3}T^2 - 1,0 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -183\,300 - 2,56T \ln T + 1,2 \times 10^{-3}T^2 + 0,5 \times 10^5 T^{-1} + 46,78T$$

Интервал III (1150 — 1900° K)

$$\Delta C_P = 0,31 + 0,12 \times 10^{-3}T - 1,0 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -183\,300 + 0,31T + 0,06 \times 10^{-3}T^2 + 1,0 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -183\,300 - 0,31T \ln T - 0,06 \times 10^{-3}T^2 + 0,5 \times 10^5 T^{-1} + 32,41T$$

Расчетные данные [86]

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	59,50	-192 100	-175 900
400	3 820	70,52	-190 600	-170 550
500	14 670	96,94	-182 100	-167 450
600	17 150	101,16	-181 950	-164 500
700	19 655	105,02	-181 900	-161 600
800	22 180	108,39	-181 850	-158 700
900	24 720	111,38	-181 800	-155 850
1 000	27 265	114,06	-181 800	-152 950
1 100	29 805	116,49	-181 750	-150 050
1 200	32 375	118,72	-182 750	-147 100
1 300	34 915	120,77	-182 750	-144 150
1 400	37 505	122,67	-182 650	-141 150
1 500	40 150	124,44	-182 600	-138 150
1 600	42 640	126,10	-182 600	-135 200
1 700	45 200	127,66	-182 600	-132 250
1 800	47 785	129,13	-182 600	-129 250
1 900	50 360	130,52	-182 600	-126 250

Двубромистый титанTiBr₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-95\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (30) \text{ э. е. [30]}$$

$$T_{\text{пл}} = (900^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (6000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1500^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (33\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Ti} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{TiBr}_2$

Расчетные данные [11]

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-95 000)	(-91 000)
500	(4 000)	(-102 000)	(-84 000)
1 000	(21 000)	(-93 000)	(-65 000)
1 500	(33 000)	(-90 000)	(-53 000)

Трехбромистый титанTiBr₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-132\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (43) \text{ э. е. [11]}$$

Диспропорционируется (1200° K) [6]

Реакция образования: $\text{Ti} + \frac{3}{2} \text{Br}_2 \rightarrow \text{TiBr}_3$

Расчетные данные [11]

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-132 000)	(-126 500)
500	(5 000)	(-142 500)	(-117 000)
1 000	(19 000)	(-139 000)	(-91 000)

Четырехбромистый титанTiBr₄ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -148\,200 \text{ кал/моль [86]}$$

$$S_{298} = 58,0 \text{ э. е. [86]}$$

$$T_{\text{пл}} = 311^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 2060 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 503^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (11\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Ti} + 2\text{Br}_2 \rightarrow \text{TiBr}_4$

Расчетные данные [86]

$T, \text{ }^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-148 200	-142 000
500	(11 000)	(-159 000)	(-132 000)

Двуйодистый титанTiI₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-61\,100) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (33) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (900^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (6000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1300^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (27\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Ti} + \text{J}_2 \rightarrow \text{TiJ}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-61 100)	(-60 500)
500	(4 000)	(-75 000)	(-57 000)
1 000	(21 000)	(-66 000)	(-39 000)
1 500	(60 000)	(-36 000)	(-25 000)

Трехйодистый титан

TiJ_3 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-80\,000) \text{ кал/моль} [11]$$

$$S_{298} = (47) \text{ э. е.} [11]$$

Диспропорционируется $> 1200^\circ \text{K}$ [6]

Реакция образования: $\text{Ti} + \frac{3}{2} \text{J}_2 \rightarrow \text{TiJ}_3$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-80 000)	(-79 000)
500	(5 000)	(-102 000)	(-75 000)
1 000	(20 000)	(-97 500)	(-48 000)

Четырехйодистый титан

TiJ_4 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-101\,000) \text{ кал/моль} [11]$$

$$S_{298} = (64) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{\text{пл}} = 423^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (3000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 650^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 13\,500 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Ti} + 2\text{J}_2 \rightarrow \text{TiJ}_4$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-101 000)	(-101 000)
500	(11 000)	(-124 600)	(-89 500)

Карбид титана

TiC (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -44\,100 \text{ кал/моль} [86]$$

$$S_{298} = 5,79 \text{ э. е.} [88]$$

$$T_{\text{пл}} = 3450^\circ \text{K} [9]$$

Интервал I (ТВ) (298 — 1800° K)

$$C_P = 11,83 + 0,80 \times 10^{-3}T - 3,58 \times 10^5 T^{-2} [82]$$

$$H_T - H_{298} = -4764 + 11,83T + 0,40 \times 10^{-3}T^2 + 3,58 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $\text{Ti} + \text{C} \rightarrow \text{TiC}$

Интервал I (298 — 1150° K)

$$\Delta C_P = 2,48 - 2,74 \times 10^{-3}T - 1,48 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -45\,100 + 2,48T - 1,37 \times 10^{-3}T^2 + 1,48 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -45\,100 - 2,48T \ln T + 1,37 \times 10^{-3}T^2 + 0,74 \times 10^5 T^{-1} + 19,41T$$

Интервал II (1150 — 1800° K)

$$\Delta C_P = 0,23 - 0,22 \times 10^{-3}T - 1,48 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -45\,200 + 0,23T - 0,11 \times 10^{-3}T^2 + 1,48 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -45\,200 - 0,23T \ln T + 0,11 \times 10^{-3}T^2 + 0,74 \times 10^5 T^{-1} + 4,96T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	5,79	-44 100	-43 300
400	945	8,51	-44 050	-43 000
500	1 957	10,8	-43 950	-42 700
600	3 085	12,82	-43 900	-42 500
700	4 225	14,58	-43 850	-42 250
800	5 395	16,14	-43 850	-42 050
900	6 600	17,56	-43 900	-41 800
1 000	7 830	18,86	-43 900	-41 600
1 100	9 080	20,05	-43 950	-41 350
1 200	10 330	21,04	-44 950	-40 950
1 300	11 590	22,14	-45 000	-40 700
1 400	12 860	23,08	-45 000	-40 400
1 500	14 130	23,96	-45 050	-40 050
1 600	15 400	24,78	-45 100	-39 850
1 700	16 670	25,55	-45 150	-39 550
1 800	17 940	26,28	-45 150	-39 400

Нитрид титана

TiN (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -80\,700 \text{ кал/моль [86]}$$

$$S_{298} = 7,24 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 3200^\circ \text{К [9]}$$

Интервал I (тв) (298 — 1800° К)

$$C_p = 11,91 + 0,94 \times 10^{-3}T - 2,96 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -4586 + 11,91T + 0,47 \times 10^{-3}T^2 + 2,96 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $\text{Ti} + \frac{1}{2} \text{N}_2 \rightarrow \text{TiN}$

Интервал I (298 — 1150° К)

$$\Delta C_p = 3,33 - 2,09 \times 10^{-3}T - 2,96 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -82\,590 + 3,33T - 1,04 \times 10^{-3}T^2 + 2,96 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -82\,590 - 3,33T \ln T + 1,04 \times 10^{-3}T^2 + 1,48 \times 10^5 T^{-1} + 46,13T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	7,24	-80 700	-73 870
400	1 000	10,12	-80 700	-71 550
500	2 090	12,54	-80 600	-69 100
600	3 230	14,63	-80 450	-65 700
700	4 400	16,43	-80 350	-64 300
800	5 590	18,02	-80 250	-61 900
900	6 810	19,45	-80 150	-59 550
1 000	8 050	20,76	-80 050	-58 200
1 100	9 310	21,96	-80 000	-55 000
1 200	10 600	23,08	-80 800	-53 800
1 300	11 910	24,13	-80 650	-51 450
1 400	13 230	25,11	-80 450	-49 200
1 500	14 550	26,02	-80 350	-47 250
1 600	15 870	26,87	-80 150	-44 950
1 700	17 190	27,67	-80 000	-42 800
1 800	18 510	28,43	-79 850	-40 650

Интервал II (1150 — 1800° К)

$$\Delta C_p = 1,08 + 0,43 \times 10^{-3}T - 2,96 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -82\,650 + 1,08T + 0,21 \times 10^{-3}T^2 + 2,96 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -82\,650 - 1,08T \ln T - 0,21 \times 10^{-3}T^2 + 1,48 \times 10^5 T^{-1} + 31,86T$$

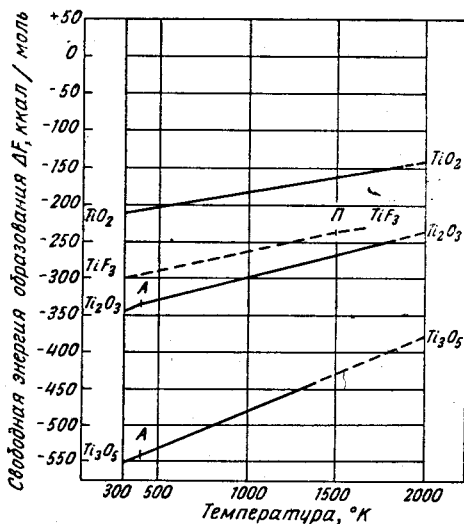


Рис. 57. Титан (а)

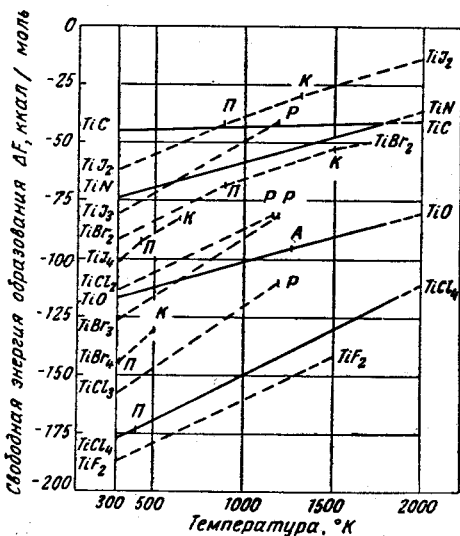


Рис. 58. Титан (б)

Вольфрам и его соединения

Элемент

W (ТВ)

$$S_{298} = 8,0 \pm 0,2 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 3650^\circ \text{K [7]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 8420 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 5950^\circ \text{K [7]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 184\,580 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (ТВ) (298 — 2000° K)

$$C_p = 5,74 + 0,76 \times 10^{-3} T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1745 + 5,74T + 0,38 \times 10^{-3} T^2$$

$$F_T - H_{298} = -1745 - 5,74T \ln T - 0,38 \times 10^{-3} T^2 + 30,61T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	8,0	8,0
400	615	9,77	8,23
500	1 220	11,12	8,68
600	1 830	12,23	9,18
700	2 450	13,19	9,69
800	3 080	14,03	10,18
900	3 710	14,77	10,65
1 000	4 360	15,46	11,10
1 100	5 010	16,08	11,53
1 200	5 670	16,65	11,92
1 300	6 340	17,19	12,31
1 400	7 030	17,70	12,68
1 500	7 730	18,18	13,03
1 600	8 430	18,63	13,36
1 700	9 130	19,06	13,69
1 800	9 840	19,47	14,00
1 900	10 550	19,85	14,30
2 000	11 260	20,21	14,58

Двуокись вольфрама

WO₂ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -(-137\,000) \text{ кал/моль [24]}$$

$$S_{298} = (15,5) \text{ э. е. [24]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1543^\circ \text{K [42]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 11\,500 \text{ кал/моль}$$

Температура разложения 2125° K [42]

Реакция образования: $W + O_2 \rightarrow WO_2$

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-137 000)	(-124 600)
400	(1 440)	(-136 900)	(-120 400)
500	(2 775)	(-136 900)	(-116 300)
600	(4 240)	(-136 800)	(-112 100)
700	(5 640)	(-136 800)	(-108 000)
800	(7 170)	(-136 700)	(-103 900)
900	(8 710)	(-136 600)	(-99 800)
1 000	(10 200)	(-136 600)	(-95 800)
1 100	(11 720)	(-136 500)	(-91 700)
1 200	(13 210)	(-136 500)	(-87 600)
1 300	(14 810)	(-136 400)	(-83 500)
1 400	(16 450)	(-136 300)	(-79 500)
1 500	(18 100)	(-136 300)	(-75 400)

Трехокись вольфрама

WO₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -200\,850 \text{ кал/моль [65]}$$

$$S_{298} = 19,9 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1743^\circ \text{K [24]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 13\,940 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} > 2500^\circ \text{K [42]}$$

Реакция образования: $W + \frac{3}{2} O_2 \rightarrow WO_3$

Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-200 850	-182 450
400	(3 000)	(-197 850)	(-176 250)
500	(4 050)	(-196 800)	(-170 200)
600	(6 150)	(-194 700)	(-164 200)
700	(8 750)	(-192 100)	(-158 300)
800	(10 450)	(-190 400)	(-152 450)
900	(12 800)	(-188 050)	(-146 650)
1 000	(15 200)	(-185 650)	(-140 900)
1 100	(17 500)	(-183 350)	(-135 200)
1 200	(20 000)	(-180 850)	(-129 550)
1 300	(22 500)	(-178 350)	(-123 900)
1 400	(25 050)	(-175 800)	(-118 350)
1 500	(27 850)	(-173 000)	(-112 850)
1 600	(30 400)	(-170 450)	(-107 400)
1 700	(33 200)	(-167 650)	(-101 950)
1 800	(48 100)	(-152 750)	(-97 050)
1 900	(53 300)	(-147 550)	(-92 500)
2 000	(56 700)	(-144 150)	(-88 050)

Двухлористый вольфрамWCl₂ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-36\ 000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (31) \text{ э. е. [11]}$$

Реакция образования: $W + Cl_2 \rightarrow WCl_2$

Расчетные данные [11]

<i>T</i> , °К	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-36 000)	(-27 000)
500	(4 000)	(-35 000)	(-21 000)
1 000	(15 000)	(-31 000)	(-9 000)

Четырехлористый вольфрамWCl₄ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-69\ 000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (50) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{пл} = (600^\circ \text{ К}) [6]$$

$$\Delta H_{пл} = (6000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = (605^\circ \text{ К}) [6]$$

$$\Delta H_{исп} = (17\ 000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $W + 2Cl_2 \rightarrow WCl_4$

Расчетные данные [11]

<i>T</i> , °К	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔH_T^0
298	—	(-69 000)	(-50 000)
500	(6 000)	(-68 000)	(-37 000)
1 000	(41 000)	(-44 000)	(-21 000)
1 500	(53 000)	(-44 000)	(-10 000)

Пятихлористый вольфрамWCl₅ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-82\ 000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (66) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{пл} = 517^\circ \text{ К} [6]$$

$$\Delta H_{пл} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 549^\circ \text{ К} [6]$$

$$\Delta H_{исп} = (12\ 500) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $W + \frac{5}{2} Cl \rightarrow WCl_5$

Расчетные данные [11]

<i>T</i> , °К	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-82 000)	(-60 000)
500	(7 000)	(-80 000)	(-45 000)
1 000	(44 000)	(-57 000)	(-30 000)
1 500	(59 000)	(-57 000)	(-17 000)

Шестихлористый вольфрамWCl₆ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-96\ 900) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (75) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{пл} = 548^\circ \text{ К} [6]$$

$$\Delta H_{пл} = (5700) \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 610^\circ \text{ К} [6]$$

$$\Delta H_{исп} = (15\ 200) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $W + 3Cl_2 \rightarrow WCl_6$

Расчетные данные [11]

<i>T</i> , °К	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-96 000)	(-74 000)
500	(9 000)	(-94 000)	(-50 600)
1 000	(50 000)	(-69 000)	(-24 000)
1 500	(67 000)	(-69 000)	(-2 000)

Двубромистый вольфрамWBr₂ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-18\ 700) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (36) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{пл} = (1000^\circ \text{ К}) [6]$$

$$\Delta H_{пл} = (6000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = (1500^\circ \text{ К}) [6]$$

$$\Delta H_{исп} = (33\ 000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $W + Br_2 \rightarrow WBr_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-18 700)	(-16 000)
500	(4 000)	(-25 000)	(-11 000)
1 000	(16 000)	(-21 000)	(+1 000)
1 500	(68 000)	(+23 000)	(+8 000)

Четырехбромистый вольфрамWB₄ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-35\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (59) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{возг}} = (600^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = (24\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{W} + 2\text{Br}_2 \rightarrow \text{WB}_4$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-35 000)	(-28 500)
500	(5 000)	(-50 000)	(-18 000)
1 000	(42 000)	(-25 000)	(-5 000)
1 500	(55 000)	(-25 000)	(+4 000)
2 000	—	—	(+14 000)

Пятибромистый вольфрамWB₅ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-42\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (78) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 549^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8\,000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 606^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (14\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{W} + \frac{5}{2} \text{Br}_2 \rightarrow \text{WB}_5$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-42 000)	(-35 000)
500	(7 000)	(-60 000)	(-29 000)
1 000	(43 000)	(-38 000)	(1 000)
1 500	(58 000)	(-38 000)	(19 000)

Шестибромистый вольфрамWB₆ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-44\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (89) \text{ э. е. [11]}$$

Реакция образования: $\text{W} + 3\text{Br}_2 \rightarrow \text{WB}_6$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-44 000)	(-36 000)
500	(35 000)	(-39 000)	(-14 000)
1 000	(51 000)	(-39 000)	(+11 000)

Двуйодистый вольфрамWJ₂ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-2\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (38) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1000^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (6\,000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1260^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (27\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{W} + \text{J}_2 \rightarrow \text{WJ}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-1 000)	(-1 500)
500	(4 000)	(-15 000)	(0)
1 000	(17 000)	(-11 000)	(+13 000)
1 500	(59 000)	(+25 000)	(+16 000)

Четырехйодистый вольфрамWJ₄ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-500) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (65) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{возг}} = (690^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = (20\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $W + 2J_2 \rightarrow WJ_4$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ K$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-500)	(-500)
500	(6 000)	(-29 000)	(+3 000)
1 000	(47 000)	(0)	(+26 000)
1 500	(59 000)	(0)	(+39 000)

$T, ^\circ K$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	8,5	-9 100	-8 800
400	920	11,12	-9 050	-8 800
500	1 810	13,14	-9 080	-8 700
600	2 730	15,75	-9 150	-8 600
700	3 670	16,12	-9 250	-8 500
800	4 630	17,49	-9 380	-8 400
900	5 610	18,61	-9 510	-8 200
1 000	6 610	19,72	-9 660	-8 000
1 100	7 650	20,64	-9 780	-7 800
1 200	8 690	21,66	-9 930	-7 600
1 300	9 760	22,37	-10 070	-7 400
1 400	10 850	23,29	-10 210	-7 300
1 500	11 970	24,01	-10 340	-7 100
1 600	13 100	24,83	-10 470	-7 000
1 700	14 260	25,55	-10 580	-6 800
1 800	15 440	26,16	-10 690	-6 500
1 900	16 630	26,78	-10 800	-6 200
2 000	17 830	27,40	-10 910	-6 000

Карбид вольфрама

WC (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -9100 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 8,5 \text{ э. е. [94]}$$

Температура разложения $2900^\circ K$ [9]

Интервал I (ТВ) ($298 - 2000^\circ K$)

$$C_p = 7,98 + 2,17 \times 10^{-3} T$$

$$H_T - H_{298} = -2470 + 7,98T + 1,08 \times 10^{-3} T^2$$

Реакция образования: $W + C \rightarrow WC$

Интервал I ($298 - 2000^\circ K$)

$$\Delta C_p = -1,86 + 0,39 \times 10^{-3} T + 2,10 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -7860 - 1,86T + 0,20 \times 10^{-3} T^2 - 2,10 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -7860 + 1,86T \ln T - 0,20 \times 10^{-3} T^2 - 1,05 \times 10^5 T^{-1} - 12,63T$$

Нитрид вольфрама

W₂N (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -17000 \text{ кал/моль [9]}$$

$$S_{298} = (18,0) \text{ э. е. [9]}$$

$$\Delta F_{298}^0 = (-11000) \text{ кал/моль}$$

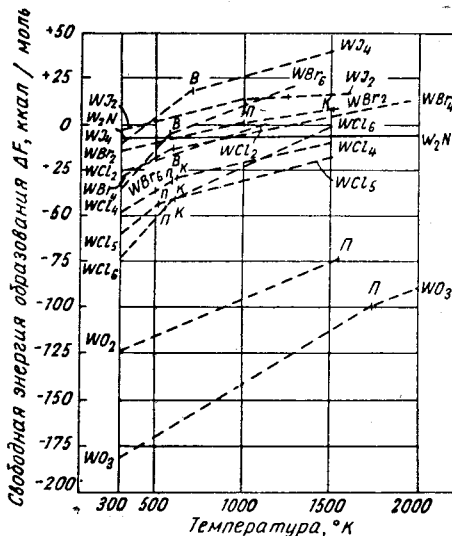


Рис. 59. Вольфрам

Уран и его соединения

Элемент

U (ТВ)

$$S_{298} = 12,03 \text{ э. е. [77]}$$

$$T_{\text{прев}} = 935^\circ \text{K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 700 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{прев}} = 1045^\circ \text{K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 1145 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{пл}} = 1405^\circ \text{K [24]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 3200 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 3800^\circ \text{K [8]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 110\,000 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (α) (298 — 935° K)

$$C_p = 3,39 + 8,02 \times 10^{-3}T + 0,70 \times 10^{-5}T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1132 + 3,39T + 4,01 \times 10^{-3}T^2 - 0,70 \times 10^5 T^{-1}$$

$$F_T - H_{298} = -1132 - 3,39T \ln T - 4,01 \times 10^{-3}T^2 - 0,35 \times 10^5 T^{-1} + 12,67T$$

Интервал II (β) (935 — 1045° K)

$$C_p = 10,18 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -3348 + 10,18T$$

$$F_T - H_{298} = -3348 - 10,18T \ln T + 57,69T$$

Интервал III (γ) (1045 — 1300° K)

$$C_p = 9,20 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1180 + 9,20T$$

$$F_T - H_{298} = -1180 - 9,72T \ln T + 48,76T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	12,03	12,03
400	690	14,02	12,29
500	1 430	15,67	12,81
600	2 230	17,12	13,40
700	3 100	18,47	14,04
800	4 050	19,74	14,68
900	5 090	20,96	15,30
1 000	6 830	22,81	15,98
1 100	8 940	24,84	16,71
1 200	9 860	25,64	17,42
1 300	10 780	26,37	18,08
1 500	(15 700)	(30,52)	(20,05)
2 000	(20 000)	(32,88)	(22,80)

Двуокись урана

UO₂ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -259\,200 \text{ кал/моль [63]}$$

$$S_{298} = 18,63 \text{ э. е.}$$

$$T_{\text{пл}} = 3000^\circ \text{K [8]}$$

Интервал I (ТВ) (298 — 1500° K)

$$C_p = 19,20 + 1,62 \times 10^{-3}T - 3,96 \times 10^{-5}T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -7125 + 19,20T + 0,81 \times 10^{-3}T^2 + 3,96 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: U + O₂ → UO₂

Интервал I (298 — 935° K)

$$\Delta C_p = 8,65 - 7,4 \times 10^{-3}T - 4,26 \times 10^{-5}T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -262\,880 + 8,65T - 3,7 \times 10^{-3}T^2 + 4,26 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -262\,880 - 8,65T \ln T + 3,7 \times 10^{-3}T^2 + 2,13 \times 10^5 T^{-1} + 100,55T$$

Интервал II (935 — 1045° K)

$$\Delta C_p = 1,86 + 0,62 \times 10^{-3}T - 3,56 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -260\,700 + 1,86T + 0,31 \times 10^{-3}T^2 + 3,56 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -260\,700 - 1,86T \ln T - 0,31 \times 10^{-3}T^2 + 1,78 \times 10^5 T^{-1} + 55,55T$$

Интервал III (1045 — 1300° K)

$$\Delta C_p = 2,84 + 0,62 \times 10^{-3}T - 3,56 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -262\,820 + 2,84T + 0,31 \times 10^{-3}T^2 + 3,56 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -262\,820 - 2,84T \ln T - 0,31 \times 10^{-3}T^2 + 1,78 \times 10^5 T^{-1} + 64,45T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	18,63	-259 200	-246 550
400	1 680	23,47	-258 900	-242 300
500	3 470	27,46	-258 600	-238 100
600	5 340	30,86	-258 300	-234 100
700	7 280	33,85	-258 000	-230 100
800	9 250	36,48	-257 800	-226 100
900	11 250	38,86	-257 600	-222 100
1 000	13 280	40,97	-258 200	-218 100
1 100	15 340	42,94	-259 000	-214 000
1 200	17 420	44,75	-258 700	-210 000
1 300	19 510	46,42	-258 300	-205 900
1 400	21 620	47,98	—	—
1 500	23 750	49,45	(-260 800)	(-196 700)

Оксид — закись урана

U₃O₈ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -853\,500 \text{ кал/моль [52]}$$

$$S_{298} = 66 \text{ э. е. [52]}$$

Температура разложения 1950° K [10]

Реакция образования: 3U + 4O₂ → U₃O₈

Расчетные данные [24]

T, °K	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-853 500	-804 000
400	(5 860)	(-852 600)	(-787 200)
500	(11 910)	(-851 700)	(-770 900)
600	(18 330)	(-850 700)	(-754 800)
700	(24 860)	(-849 900)	(-738 900)
800	(31 750)	(-849 200)	(-723 100)
900	(38 380)	(-848 800)	(-707 400)
1 000	(45 410)	(-850 300)	(-691 500)
1 100	(52 150)	(-853 000)	(-675 500)
1 200	(59 240)	(-852 000)	(-659 400)
1 300	(66 330)	(-851 000)	(-643 400)
1 400	(73 450)	(-850 000)	(-627 500)
1 500	(80 530)	(-858 800)	(-611 000)

Трехокись урана

UO₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -291\,600 \text{ кал/моль [52]}$$

$$S_{298} = 23,57 \text{ э. е. [52]}$$

Температура разложения 925° K [10]

Интервал I (тв) (298 — 925° K)

$$C_p = 22,09 + 2,54 \times 10^{-3}T - 2,97 \times 10^5 T^{-2}$$

$$H_T - H_{298} = -7695 + 22,09T + 1,27 \times 10^{-3}T^2 + 2,97 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $U + \frac{3}{2}O_2 \rightarrow UO_3$

Интервал I (298 — 925° K)

$$\Delta C_p = 7,96 - 6,98 \times 10^{-3}T - 3,07 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -294\,690 + 7,96T - 3,49 \times 10^{-3}T^2 + 3,07 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -294\,690 - 7,96T \ln T + 3,49 \times 10^{-3}T^2 + 1,53 \times 10^5 T^{-1} + 114,92T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	23,57	—291 600	—273 200
400	2 090	29,59	—291 300	—266 800
500	4 260	34,43	—290 950	—260 800
600	6 510	38,53	—290 650	—254 800
700	8 820	42,09	—290 350	—249 800
800	11 160	45,21	—290 150	—242 900
900	13 540	48,01	—290 050	—237 000

Трехфтористый уранUF₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-357\,000) \text{ кал/моль [10]}$$

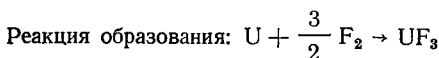
$$S_{298} = (26) \text{ э. е. [10]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1700^\circ \text{K}) [10]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8500) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2550^\circ \text{K}) [10]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (61\,000) \text{ кал/моль}$$



Расчетные данные [10]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(—357 000)	(—339 500)
500	(4 000)	(—356 800)	(—328 000)
1 000	(17 000)	(—355 600)	(—299 000)
1 500	(32 000)	(—356 000)	(—281 000)

Четырехфтористый уранUF₄ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-443\,000) \text{ кал/моль [10]}$$

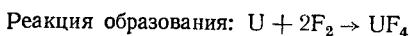
$$S_{298} = 36,13 \text{ э. е. [10]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1309^\circ \text{K} [10]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 5700 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1690^\circ \text{K} [10]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 57\,500 \text{ кал/моль}$$



Расчетные данные [10]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(—443 000)	(—421 200)
500	(6 300)	(—441 300)	(—406 500)
1 000	(25 500)	(—436 000)	(—375 000)
1 500	(57 000)	(—422 200)	(—347 000)

Пятифтористый уранUF₅ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-488\,000) \text{ кал/моль [10]}$$

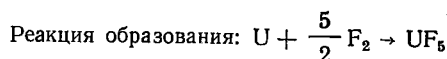
$$S_{298} = (43) \text{ э. е. [10]}$$

$$T_{\text{пл}} = (600^\circ \text{K}) [10]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (8000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1000^\circ \text{K}) [10]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (23\,000) \text{ кал/моль}$$



Расчетные данные [10]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(—488 000)	(—461 200)
500	(7 000)	(—486 400)	(—443 500)

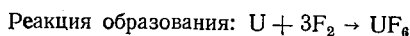
Шестифтористый уранUF₆ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -517\,000 \text{ кал/моль [52]}$$

$$S_{298} = 54,45 \text{ э. е. [52]}$$

$$T_{\text{возг}} = 337^\circ \text{K} [101]$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = 11\,430 \text{ кал/моль}$$



Расчетные данные [10]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	—517 000	—486 300
500	(18 600)	(—516 000)	(—471 750)
1 000	—	(—515 400)	(—440 200)

Фтористый уранил

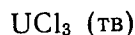


$$\Delta H_{298}^0 = -64\,500 \text{ кал/моль [140]}$$

$$S_{298} = 32,4 \text{ э. е. [52]}$$

$$\Delta F_{298}^0 = -41\,500 \text{ кал/моль}$$

Треххлористый уран



$$\Delta H_{298}^0 = -213\,000 \text{ кал/моль [52]}$$

$$S_{298} = 37,99 \text{ э. е. [52]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1108^\circ \text{ К [10]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 9000 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 2000^\circ \text{ К [10]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 41\,000 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 1000° К)

$$C_p = 20,98 + 7,44 \times 10^{-3}T + 1,16 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -6200 + 20,98T + 3,72 \times 10^{-3}T^2 - 1,16 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $U + \frac{3}{2}Cl_2 \rightarrow UCl_3$

Интервал I (298 — 935° К)

$$\Delta C_p = 4,36 - 0,67 \times 10^{-3}T + 1,48 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -213\,770 + 4,36T - 0,33 \times 10^{-3}T^2 - 1,48 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -213\,770 - 4,36T \ln T + 0,33 \times 10^{-3}T^2 - 0,74 \times 10^5 T^{-1} + 82,17T$$

Интервал II (935 — 1045° К)

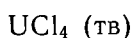
$$\Delta C_p = -2,43 + 7,35 \times 10^{-3}T + 2,18 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -211\,900 - 2,43T + 3,67 \times 10^{-3}T^2 - 2,18 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -211\,900 + 2,43T \ln T - 3,67 \times 10^{-3}T^2 - 1,09 \times 10^5 T^{-1} + 37,35T$$

T, °K	H _T -H ₂₉₈	S _T	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	37,99	-213 000	-196 900
400	2 500	45,21	-212 450	-191 400
500	5 000	50,78	-212 000	-186 200
600	7 540	55,41	-211 500	-181 100
700	10 140	59,42	-211 100	-176 150
800	12 810	62,98	-210 700	-171 050
900	15 570	66,23	-210 300	-166 250
1 000	18 430	69,24	-210 900	-161 600
1 100	(21 280)	..	(-210 800)	(-156 200)

Четыреххлористый уран



$$\Delta H_{298}^0 = -251\,200 \text{ кал/моль [52]}$$

$$S_{298} = 62 \text{ э. е. [52]}$$

$$T_{\text{пл}} = 863^\circ \text{ К [10]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 10\,300 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1060^\circ \text{ К [10]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 33\,000 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 700° К)

$$C_p = 26,64 + 9,60 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -8370 + 26,64T + 4,80 \times 10^{-3}T^2$$

Реакция образования: $U + 2Cl_2 \rightarrow UCl_4$

Интервал I (298 — 700° К)

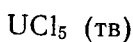
$$\Delta C_p = 5,61 + 1,46 \times 10^{-3}T + 0,66 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -252\,700 + 5,61T + 0,73 \times 10^{-3}T^2 - 0,66 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -252\,700 - 5,61T \ln T - 0,73 \times 10^{-3}T^2 - 0,33 \times 10^5 T^{-1} + 94,27T$$

T, °K	H _T -H ₂₉₈	S _T	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	62,0	-251 200	-234 300
400	3 030	70,74	-250 550	-228 550
500	6 150	77,70	-249 850	-223 100
600	9 330	83,50	-249 200	-217 900
700	12 630	88,58	-248 500	-212 800

Пятихлористый уран



$$\Delta H_{298}^0 = (-262\ 100) \text{ кал/моль [10]}$$

$$S_{298} = (62) \text{ э. е. [10]}$$

$$T_{\text{пл}} = 600^\circ \text{ К [10]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 8500 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 800^\circ \text{ К [10]}$$

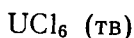
$$\Delta H_{\text{исп}} = (18\ 000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{U} + 5/2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{UCl}_5$

Расчетные данные [10]

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-262 100)	(-237 400)
500	(7 000)	(-260 700)	(-221 600)

Шестихлористый уран



$$\Delta H_{298}^0 = (-272\ 400) \text{ кал/моль [10]}$$

$$S_{298} = 68,3 \text{ э. е. [10]}$$

$$T_{\text{пл}} = 452^\circ \text{ К [10]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (5000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 550^\circ \text{ К [10]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (11\ 000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{U} + 3\text{Cl}_2 \rightarrow \text{UCl}_6$

Расчетные данные [10]

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-272 400)	(-241 500)
500	(14 000)	(-264 900)	(-221 400)

Оксихлорид урана

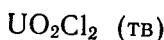


$$\Delta H_{298}^0 = -261\ 700 \text{ кал/моль [44]}$$

$$S_{298} = 33,06 \text{ э. е. [44]}$$

$$\Delta F_{298}^0 = -244\ 800 \text{ кал/моль}$$

Хлористый уранил

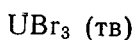


$$\Delta H_{298}^0 = -300\ 000 \text{ кал/моль [45]}$$

$$S_{298} = 35,98 \text{ э. е. [45]}$$

$$\Delta F_{298}^0 = -276\ 700 \text{ кал/моль}$$

Трехбромистый уран



$$\Delta H_{298}^0 = (-170\ 100) \text{ кал/моль [10]}$$

$$S_{298} = (49) \text{ э. е. [10]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1025^\circ \text{ К [10]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 11\ 000 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1840^\circ \text{ К}) [10]$$

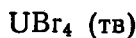
$$\Delta H_{\text{исп}} = 45\ 000 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{U} + 3/2\text{Br}_2 \rightarrow \text{UBr}_3$

Расчетные данные [10]

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-170 000)	(-164 900)
500	(5 000)	(-180 800)	(-155 500)
1 000	(18 000)	(-179 900)	(-133 000)
1 500	(43 000)	(-170 600)	(-112 000)

Четырехбромистый уран



$$\Delta H_{298}^0 = (-196\ 600) \text{ кал/моль [10]}$$

$$S_{298} = (58) \text{ э. е. [10]}$$

$$T_{\text{пл}} = 792^\circ \text{ К [10]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 7200 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1039^\circ \text{ К [10]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 31\ 000 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{U} + 2\text{Br}_2 \rightarrow \text{UBr}_4$

Расчетные данные [10]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-196 600)	(-188 600)
500	(6 000)	(-206 300)	(-175 800)
1 000	(34 300)	(-196 400)	(-146 500)

Оксид уранаUOBr₂

$$\Delta H_{298}^0 = -246\,900 \text{ кал/моль [44]}$$

$$S_{298} = 37,66 \text{ э. е. [44]}$$

$$\Delta F_{298}^0 = -236\,400 \text{ кал/моль}$$

Трехйодистый уранUJ₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-114\,700) \text{ кал/моль [10]}$$

$$S_{298} = (56) \text{ э. е. [10]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1030^\circ \text{K}) [10]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (7500) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1700^\circ \text{K}) [10]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (40\,800) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{U} + \frac{3}{2}\text{J}_2 \rightarrow \text{UJ}_3$

Расчетные данные [10]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-114 700)	(-115 100)
500	(5 000)	(-136 100)	(-112 000)
1 000	(20 000)	(-133 200)	(-90 000)
1 500	(43 000)	(-103 600)	(-68 000)

Четырехйодистый уранUJ₄ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-127\,000) \text{ кал/моль [10]}$$

$$S_{298} = (65) \text{ э. е. [10]}$$

$$T_{\text{пл}} = 779^\circ \text{K} [10]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 15\,000 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1032^\circ \text{K} [10]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 30\,700 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{U} + 2\text{J}_2 \rightarrow \text{UJ}_4$

Расчетные данные [10]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-127 000)	(-125 900)
500	(6 000)	(-145 800)	(-121 000)
1 000	(34 000)	(-142 100)	(-93 500)

Карбид урана

UC (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -43\,000 \text{ кал/моль [10]}$$

$$S_{298} = (15,4) \text{ э. е. [10]}$$

$$\Delta F_{298}^0 = (-43\,600) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 2550^\circ \text{K} [10]$$

Карбид уранаU₂C₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -76\,000 \text{ кал/моль [10]}$$

$$S_{298} = (24) \text{ э. е. [10]}$$

$$\Delta F_{298}^0 = (-78\,400) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 2700^\circ \text{K} [10]$$

Карбид уранаUC₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -36\,000 \text{ кал/моль [10]}$$

$$S_{298} = (20) \text{ э. е. [10]}$$

$$\Delta F_{298}^0 = (-37\,500) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 2700^\circ \text{K} [10]$$

Нитрид урана

UN (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -80\,000 \text{ [10] кал/моль}$$

$$S_{298} = (18,0) \text{ э. е. [10]}$$

$$\Delta F_{298}^0 = (-74\,900) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 2900^\circ \text{ К [10]}$$

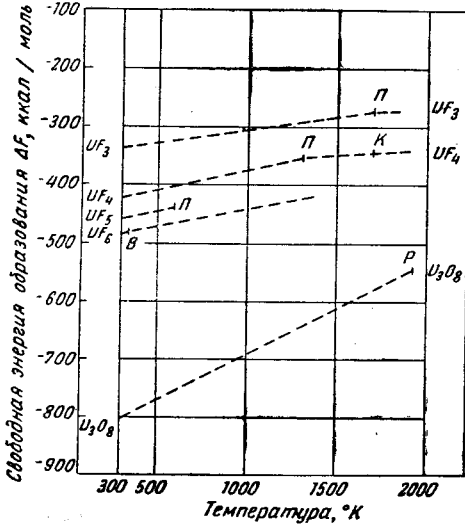


Рис. 60. Уран (а)

Нитрид урана

U₂N₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -213\,000 \text{ кал/моль [10]}$$

$$S_{298} = (29) \text{ э. е. [10]}$$

$$\Delta F_{298}^0 = (-193\,900) \text{ кал/моль}$$

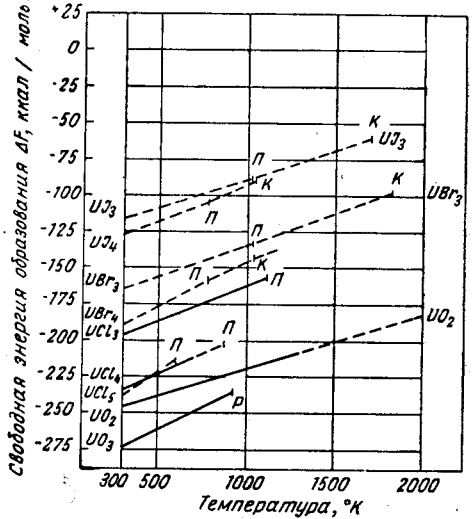


Рис. 61. Уран (б)

Ванадий и его соединения

Элемент

V (ТВ)

$$S_{298} = 7,01 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 2190^\circ \text{ К [130]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (4200) \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 3650^\circ \text{ К [130]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 109\,600 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (ТВ) (298 — 1900° К)

$$C_p = 5,40 + 2,00 \times 10^{-3} T_1 [82]$$

$$H_T - H_{298} = -1699 + 5,40T + 1,00 \times 10^{-3} T^2$$

$$F_T - H_{298} = -1699 - 5,40T \ln T - 1,00 \times 10^{-3} T^2 + 29,73T$$

T, °K	H _T - H ₂₉₈	S _T	$\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	7,01	7,01
400	630	8,83	7,25
500	1 270	10,25	7,71
600	1 920	11,44	8,24
700	2 580	12,46	8,77
800	3 260	13,36	9,28
900	3 960	14,19	9,80
1 000	4 680	14,95	10,27
1 100	5 410	15,64	10,72
1 200	6 160	16,29	11,15
1 300	6 930	16,91	11,58
1 400	7 740	17,51	11,98
1 500	8 600	18,10	12,37
1 600	9 510	18,69	12,74
1 700	10 450	19,26	13,11
1 800	11 420	19,82	13,48
1 900	12 420	20,36	13,82
2 000	13 440	—	—

Закись ванадия

VO (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -98\,000 \text{ кал/моль [112]}$$

$$S_{298} = 9,3 \text{ э. е. [135]}$$

$$T_{\text{пл}} = 2350^\circ \text{K [42]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 15\,000 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 3400^\circ \text{K [42]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 70\,000 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298—1700° K)

$$C_p = 11,32 + 3,22 \times 10^{-3}T - 1,26 \times 10^5 T^{-2} \text{ [106]}$$

$$H_T - H_{298} = -3940 + 11,32T + 1,61 \times 10^{-3}T^2 + 1,26 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $V + \frac{1}{2}O_2 = VO$

Интервал I (298—1700° K)

$$\Delta C_p = 2,34 + 0,72 \times 10^{-3}T - 1,06 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -99\,100 + 2,34T + 0,36 \times 10^{-3}T^2 + 1,06 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -99\,100 - 2,34T \ln T - 0,36 \times 10^{-3}T^2 + 0,53 \times 10^5 T^{-1} + 38,64T$$

Трехокись ванадия

V₂O₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -296\,000 \text{ кал/моль [8]}$$

$$S_{298} = 23,58 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 2250^\circ \text{K [112]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (28\,000) \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298—1800° K)

$$C_p = 29,35 + 4,76 \times 10^{-3}T - 5,42 \times 10^5 T^{-2}$$

$$H_T - H_{298} = -10\,780 + 29,35T + 2,38 \times 10^{-3}T^2 + 5,42 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $2V + \frac{3}{2}O_2 = V_2O_3$

Интервал I (298—1800° K)

$$\Delta C_p = 7,81 - 0,74 \times 10^{-3}T - 4,82 \times 10^5 T^{-2}$$

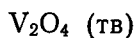
$$\Delta H_T = -299\,900 + 7,81T - 0,37 \times 10^{-3}T^2 + 4,82 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -299\,900 - 7,81T \ln T + 0,37 \times 10^{-3}T^2 + 2,41 \times 10^5 T^{-1} + 118,8T$$

T, °K	H _T - H ₂₉₈	S _T	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	9,3	-98 000	-91 400
400	1 160	12,64	-97 800	-89 100
500	2 380	15,36	-97 600	-87 000
600	3 640	17,65	-97 400	-84 900
700	4 940	19,66	-97 150	-82 800
800	6 280	21,45	-96 850	-80 800
900	7 660	23,07	-96 600	-78 800
1 000	9 090	24,58	-96 300	-76 800
1 100	10 560	25,98	-95 950	-74 900
1 200	12 070	27,29	-95 600	-73 000
1 300	13 610	28,52	-95 250	-71 100
1 400	15 170	29,68	-94 950	-69 300
1 500	16 760	30,78	-94 700	-67 500
1 600	18 370	31,82	-94 350	-65 600
1 700	20 000	32,80	-94 100	-63 900

T, °K	H _T - H ₂₉₈	S _T	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	23,58	-296 000	-276 970
400	2 720	31,41	-295 600	-268 150
500	5 990	37,81	-294 700	-263 850
600	8 600	43,30	-294 550	-258 150
700	11 700	48,07	-293 950	-252 150
800	14 870	52,30	-293 350	-246 250
900	18 100	56,11	-292 700	-240 250
1 000	21 370	59,55	-292 150	-234 500
1 100	24 660	62,69	-291 450	-229 950
1 200	27 960	65,56	-290 900	-223 700
1 300	31 360	68,28	-290 300	-217 900
1 400	34 940	70,93	-289 600	-212 300
1 500	38 940	73,50	-288 800	-205 900
1 600	42 480	75,96	-288 200	-201 800
1 700	46 370	78,31	-287 550	-196 050
1 800	50 350	80,59	-286 800	-191 100

Четырехокись ванадия



$$\Delta H_{298}^0 = -34\,200 \text{ кал/моль [24]}$$

$$S_{298} = 24,5 \text{ э. е. [8]}$$

$$T_{\text{прев}} = 345^\circ \text{ К [82]}$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 2050 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 1818^\circ \text{ К [82]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 27\,210 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (α) (298 — 345° К)

$$C_p = 29,91 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -8918 + 29,91T$$

Интервал II (β) (345 — 1818° К)

$$C_p = 35,70 + 3,40 \times 10^{-3}T - 7,89 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -11\,355 + 35,70T + 1,70 \times 10^{-3}T^2 + 7,89 \times 10^5 T^{-1}$$

Интервал III (ж) (1818 — 1900° К)

$$C_p = 51,0 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -5910 + 51,00T$$

Реакция образования: $2V + 2O_2 \rightarrow V_2O_4$

Интервал I (298—345° К)

$$\Delta C_p = 4,79 - 6,00 \times 10^{-3}T + 0,80 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -342\,900 + 4,79T - 3,00 \times 10^{-3}T^2 - 0,80 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -342\,900 - 4,79T \ln T + 3,00 \times 10^{-3}T^2 - 0,40 \times 10^5 T^{-1} + 117,46T$$

Интервал II (345 — 1818° К)

$$\Delta C_p = 10,58 - 2,60 \times 10^{-3}T - 7,09 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -345\,270 + 10,58T - 1,30 \times 10^{-3}T^2 + 7,09 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -345\,270 - 10,58T \ln T + 1,30 \times 10^{-3}T^2 + 3,54 \times 10^5 T^{-1} + 155,21T$$

Интервал III (1818 — 1900° К)

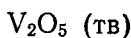
$$\Delta C_p = 25,88 - 6,00 \times 10^{-3}T + 0,80 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -339\,820 + 25,88T - 3,00 \times 10^{-3}T^2 - 0,80 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -339\,820 - 25,88T \ln T + 3,00 \times 10^{-3}T^2 - 0,40 \times 10^5 T^{-1} + 264T$$

$T, ^\circ \text{К}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	24,5	-342 000	-315 950
400	5 270	39,7	-339 500	-307 400
500	8 600	47,12	-338 850	-299 450
600	12 000	53,29	-338 250	-291 450
700	15 560	58,79	-337 600	-283 900
800	19 230	63,69	-336 850	-276 250
900	22 990	68,11	-336 150	-268 750
1 000	26 830	72,16	-335 400	-261 250
1 100	30 730	75,88	-334 500	-253 800
1 200	34 670	79,31	-333 750	-245 650
1 300	38 630	82,47	-333 000	-239 250
1 400	42 600	85,42	-332 300	-232 100
1 500	46 590	88,17	-331 950	-225 050
1 600	50 620	90,77	-331 300	-218 400
1 700	54 710	93,25	-330 850	-211 000
1 800	58 850	95,62	-330 450	-203 850
1 900	91 000	113,25	-301 500	-199 000

Пятиокись ванадия



$$\Delta H_{298}^0 = -372\,500 \text{ кал/моль [8]}$$

$$S_{298} = 31,3 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 943^\circ \text{ К [24]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 15\,560 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 2325^\circ \text{ К [42]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 63\,000 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (ТВ) (298 — 943° К)

$$C_p = 46,54 + 3,90 \times 10^{-3}T - 13,22 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -18\,137 + 46,54T - 1,95 \times 10^{-3}T^2 + 13,22 \times 10^5 T^{-1}$$

Интервал II (ж) (943 — 1500° К)

$$C_p = 45,60 [82]$$

$$H_T - H_{298} = -2020 + 45,60T$$

Реакция образования: $2V + 5/2O_2 \rightarrow V_2O_5$

Интервал I (298 — 943° К)

$$\Delta C_p = 17,84 - 10,40 \times$$

$$\times 10^{-3}T - 12,22 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -381\,450 + 17,84T -$$

$$-5,20 \times 10^{-3}T^2 + 12,22 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -381\,450 - 17,84T \ln T +$$

$$+5,20 \times 10^{-3}T^2 + 6,11 \times 10^5 T^{-1} + 228,56T$$

Интервал II (943 — 1500° К)

$$\Delta C_p = 16,90 - 6,50 \times 10^{-3}T + 1,0 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -365\,400 + 16,90T -$$

$$-3,25 \times 10^{-3}T^2 - 1,0 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -365\,400 + 16,90T \ln T +$$

$$+3,25 \times 10^{-3}T^2 - 0,50 \times 10^5 T^{-1} + 207,16T$$

T, °К	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	31,3	-372 500	-341 250
400	3 650	41,79	-371 900	-330 500
500	7 400	50,15	-371 300	-320 200
600	11 290	57,24	-370 550	-310 500
700	15 290	63,40	-369 850	-300 000
800	19 390	68,88	-369 100	-290 100
900	23 590	73,82	-368 350	-280 300
1 000	27 890	78,99	-367 600	-271 400
1 100	32 290	84,34	-366 850	-263 300
1 200	36 790	89,80	-366 100	-255 900
1 300	41 390	95,33	-365 350	-249 200
1 400	46 090	100,93	-364 600	-243 100
1 500	50 890	106,58	-363 850	-237 500

Двуфтористый ванадий

VF₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-180\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (19) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{пл} = (1400^\circ \text{ К}) [6]$$

$$\Delta H_{пл} = (6000^\circ) \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = (2500^\circ \text{ К}) [6]$$

$$\Delta H_{исп} = (65\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $V + F_2 \rightarrow VF_2$

Расчетные данные [11].

T, °К	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-180 000)	(-169 000)
500	(3 000)	(-179 900)	(-162 000)
1 000	(12 000)	(-178 500)	(-144 000)
1 500	(29 000)	(-169 800)	(-127 500)

Трехфтористый ванадий

VF₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-285\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (28) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{пл} = (1400^\circ \text{ К}) [6]$$

$$\Delta H_{пл} = (11\,000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = (1700^\circ \text{ К}) [6]$$

$$\Delta H_{исп} = (49\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $V + 3/2F_2 \rightarrow VF_3$

Расчетные данные [11]

T, °К	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-285 000)	(-269 500)
500	(4 000)	(-284 700)	(-259 500)
1 000	(17 000)	(-281 500)	(-234 000)
1 500	(32 000)	(-277 000)	(-212 000)

Четырехфтористый ванадий

VF₄ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-325\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (38) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{возг}} = (600^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = (23\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $V + 2F_2 \rightarrow VF_4$

Расчетные данные [11]

T, °K	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-325 000)	(-305 000)
500	(6 000)	(-323 500)	(-291 000)

Пятифтористый ванадий

VF₅ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-335\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (50) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (375^\circ \text{K}) [6]$$

$$T_{\text{кип}} = 384^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 8500 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $V + 5/2 F_2 \rightarrow VF_5$

Расчетные данные [11]

T, °K	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-335 000)	(-312 000)
500	(10 000)	(-330 200)	(-298 000)

Двухлористый ванадий

VCl₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-117\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = 23,2 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1300^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 8000 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1650^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (35\,000) \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 1300° K)

$$C_p = 17,25 + 2,72 \times$$

$$\times 10^{-3}T - 0,71 \times 10^5 T^{-2} [82]$$

$$H_T - H_{298} = -5500 + 17,25T + \\ + 1,36 \times 10^{-3}T^2 + 0,71 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $V + Cl_2 \rightarrow VCl_2$

Интервал I (298—1300° K)

$$\Delta C_p = 3,03 + 0,66 \times 10^{-3}T - 0,03 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -117\,950 + 3,03T + 0,33 \times \\ \times 10^{-3}T^2 + 0,03 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -117\,950 - 3,03T \ln T - \\ - 0,33 \times 10^{-3}T^2 + 0,015 \times 10^5 T^{-1} + 57,61T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	23,2	(-117 000)	(-105 900)
400	1 840	28,5	(-116 650)	(-102 100)
500	3 620	32,47	(-116 350)	(-98 600)
600	5 450	35,81	(-116 000)	(-95 000)
700	7 330	38,7	(-115 650)	(-91 700)
800	9 250	41,27	(-115 300)	(-88 200)
900	11 200	43,56	(-114 950)	(-84 800)
1 000	13 180	45,65	(-114 550)	(-81 400)
1 100	15 190	47,56	(-114 150)	(-78 200)
1 200	17 220	49,33	(-113 750)	(-75 000)
1 300	19 270	50,97	(-113 350)	(-71 800)
1 500	—	—	(-84 000)	(-67 000)

Трехлористый ванадий

VCl₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-139\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = 31,3 \text{ э. е. [83]}$$

Диспропорционируется < 1000° K [6]

Интервал I (тв) (298 — 900° K)

$$C_p = 22,99 + 3,92 \times \\ \times 10^{-3}T - 1,68 \times 10^5 T^{-2} [82]$$

$$H_T - H_{298} = -7592 + 22,99T + \\ + 1,96 \times 10^{-3}T^2 + 1,68 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $V + 3/2 Cl_2 \rightarrow VCl_3$

Интервал I (298 — 900° К)

$$\Delta C_p = 4,36 + 1,83 \times 10^{-3}T - 0,64 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -140\,600 + 4,36T + 0,915 \times 10^{-3}T^2 + 0,64 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -140\,600 - 4,36T \ln T - 0,915 \times 10^{-3}T^2 + 0,32 \times 10^5 T^{-1} + 85,82T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	31,3	(-139 000)	(-123 400)
400	2 360	38,1	(-138 500)	(-116 700)
500	4 730	43,39	(-138 100)	(-111 200)
600	7 180	47,85	(-137 500)	(-106 100)
700	9 700	51,73	(-137 000)	(-100 900)
800	12 270	55,15	(-136 400)	(-95 600)
900	14 860	58,20	(-135 900)	(-90 700)

Четыреххлористый ванадий

VCl₄ (ж)

$$\Delta H_{298}^0 = (-141\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (61) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{пл} = 247 \text{ °K [6]}$$

$$\Delta H_{пл} = (2200) \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 437 \text{ °K [6]}$$

$$\Delta H_{исп} = 7700 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $V + 2Cl_2 \rightarrow VCl_4$

Расчетные данные [11]

T, °K	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-141 000)	(-125 000)
500	(14 700)	(-131 000)	(-115 000)

Двубромистый ванадий

VBBr₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-97\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (30) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{пл} = (1100 \text{ °K}) [6]$$

$$\Delta H_{пл} = (7000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = (1500 \text{ °K}) [6]$$

$$\Delta H_{исп} = (32\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $V + Br_2 \rightarrow VBBr_2$

Расчетные данные [11]

T, °K	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-97 000)	(-93 000)
500	(4 000)	(-103 800)	(-86 000)
1 000	(14 000)	(-101 700)	(-70 000)

Трехбромистый ванадий

VBBr₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-109\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (43) \text{ э. е. [11]}$$

Разлагается на VBBr₂

Реакция образования: $V + 3/2 Br_2 \rightarrow VBBr_3$

Расчетные данные [11]

T, °K	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-109 000)	(-103 500)
500	(5 000)	(-119 600)	(-94 000)
1 000	(20 000)	(-114 700)	(-70 000)

Двуйодистый ванадий

VJ₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-62\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (33) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{пл} = (1050 \text{ °K}) [6]$$

$$\Delta H_{пл} = (6000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = (1200 \text{ °K}) [6]$$

$$\Delta H_{исп} = (25\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $V + J_2 = VJ_2$

Расчетные данные [11]

T, °K	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-62 000)	(-62 000)
500	(4 000)	(-75 900)	(-59 000)
1 000	(14 000)	(-73 800)	(-44 000)

Пятийодистый ванадий

VJ₅ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-42\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (78) \text{ э. е. [11]}$$

Реакция образования: $V + 5/2 J_2 \rightarrow VJ_5$

Расчетные данные [11]

T, °K	H _T - H ₂₉₈	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	(-42 000)	(-42 000)
500	(8 000)	(-77 000)	(-25 500)

Карбид ванадия

VC (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -28\,000 \text{ кал/моль [9]}$$

$$S_{298} = 6,77 \text{ э. е.}$$

$$T_{пл} = 3100^\circ \text{ K [9]}$$

Интервал I (тв) (298 — 1600° K)

$$C_p = 9,18 + 3,30 \times 10^{-3}T - 1,95 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -3725 + 9,18T + 1,65 \times 10^{-3}T^2 + 1,95 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $V + C \rightarrow VC$

Интервал I (298 — 1600° K)

$$\Delta C_p = -0,32 + 0,28 \times 10^{-3}T + 0,15 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -27870 - 0,32T + 0,14 \times 10^{-3}T^2 - 0,15 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -27\,870 + 0,32T \ln T -$$

$$-0,14 \times 10^{-3}T^2 - 0,075 \times 10^5 T^{-1} - 0,53T$$

T, °K	H _T - H ₂₉₈	S _T	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	6,77	-28 000	-27 525
400	990	9,32	-28 000	-27 350
500	1 850	11,47	-28 000	-27 200
600	2 870	13,32	-28 000	-27 050
700	3 950	14,99	-28 000	-26 900
800	5 090	16,51	-28 000	-26 750
900	6 280	17,91	-28 000	-26 550
1 000	7 510	19,20	-28 000	-26 400
1 100	8 770	20,41	-27 950	-26 250
1 200	10 060	21,53	-27 950	-26 100
1 300	11 380	22,58	-27 950	-25 950
1 400	12 720	23,57	-27 950	-25 800
1 500	14 080	24,51	-27 900	-25 650
1 600	15 450	25,40	-27 800	-25 600

Нитрид ванадия

VN (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -40\,800 \text{ кал/моль [94]}$$

$$S_{298} = 8,9 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{пл} = 2320^\circ \text{ K [9]}$$

Интервал I (тв) (298 — 1600° K)

$$C_p = 10,94 + 2,10 \times 10^{-3}T - 2,21 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -4096 + 10,94T + 1,05 \times 10^{-3}T^2 + 2,21 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $V + 1/2 N_2 \rightarrow VN$

Интервал I (298 — 1600° K)

$$\Delta C_p = 2,21 - 0,41 \times 10^{-3}T - 2,21 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -42\,180 + 2,21T - 0,205 \times 10^{-3}T^2 + 2,21 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -42\,180 - 2,21T \ln T + 0,205 \times 10^{-3}T^2 + 1,105 \times 10^5 T^{-1} + 36,91T$$

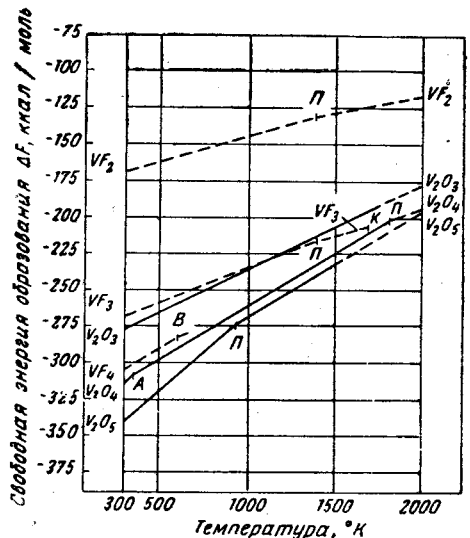


Рис. 62. Ванадий (а)

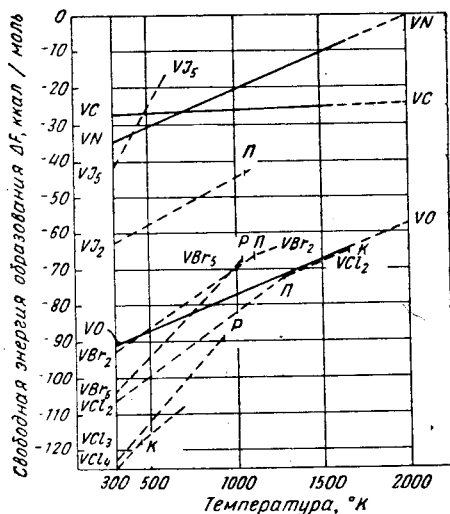


Рис. 63. Ванадий (б)

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	8,9	-40 800	-34 500
400	1 010	11,81	-40 750	-32 400
500	2 080	14,20	-40 700	-30 300
600	3 200	16,24	-40 600	-28 250
700	4 370	18,04	-40 450	-26 200
800	5 590	19,66	-40 250	-24 150
900	6 750	21,15	-40 100	-22 200
1 000	8 130	22,50	-39 900	-20 200
1 100	9 430	23,74	-39 750	-18 250
1 200	10 750	24,89	-39 550	-16 350
1 300	12 090	25,96	-39 400	-14 350
1 400	13 450	26,97	-39 250	-12 450
1 500	14 820	27,91	-39 150	-10 600
1 600	16 200	28,80	-39 100	- 8 650

Иттербий и его соединения

Элемент

Yb (тв)

$$S_{298} = 15,0 \text{ э. е. [130]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1097^\circ \text{K [125]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (2200) \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 1800^\circ \text{K [125]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 37 100 \text{ кал/г-атом}$$

Расчетные данные [124]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	15,0	15,0
400	(620)	(16,79)	(15,24)
500	(1 250)	(18,19)	(15,69)
600	(1 900)	(19,38)	(16,22)
700	(2 570)	(20,41)	(16,74)
800	(3 260)	(21,33)	(17,26)
900	(3 970)	(22,17)	(17,76)
1 000	(4 700)	(22,94)	(18,24)
1 100	(7 950)	(25,94)	(18,72)
1 200	(8 700)	(26,59)	(19,34)
1 300	(9 450)	(27,19)	(19,93)
1 400	(10 200)	(27,75)	(20,47)
1 500	(10 950)	(28,27)	(20,97)
1 600	(11 700)	(28,75)	(21,44)
1 700	(12 450)	(29,20)	(21,88)
1 800	(13 200)	(29,64)	(22,31)
1 900	(50 860)	(50,55)	(23,79)
2 000	(51 360)	(50,81)	(25,13)

Двухфтористый иттербий

YbF₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-262 000) \text{ кал/моль [5]}$$

$$S_{298} = (20) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1325^\circ \text{K [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 5000 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2650^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (75 000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Yb} + \text{F}_2 \rightarrow \text{YbF}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-262 000)	(-250 000)
500	(4 000)	(-260 800)	(-241 000)
1 000	(13 000)	(-259 500)	(-223 000)
1 500	(24 000)	(-259 200)	(-203 000)

Трехфтористый иттербий

YbF₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-351 000) \text{ кал/моль [5]}$$

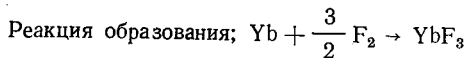
$$S_{298} = (26) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1430^\circ \text{K [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 8000 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2500^\circ \text{К}) [6]$$

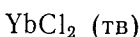
$$\Delta H_{\text{исп}} = (60\,000) \text{ кал/моль}$$



Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-351 000)	(-333 000)
500	(4 000)	(-350 600)	(-321 000)
1 000	(17 000)	(-347 500)	(-293 000)
1 500	(32 000)	(-345 300)	(-367 000)

Двухлористый иттербий



$$\Delta H_{298}^0 = (-162\,000) \text{ кал/моль} [5]$$

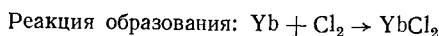
$$S_{298} = (30) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{\text{пл}} = 975^\circ \text{К} [29]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 6000 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2200^\circ \text{К}) [6]$$

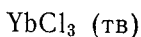
$$\Delta H_{\text{исп}} = (50\,000) \text{ кал/моль}$$



Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-162 000)	(-161 000)
500	(4 000)	(-160 900)	(-153 500)
1 000	(13 000)	(-159 700)	(-128 000)
1 500	(31 000)	(-152 300)	(-115 500)

Трехлористый иттербий



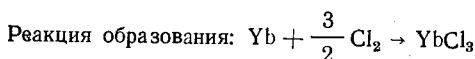
$$\Delta H_{298}^0 = (-189\,000) \text{ кал/моль} [5]$$

$$S_{298} = (38) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{\text{пл}} = 1138^\circ \text{К} [29]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (9000) \text{ кал/моль}$$

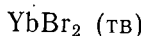
Разлагается выше 1500°К



Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-189 000)	(-173 000)
500	(5 000)	(-187 800)	(-161 500)
1 000	(19 000)	(-184 800)	(-136 000)
1 500	(43 000)	(-172 500)	(-117 000)

Двубромистый иттербий



$$\Delta H_{298}^0 = (-132\,000) \text{ кал/моль} [5]$$

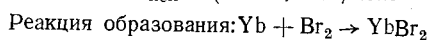
$$S_{298} = (36) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{\text{пл}} = 945^\circ \text{К} [29]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 6000 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2100^\circ \text{К}) [6]$$

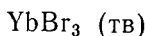
$$\Delta H_{\text{исп}} = (48\,000) \text{ кал/моль}$$



Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-132 000)	(-127 000)
500	(4 000)	(-150 000)	(-120 500)
1 000	(20 000)	(-140 000)	(-104 000)
1 500	(32 000)	(-129 500)	(-93 000)

Трехбромистый иттербий



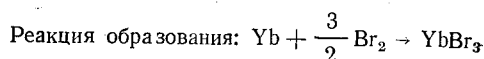
$$\Delta H_{298}^0 = (-149\,000) \text{ кал/моль} [5]$$

$$S_{298} = (44) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{\text{пл}} = 1227^\circ \text{К} [29]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 10\,000 \text{ кал/моль}$$

Разлагается выше 1500°К [6]



Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{К}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-149 000)	(-142 000)
500	(5 000)	(-170 800)	(-132 500)
1 000	(18 000)	(-166 700)	(-106 000)
1 500	(43 000)	(-144 700)	(-86 500)

Двуйодистый иттербий

YbJ₂ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-102\,000) \text{ кал/моль} [5]$$

$$S_{298} = (40) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{\text{пл}} = 1045^\circ \text{ К} [29]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 5000 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1600^\circ \text{ К}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (37\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: Yb + J₂ → YbJ₂

Расчетные данные [11]

T, °K	H _T - H ₂₉₈	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	(-102 000)	(-102 000)
500	(4 000)	(-115 900)	(-99 500)
1 000	(19 000)	(-108 800)	(-85 000)
1 500	(31 000)	(-107 500)	(-73 500)

Трехйодистый иттербий

YbJ₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-96\,000) \text{ кал/моль} [5]$$

$$S_{298} = (47) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{\text{пл}} = (1300^\circ \text{ К}) [29]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (10\,000) \text{ кал/моль}$$

Разлагается выше 1500° К [6]

Реакция образования: Yb + $\frac{3}{2}$ J₂ → YbJ₃

Расчетные данные [11]

T, °K	H _T - H ₂₉₈	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	(-96 000)	(-93 500)
500	(5 000)	(-120 200)	(-88 500)
1 000	(19 000)	(-116 200)	(-60 000)
1 500	(44 000)	(-95 500)	(-35 500)

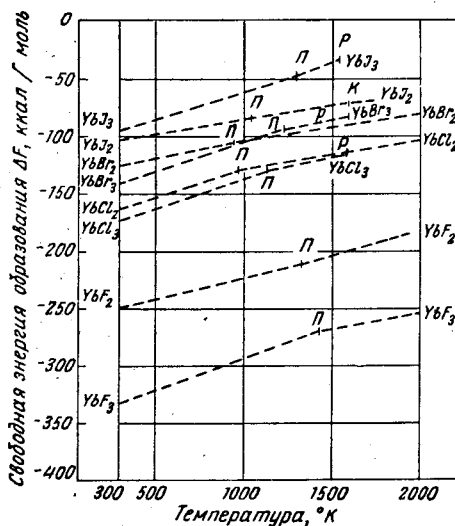


Рис. 64. Иттербий

Иттрий и его соединения

Элемент

Y (ТВ)

$$S_{298} = 11,3 \text{ э. е.} [127]$$

$$T_{\text{пл}} = (1773^\circ \text{ К}) [125]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (4100) \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = (3500^\circ \text{ К}) [125]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (94\,000) \text{ кал/г-атом}$$

Расчетные данные [130]

15*

T, °K	H _T - H ₂₉₈	S _T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	11,30	11,30
400	(617)	(13,08)	(11,52)
500	(1 233)	(14,45)	(11,98)
600	(1 859)	(15,59)	(12,50)
700	(2 495)	(16,57)	(13,00)
800	(3 141)	(17,44)	(13,51)
900	(3 798)	(18,21)	(13,99)
1 000	(4 465)	(18,91)	(14,45)
1 100	(5 142)	(19,56)	(14,88)
1 200	(5 829)	(20,16)	(15,40)

Продолжение

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
1 300	(6 527)	(20, 71)	(15, 70)
1 400	(7 235)	(21, 24)	(16, 07)
1 500	(7 935)	(21, 73)	(16, 44)
1 600	(8 681)	(22, 20)	(16, 77)
1 700	(9 419)	(22, 65)	(17, 11)
1 800	(14 280)	(25, 40)	(17, 46)
1 900	(15 080)	(25, 83)	(17, 90)
2 000	(15 880)	(26, 24)	(18, 30)

Оксид иттрия Y_2O_3 (ТВ)

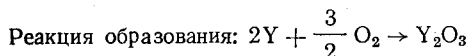
$$\Delta H_{298}^0 = -455\,450 \text{ кал/моль [62]}$$

$$S_{298} = 27,1 \text{ э. е. [8]}$$

$$T_{\text{пл}} = 2500^\circ \text{K [42]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 25\,000 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 4570 \pm 300^\circ \text{K [42]}$$



Расчетные данные [24]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-455 450	-433 450
400	(2 320)	(-455 400)	(-425 500)
500	(4 800)	(-455 400)	(-418 500)
600	(7 030)	(-455 400)	(-411 500)
700	(9 930)	(-455 000)	(-404 000)
800	(12 460)	(-455 000)	(-396 500)
900	(15 000)	(-455 000)	(-389 500)
1 000	(17 800)	(-454 500)	(-382 000)
1 100	(20 900)	(-454 500)	(-375 000)
1 200	(23 700)	(-454 000)	(-368 000)
1 300	(26 360)	(-454 000)	(-360 500)
1 400	(29 550)	(-453 500)	(-353 500)
1 500	(32 800)	(-453 000)	(-346 500)
1 600	(36 030)	(-452 500)	(-339 000)
1 700	(39 340)	(-452 000)	(-332 000)
1 800	(46 000)	(-450 000)	(-325 000)
1 900	(49 000)	(-459 500)	(-317 500)
2 000	(52 700)	(-459 000)	(-309 500)

Трифтористый иттрий YF_3 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-372\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

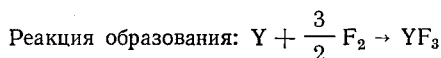
$$S_{298} = (23) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1425^\circ \text{K [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (13\,000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2500^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (60\,000) \text{ кал/моль}$$



Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-372 000)	(-353 800)
500	(4 000)	(-371 000)	(-342 000)
1 000	(17 000)	(-369 300)	(-314 000)
1 500	(32 000)	(-364 900)	(-288 000)

Трихлористый иттрий YCl_3 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -232\,690 \text{ кал/моль [127]}$$

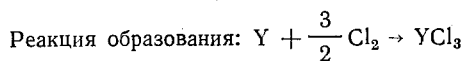
$$S_{298} = 32,7 \text{ э. е. [127]}$$

$$T_{\text{пл}} = 982^\circ \text{K [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (9000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1780^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (45\,000) \text{ кал/моль}$$



Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-232 700	-215 200
500	(5 000)	(-231 800)	(-206 200)
1 000	(28 000)	(-229 600)	(-183 700)
1 500	(44 000)	(-214 000)	(-163 700)

Трибромистый иттрий YBr_3 (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-172\,000) \text{ кал/моль [5]}$$

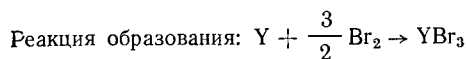
$$S_{298} = (42) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1186^\circ \text{K [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (9000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1740^\circ \text{K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (44\,000) \text{ кал/моль}$$



Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-172 000)	(-166 000)
500	(5 000)	(-183 000)	(-155 000)
1 000	(18 000)	(-180 000)	(-129 000)
1 500	(44 000)	(-165 300)	(-108 000)

Нитрид иттрия

YN (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -71\,500 \text{ кал/моль [9]}$$

$$S_{298} = (14,2) \text{ э. е. [9]}$$

$$\Delta F_{298}^0 = -64\,000 \text{ кал/моль}$$

Трехйодистый иттрий

YJ₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -143\,000 \text{ кал/моль [5]}$$

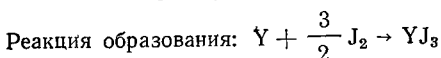
$$S_{298} = (45) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1238^\circ \text{K [29]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (12\,000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1580^\circ \text{K [6]})$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (41\,000) \text{ кал/моль}$$



Расчетные данные [11]

T°, K	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-143 000	(-140 500)
500	(5 000)	(-164 300)	(-135 000)
1 000	(19 000)	(-161 200)	(-109 000)
1 500	(46 000)	(-145 000)	(-87 000)

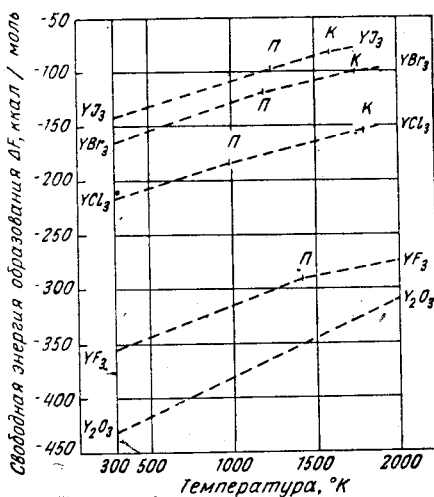


Рис. 65. Иттрий

Цинк и его соединения

Элемент

Zn (ТВ)

$$S_{298} = 9,95 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 692,7^\circ \text{K [82]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 1765 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{кип}} = 1181^\circ \text{K [130]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 27\,560 \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (ТВ) (298 — 692,7° K)

$$C_p = 5,35 + 2,40 \times 10^{-3}T \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -1702 + 5,35T + 1,20 \times 10^{-3}T^2$$

$$F_T - H_{298} = -1702 - 5,35T \ln T - 1,20 \times 10^{-3}T^2 + 26,56T$$

Интервал II (ж) (692,7 — 1181° K)

$$C_p = 7,50 \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -850 + 7,50T$$

$$F_T - H_{298} = -850 - 7,50T \ln T + 38,57T$$

Интервал III (г) (1181 — 2000° K)

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	9,95	9,95
400	625	11,75	10,19
500	1 270	13,19	10,65
600	1 940	14,41	11,18
700	4 400	18,03	11,74
800	5 150	19,03	12,59
900	5 900	19,91	13,36
1 000	6 650	20,70	14,05
1 100	7 400	21,42	14,69
1 200	(35 660)	(45,37)	(15,66)
1 300	(36 160)	(45,77)	(17,96)
1 400	(36 650)	(46,14)	(19,96)
1 500	(37 150)	(46,48)	(21,72)
1 600	(37 650)	(46,80)	(23,28)
1 700	(38 140)	(47,10)	(24,67)
1 800	(38 640)	(47,38)	(25,92)
1 900	(39 140)	(47,65)	(27,06)
2 000	(39 630)	(47,91)	(28,10)
2 500	(42 120)	(49,02)	(32,18)

Оксид цинка

ZnO (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -83\,250 \text{ кал/моль [24]}$$

$$S_{298} = 10,43 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 2248^\circ \text{K [112]}$$

Интервал I (тв) (298 — 1600° K)

$$C_p = 11,71 + 1,22 \times 10^{-3}T - 2,18 \times 10^5 T^{-2} \text{ [82]}$$

$$H_T - H_{298} = -4280 + 11,717T + 0,61 \times 10^{-3}T^2 + 2,18 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $\text{Zn} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{ZnO}$

Интервал I (298 — 692,7° K)

$$\Delta C_p = 2,78 - 1,68 \times 10^{-3}T - 1,98 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -84\,670 + 2,78T - 0,84 \times 10^{-3}T^2 + 1,98 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -84\,670 - 2,78T \ln T + 0,84 \times 10^{-3}T^2 + 0,99 \times 10^5 T^{-1} + 43,24T$$

Интервал II (692,7 — 1181° K)

$$\Delta C_p = 0,63 + 0,72 \times 10^{-3}T - 1,98 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -85\,600 + 0,63T + 0,36 \times 10^{-3}T^2 + 1,98 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -85\,600 - 0,63T \ln T - 0,36 \times 10^{-3}T^2 + 0,99 \times 10^5 T^{-1} + 31,28T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	10,43	-83 250	-76 100
400	1 070	13,51	-83 200	-74 650
500	2 190	16,01	-83 050	-71 300
600	3 350	18,12	-82 950	-68 950
700	4 530	19,94	-84 600	-66 600
800	5 740	21,56	-84 550	-64 000
900	6 970	23,00	-84 500	-61 500
1 000	8 220	24,32	-84 400	-59 000
1 100	9 500	25,54	-84 000	-56 100
1 200	10 800	26,67	(-111 600)	(-53 400)
1 300	12 120	27,72	(-111 200)	(-50 700)
1 400	13 450	28,71	(-110 800)	(-47 900)
1 500	14 800	29,64	(-110 400)	(-45 100)
1 600	16 160	30,52	(-110 000)	(-42 200)

Фтористый цинк

ZnF₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -176\,000 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (24) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1145^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (7000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 1775^\circ \text{K [6]}$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = 44\,000 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Zn} + \text{F}_2 \rightarrow \text{ZnF}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-176 000	(-165 600)
500	(4 000)	(-174 900)	(-158 500)
1 000	(14 000)	(-174 500)	(-142 000)
1 500	(32 000)	(-191 400)	(-123 000)

Хлористый цинк

ZnCl₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -99\,600 \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = 25,9 \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{пл} = 556^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{пл} = 5540 \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 1005^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{исп} = 28700 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Zn} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{ZnCl}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{498}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-99 600	-88 450
500	(4 000)	(-98 600)	(-81 100)
1 000	(21 000)	(-91 300)	(-70 000)
1 500	(61 000)	(-86 000)	(-53 600)

Бромистый цинк

ZnBr_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -78200 \text{ кал/моль} [11]$$

$$S_{298} = (33) \text{ э. е.} [11]$$

$$T_{пл} = 665^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{пл} = 4000 \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 975^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{исп} = 24250 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Zn} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{ZnBr}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-78 200	(-74 400)
500	(4 000)	(-71 400)	(-68 000)
1 000	(21 000)	(-78 500)	(-56 800)
1 500	(56 000)	(-77 700)	(-39 000)

Иодистый цинк

ZnI_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -49980 \text{ кал/моль} [112]$$

$$S_{298} = (38) \text{ э. е.} [112]$$

$$T_{пл} = 719^\circ \text{K} [6]$$

$$\Delta H_{пл} = 4500 \text{ кал/моль}$$

$$T_{кип} = 1000^\circ \text{K}$$

$$\Delta H_{исп} = 23000 \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Zn} + \text{I}_2 \rightarrow \text{ZnI}_2$

Расчетные данные [11]

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	-49 980	(-50 000)
500	(4 000)	(-63 900)	(-48 000)
1 000	(20 000)	(-57 800)	(-36 600)
1 500	(54 000)	(-58 500)	(-19 800)

Нитрид цинка

Zn_3N_2 (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -5300 \text{ кал/моль} [9]$$

Метастабильный [9]

Интервал I (тв) (298 — 700° K)

$$C_p = 19,93 + 20,80 \times 10^{-3}T [82]$$

$$H_T - H_{298} = -6867 + 19,93T + 10,40 \times 10^{-3}T^2$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	$S_T - S_{298}$	ΔH_{298}
298	—	—	-5 300
400	2 770	7,98	-5 100
500	5 700	14,51	-4 800
600	8 880	20,30	-4 400
700	12 180	25,38	-9 150

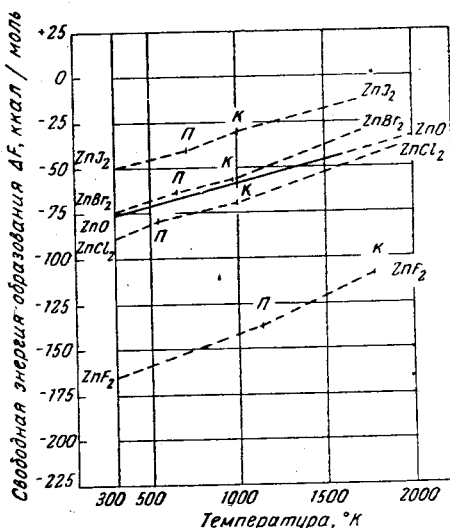


Рис. 66. Цинк

Цирконий и его соединения

Элемент

Zr (ТВ)

$$T_{\text{прев}} = 1135^\circ \text{K} [26]$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 920 \text{ кал/г-атом}$$

$$T_{\text{пл}} = 2125^\circ \text{K} [130]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (5500) \text{ кал/г-атом}$$

Интервал I (α) (298 — 1135° K)

$$C_p = 6,83 + 1,12 \times 10^{-3}T - 0,87 \times 10^5 T^{-2} [26]$$

$$H_T - H_{298} = -2380 + 6,83T \times 0,56 \times 10^{-3}T^2 + 0,87 \times 10^5 T^{-1}$$

$$F_T - H_{298} = -2380 - 6,83T \ln T - 0,56 \times 10^{-3}T^2 + 0,43 \times 10^5 T^{-1} + 37,25T$$

Интервал II (β) (1135 — 2133° K)

$$C_p = 7,27 [26]$$

$$H_T - H_{298} = -1170 + 7,27T$$

$$F_T - H_{298} = -1170 - 7,27T \ln T + 38,67T$$

$T, ^\circ\text{K}$	$H_T - H_{298}$	S_T	$-\frac{(F_T - H_{298})}{T}$
298	—	9,29	9,29
400	665	11,20	9,57
500	1 350	12,73	10,02
600	2 065	14,03	10,61
700	2 800	15,17	11,14
800	3 550	16,17	11,71
900	4 315	17,07	12,29
1 000	5 095	17,89	12,80
1 100	5 895	18,65	13,28
1 200	7 560	20,11	13,82
1 300	8 290	20,69	14,28
1 400	9 015	21,23	14,85
1 500	(9 730)	(21,70)	(15,18)
1 600	(10 450)	(22,15)	(15,67)
1 700	(11 210)	(22,65)	(16,16)
1 800	(11 930)	(23,10)	(16,46)
1 900	(12 640)	(23,50)	(16,72)
2 000	(13 380)	(23,85)	(17,13)

Двуокись циркония

ZrO₂ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -261 500 \text{ кал/моль} [24]$$

$$S_{298} = 12,12 \text{ э. е.} [80]$$

$$T_{\text{прев}} = 1478^\circ \text{K} [26]$$

$$\Delta H_{\text{прев}} = 1420 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 2950^\circ \text{K} [42]$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 20 800 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = 4570^\circ \text{K}$$

Интервал I (α) (298 — 1478° K)

$$C_p = 16,64 + 1,80 \times 10^{-3}T - 3,36 \times 10^5 T^{-2} [26]$$

$$H_T - H_{298} = -6160 + 16,64T + 0,90 \times 10^{-3}T^2 + 3,36 \times 10^5 T^{-1}$$

Интервал II (β) (1478 — 2100° K)

$$C_p = 17,80 [26]$$

$$H_T - H_{298} = -4267 + 17,80T$$

Реакция образования: $\text{Zr} + \text{O}_2 \rightarrow \text{ZrO}_2$

Интервал I (298 — 1135° K)

$$\Delta C_p = 2,65 - 0,32 \times 10^{-3}T - 2,09 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -262 960 + 2,65T - 0,16 \times 10^{-3}T^2 + 2,09 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -262 960 - 2,65T \ln T + 0,16 \times 10^{-3}T^2 + 1,04 \times 10^5 T^{-1} + 65,0T$$

Интервал II (1135 — 1478° K)

$$\Delta C_p = 2,21 + 0,80 \times 10^{-3}T - 2,96 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -264 360 + 2,21T + 0,40 \times 10^{-3}T^2 + 2,96 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -264\,360 - 2,21T \ln T - 0,40 \times 10^{-3}T^2 + 1,48 \times 10^5 T^{-1} + 63,5T$$

Интервал III (1478—2100° К)

$$\Delta C_P = 3,37 - 1,00 \times 10^{-3}T + 0,40 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -262\,400 + 3,37T - 0,50 \times 10^{-3}T^2 - 0,40 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -262\,400 - 3,37T \ln T + 0,50 \times 10^{-3}T^2 - 0,20 \times 10^5 T^{-1} + 69,44T$$

T, °К	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	12,12	-261 500	-247 750
400	1 475	16,36	-261 400	-243 100
500	3 050	19,87	-261 250	-239 450
600	4 690	22,86	-261 100	-233 900
700	6 380	25,46	-260 900	-229 400
800	8 120	27,80	-260 700	-224 900
900	9 990	29,91	-260 450	-220 450
1 000	11 730	31,82	-260 300	-216 000
1 100	13 570	33,58	-260 150	-211 550
1 200	15 420	35,19	-260 900	-207 400
1 300	17 280	36,67	-260 400	-202 800
1 400	19 150	38,06	-260 100	-198 350
1 500	22 430	40,30	(-258 500)	(-193 900)
1 600	24 210	41,45	(-258 200)	(-189 700)
1 700	25 990	42,53	(-258 050)	(-185 250)
1 800	27 770	43,55	(-257 850)	(-180 950)

Двухфтористый цирконий

ZrF₂ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-230\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (21) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = 1800^\circ \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 14\,500 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} > 2500^\circ \text{ К [6]}$$

Реакция образования: $Zr + F_2 \rightarrow ZrF_2$

Расчетные данные [11]

T, °К	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-230 000)	(-219 000)
500	(4 000)	(-229 000)	(-211 500)
1 000	(14 000)	(-227 500)	(-196 000)
1 500	(25 000)	(-225 000)	(-182 000)

Трехфтористый цирконий

ZrF₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-350\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (24) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (1600^\circ \text{ К [6]})$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = (13\,000) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (2400^\circ \text{ К [6]})$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (58\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $Zr + \frac{3}{2} F_2 \rightarrow ZrF_3$

Расчетные данные [11]

T, °К	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-350 000)	(-333 000)
500	(4 000)	(-349 500)	(-321 000)
1 000	(17 000)	(-347 000)	(-293 000)
1 500	(32 000)	(-344 000)	(-269 000)

Четырехфтористый цирконий

ZrF₄ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-445\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (33) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{возг}} = (1200^\circ \text{ К [6]})$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = (45\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $Zr + 2F_2 \rightarrow ZrF_4$

Расчетные данные [11]

T, °К	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-445 000)	(-423 000)
500	(6 000)	(-443 500)	(-408 000)
1 000	(22 000)	(-439 800)	(-375 000)

Двуххлористый цирконийZrCl₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-145\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (27) \text{ э. е. [11]}$$

$$\Delta H_{\text{пл}} = 7300 \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{кип}} = (1750^\circ \text{ K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (35\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Zr} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{ZrCl}_2$

Расчетные данные [11]

<i>T</i> , °K	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-145 000)	(-134 000)
500	(4 000)	(-144 000)	(-127 000)
1 000	(21 000)	(-135 000)	(-112 000)

Треххлористый цирконийZrCl₃ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-208\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (40) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (900^\circ \text{ K}) [6]$$

Диспропорционируется выше 1000° K [6]

Реакция образования: $\text{Zr} + \frac{3}{2} \text{Cl}_2 \rightarrow \text{ZrCl}_3$

Расчетные данные [11]

<i>T</i> , °K	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-208 000)	(-193 000)
500	(5 000)	(-207 000)	(-183 000)
1 000	(20 000)	(-202 000)	(-162 000)

Четыреххлористый цирконийZrCl₄ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-230\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = 44,5 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{возг}} = 604^\circ \text{ K} [6]$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = 25\,290 \text{ кал/моль}$$

Интервал I (тв) (298 — 604° K)

$$C_P = 31,92 - 2,91 \times 10^5 T^{-2} [26]$$

$$H_T - H_{298} = -10\,495 + 31,92T + 2,91 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $\text{Zr} + 2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{ZrCl}_4$

Интервал I (298 — 604° K)

$$\Delta C_P = 7,45 - 1,24 \times 10^{-3} T - 0,68 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta H_T = -232\,400 + 7,45T - 0,62 \times 10^{-3} T^2 + 0,68 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -232\,400 - 7,45T \ln T + 0,62 \times 10^{-3} T^2 + 0,34 \times 10^5 T^{-1} + 121,27T$$

<i>T</i> , °K	$H_T - H_{298}$	<i>S_T</i>	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	44,5	(-230 000)	(-208 750)
400	3 000	53,15	(-229 360)	(-201 400)
500	6 050	59,94	(-228 670)	(-194 550)
600	9 120	65,60	(-227 560)	(-187 450)
1 000	—	—	—	(-177 000)
1 500	—	—	—	(-164 000)
2 000	—	—	—	(-149 000)

Двубромистый цирконийZrBr₂ (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = (-12\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (32) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (900^\circ \text{ K}) [6]$$

$$T_{\text{кип}} = (1500^\circ \text{ K}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (33\,000) \text{ кал/моль}$$

Реакция образования: $\text{Zr} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{ZrBr}_2$

Расчетные данные [11]

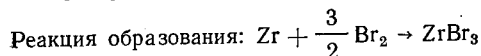
<i>T</i> , °K	$H_T - H_{298}$	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	(-120 000)	(-116 000)
500	(4 000)	(-127 000)	(-109 500)
1 000	(22 000)	(-117 000)	(-94 000)

Трехбромистый цирконийZrBr₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-174\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (42) \text{ э. е. [11]}$$

Диспропорционируется выше 1100° К [6]



Расчетные данные [11]

T, °K	H _T - H ₂₉₈	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	(-174 000)	(-168 000)
500	(5 000)	(-185 000)	(-157 000)
1 000	(19 000)	(-181 000)	(-132 000)

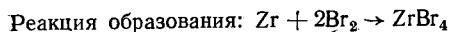
Четырехбромистый цирконийZrBr₄ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-192\,300) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (54) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{возг}} = 595^\circ \text{ К}$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = 24\,000 \text{ кал/моль}$$



Расчетные данные [11]

T, °K	H _T - H ₂₉₈	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	(-192 300)	(-183 000)
500	(6 000)	(-206 400)	(-171 500)

Двуйодистый цирконийZrJ₂ (ТВ)

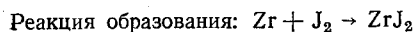
$$\Delta H_{298}^0 = (-90\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (35) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{пл}} = (700^\circ \text{ К}) [6]$$

$$T_{\text{кип}} = (1300^\circ \text{ К}) [6]$$

$$\Delta H_{\text{исп}} = (27\,000) \text{ кал/моль}$$



Расчетные данные [11]

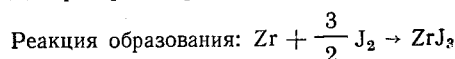
T, °K	H _T - H ₂₉₈	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	(-90 000)	(-89 500)
500	(4 000)	(-97 000)	(-87 000)
1 000	(22 000)	(-87 000)	(-71 000)

Трехйодистый цирконийZrJ₃ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-128\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (45) \text{ э. е. [11]}$$

Диспропорционируется выше 1200° К



Расчетные данные [11]

T, °K	H _T - H ₂₉₈	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	(-128 000)	(-126 000)
500	(5 000)	(-149 000)	(-121 000)
1 000	(19 000)	(-146 000)	(-95 000)

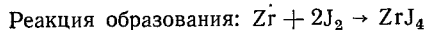
Четырехйодистый цирконийZrJ₄ (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = (-130\,000) \text{ кал/моль [11]}$$

$$S_{298} = (60) \text{ э. е. [11]}$$

$$T_{\text{возг}} = 704^\circ \text{ К [6]}$$

$$\Delta H_{\text{возг}} = 29\,000 \text{ кал/моль}$$



Расчетные данные [11]

T, °K	H _T - H ₂₉₈	ΔH _T ⁰	ΔF _T ⁰
298	—	(-130 000)	(-129 000)
500	(6 000)	(-158 700)	(-124 000)

Карбид циркония

ZrC (ТВ)

$$\Delta H_{298}^0 = -44\,100 \text{ кал/моль [99]}$$

$$S_{298} = (8,5) \text{ э. е. [94]}$$

$$\Delta F_{298}^0 = (-43\,450) \text{ кал/моль}$$

$$T_{\text{пл}} = 3805^\circ \text{ К [9]}$$

Нитрид циркония

ZrN (тв)

$$\Delta H_{298}^0 = -87\,300 \text{ кал/моль [100]}$$

$$S_{298} = 9,29 \text{ э. е. [83]}$$

$$T_{\text{пл}} = 3255^\circ \text{ К [9]}$$

Интервал I (тв) (298 — 1700° К)

$$C_p = 11,0 + 1,68 \times 10^{-3}T - 1,72 \times 10^5 T^{-2} \text{ [26]}$$

$$H_T - H_{298} = -3930 + 11,0T + 0,84 \times 10^{-3}T^2 + 1,72 \times 10^5 T^{-1}$$

Реакция образования: $\text{Zr} + \frac{1}{2} \text{N}_2 \rightarrow \text{ZrN}$

Интервал I (298 — 1135° К)

$$\Delta C_p = 0,94 + 0,05 \times 10^{-3}T - 0,85 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -87\,870 + 0,94T + 0,025 \times 10^{-3}T^2 + 0,85 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -87\,870 - 0,94T \ln T - 0,025 \times 10^{-3}T^2 + 0,42 \times 10^5 T^{-1} + 28,77T$$

Интервал II (1135 — 1700° К)

$$\Delta C_p = 0,40 + 1,17 \times 10^{-3}T - 1,72 \times 10^5 T^{-2}$$

$$\Delta H_T = -89\,100 + 0,40T + 0,58 \times 10^{-3}T^2 + 1,72 \times 10^5 T^{-1}$$

$$\Delta F_T = -89\,100 - 0,40T \ln T - 0,58 \times 10^{-3}T^2 + 0,86 \times 10^5 T^{-1} + 28,0T$$

T, °K	$H_T - H_{298}$	S_T	ΔH_T^0	ΔF_T^0
298	—	9,29	-87 300	-80 500
400	1 040	12,29	-87 300	-78 150
500	2 120	14,69	-87 250	-75 900
600	3 260	16,77	-87 150	-73 600
700	4 450	18,60	-87 100	-71 350
800	5 670	20,23	-87 000	-69 100
900	6 920	21,70	-86 850	-66 850
1 000	8 190	23,04	-86 750	-64 650
1 100	9 470	24,26	-86 700	-62 500
1 200	10 660	25,39	-86 550	-60 350
1 300	12 060	26,43	-87 300	-58 000
1 400	13 370	27,40	-87 100	-55 600
1 500	14 690	28,31	(-86 950)	(-53 550)
1 600	16 020	29,17	(-86 700)	(-51 300)
1 700	17 360	29,98	(-88 500)	(-49 100)

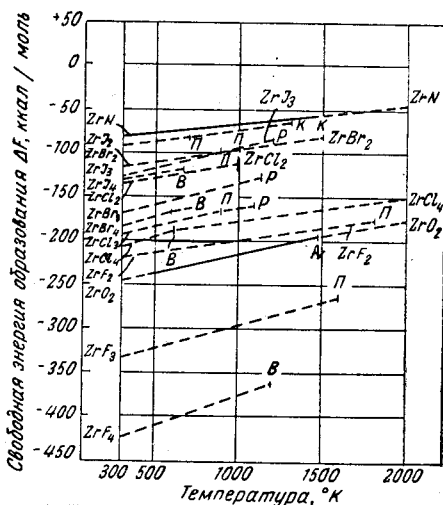


Рис. 67. Цирконий

Литература

1. Aliman D., Farber M. and Mason D. M. Thermodynamic Properties of the Titanium Chlorides. *Jour. Chem. Phys.*, vol. 25, 1956, p. 531.
2. Balesdent D. Determination of the Heats of Formation of the Oxides of Copper. *Compt. rend.*, vol. 240, 1955, p. 1884.
3. Blomeke J. O. and Ziegler W. T. Heat Content, Specific Heat and Entropy of La_2O_3 , Pr_6O_{11} and Nd_2O_3 Between 30° and 900°. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 73, 1951, p. 5099.
4. Boyle B. J., King E. G. and Conway K. C. Heats of Formation of Nickel and Cobalt Oxides (NiO and CoO) of Combustion Calorimetry. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 76, 1954, p. 3835.
5. Bremer L. Private Communications, 1958. Available for inspection at the Albany Metallurgy Research Center, Bureau of Mines, Albany, Oreg.
6. Brewer L. Fusion and Vaporization Data of the Halides. Paper 7 in National Nuclear Energy Series IV, vol. 19B, Chemistry and Metallurgy of Miscellaneous Materials. Thermodynamics, by L. L. Quill, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, N. Y., 1950, p. 193.
7. Brewer L. Thermodynamic and Physical Properties of the Elements. Paper 3 in National Nuclear Energy Series IV, vol. 19B, Chemistry and Metallurgy of Miscellaneous Materials: Thermodynamics, by L. L. Quill, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, N. Y., 1950, p. 13.
8. Brewer L. Thermodynamic Properties of the Oxides and Their Vaporization Processes. *Chem. Reviews*, vol. 52, 1953, p. 1.
9. Brewer L., Bromley L. A., Gillis P. W. and Lofgren N. L. Thermodynamic and Physical Properties of Nitriles, Carbides, Sulfides, Silicides and Phosphides. Paper 4 in National Nuclear Energy Series IV, vol. 19B, Chemistry and Metallurgy of Miscellaneous Materials: Thermodynamics, by L. L. Quill, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, N. Y., 1950, p. 40.
10. Brewer L., Bromley L. A., Gillis P. W. and Lofgren N. L. Thermodynamic Properties and Equilibria at High Temperatures of Uranium Halides, Oxides, Nitriles and Carbides. *AEC MDDC-1543*, Sept. 20, 1945, 84 pp.
11. Brewer L., Bromley L. A., Gillis P. W. and Lofgren N. L. Thermodynamic Properties of the Halides. Paper 6 in National Nuclear Energy Series IV, vol. 19B, Chemistry and Metallurgy of Miscellaneous Materials: Thermodynamics, by L. L. Quill, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, N. Y., 1950, p. 76.
12. Brewer L., Bromley L. A., Gillis P. W. and Lofgren N. L. Thermodynamic Properties of Molybdenum and Tungsten Halides and the Use of These Metals as Refractories. Paper 8 in National Nuclear Energy Series IV, vol. 19B, Chemistry and Metallurgy of Miscellaneous Materials: Thermodynamics, by L. L. Quill, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, N. Y., 1950, p. 276.
13. Brewer L. and Searcy A. W. Gaseous Species of the Al-Al₂O₃ System. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 73, 1951, p. 5308.
14. Брицке Э. В., Капустинский А. Ф., Ченцова А. Г. Сродство металлов к сере. Сообщение III. *Журнал общей и неорганической химии*, 1933, том 213, стр. 58.
15. Brönsted J. N. Untersuchungen über die Spezifische Wärme. I. *Ztschr. Electrochem.*, vol. 18, 1912, p. 714.
16. Busey R. H. and Giauque W. F. Heat Capacity of Anhydrous NiCl₂. From 15° to 300° K. The Antiferromagnetic Anomaly Near 52° K. Entropy and Free Energy. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 74, 1952, p. 4443.
17. Busey R. H. and Glaygue W. F. Heat Capacity of Nickel From 15° to 300° K. Entropy and Free Energy Functions. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 74, 1952, p. 3157.
18. Catalano E. and Stout J. W. Heat Capacity and Entropy of FeF₂ and CoF₂ From 11° to 300° K. The Thermal Anomalies Associated With Antiferromagnetic Ordering. *Jour. Chem. Phys.* vol. 23, 1955, p. 1803.
19. Catalano E. and Stout J. W. Heat Capacity of NiF₂ From 12° to 300° K. Thermodynamic Functions of NiF₂. The Thermal Anomaly Associated With the Antiferromagnetic Ordering. *Jour. Chem. Phys.*, vol. 23, 1955, p. 1284.
20. Cooper C. B. Precision Measurements of the Enthalpy of KBr and KI at High Temperatures. *Jour. Chem. Phys.*, vol. 21, 1953, p. 777.
21. Corbett J. D. and Gregory N. W. AlI₃ - HCl - AlCl₃ - HI System. The Free Energy of Formation of Aluminum Iodide. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 76, 1954, p. 1446.
22. Cosgrove L. A. and Snyder P. E. Heat of Formation of Beryllium Oxide. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 75, p. 3102.
23. Cosgrove L. A. and Snyder P. E. High Temperature Thermodynamic Properties of Molybdenum Trioxide. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 75, 1953, p. 1227.
24. Coughlin J. P. Contributions to the Data of Theoretical Metallurgy. XII. Heats and Free Energies of Formation of Inorganic Oxides. *Bureau of Mines Bull.*, 542, 1954, 80 pp.
25. Coughlin J. P. High Temperature Heat Contents of Nickel Chloride. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 73, 1951, p. 5314.
26. Coughlin J. P. and King E. G. High-Temperature Heat Contents of Some Zirconium-Containing Substances. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 72, 1950, p. 2262.
27. Coughlin J. P., King E. G. and Bonnickson K. R. High Temperature Heat Contents of Ferrous Oxide, Magnetite and Ferric Oxide. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 73, 1951, p. 3891.
28. Craig R. S., Krier C. A., Coffey L. W., Bates E. A. and Wallace W. E. Magnesium-Cadmium Alloys. VI. Heat Capacities Between 12 and 320° K. and the Entropies at 25° C. of Magnesium and Cadmium. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 76, 1954, 238.
29. Daane A. H. Private Communications, 1959. Available for inspection at the Albany Metallurgy Research Center, Bureau of Mines, Albany, Oreg.
30. Darken L. S. and Gurry R. W. System Iron-Oxygen. 11. Equilibrium and Thermodyna-

- mics of Liquid Oxide and Other Phases. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 68, 1946, p. 799.
31. De Sorbo W. Heat Capacity of Chromium Carbide (Cr_3C_2) From 13° to 300° K. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 75, 1953, p. 1825.
32. Douglas T. B., Ball A. F., Ginnings D. C. and Davis W. D. Heat Capacity of Potassium and Three Potassium-Sodium Alloys Between 0° and 800°. The Triple Point and Heat of Fusion of Potassium. *Tour. Am. Chem. Soc.*, vol. 74, 1952, p. 2472.
33. Dworkin A. S., Sasmor D. J. and Van Artdalen E. R. Thermodynamics of Boron Nitride; Low-Temperature Heat Capacity and Entropy; Heats of Combustion and Formation. *Jour. Chem. Phys.*, vol. 22, 1954, p. 837.
34. Evans W. H., Jacobson R., Munson T. R. and Wagman D. D. Thermodynamic Properties of the Alkali Metals. *Nat. Bureau of Standards Res. Jour.*, vol. 55, 1955, RP 2608, p. 83.
35. Farber M. and Darnell A. J. Heat of Formation and Entropy of Titanium Tetrachloride From an Investigation of the Equilibrium: $\text{TiO}_2(\text{s}) + 4\text{HCl}(\text{g}) = \text{TiCl}_4(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$. *Jour. Chem. Phys.*, vol. 23, 1955, p. 1460.
36. Foley W. T. and Giguere P. A. Hydrogen Peroxide and Its Analogs. IV. Some Thermal Properties of Hydrogen Peroxide. *Canadian Jour. Chem.*, vol. 29, 1951, p. 895.
37. Geballe T. H. and Giauque W. F. Heat Capacity and Entropy of Gold From 15° to 300° K. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 74, 1952, p. 2368.
38. Giauque W. F. and Jones W. M. Carbonyl Chloride, Entropy, Heat Capacity, Vapor Pressure, Heats of Fusion and Vaporization. Comments on Solid Sulfur Dioxide Structure. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 70, 1948, p. 120.
39. Giguere P. A., Liu I. D., Dugdale J. S. and Morrison J. A. Hydrogen Peroxide. The Low-Temperature Heat Capacity of the Solid and the Third Law Entropy. *Canadian Jour. Chem.*, vol. 32, 1954, p. 117.
40. Gilles P. W. and Margrave J. L. Heats of Formation of Na_2O_2 , NaO_2 and KO_2 . *Jour. Phys. Chem.*, vol. 60, 1956, p. 1333.
41. Ginnings D. C., Douglas T. B. and Ball A. F. Heat Capacity of Sodium Between 0° and 900° C., the Triple Point and Heat of Fusion. *Nat. Bureau of Standards Res. Jour.*, vol. 45, 1950, RP 2110, p. 23.
42. Glassner A. Thermochemical Properties of the Oxides, Fluorides, and Chlorides to 2500° K. Argonne Nat. Lab., ANL-5750, 1957, 70 pp.
43. Gray P. and Waddington T. C. Thermochemistry and Reactivity of the Azides. I. Thermochemistry of the Inorganic Azides. *Proc. Royal Soc. (London), Math. and Phys. Sci.*, vol. 235A, 1956, p. 106.
44. Greenberg E. and Westrum E. F. Jr. Heat Capacity and Thermodynamic Functions of Uranium (IV) Oxychloride and Uranium (IV) Oxybromide From 10° to 350° K. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 78, 1956, p. 5144.
45. Greenberg E. and Westrum E. F. Jr. Heat Capacity and Thermodynamic Functions of Uranyl Chloride From 6° to 350° K. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 78, 1956, p. 4526.
46. Griffel M. and Skochdopole R. E. The Heat Capacity and Entropy of Thorium From 18° to 300° K. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 75, 1953, p. 5250.
47. Griffel M., Skochdopole R. E. and Spedding F. H. The Heat Capacity of Dysprosium From 15° to 300° K. *Jour. Chem. Phys.*, vol. 25, 1956, p. 75.
48. Gross P., Hayman C. and Levi D. L. Heats of Formation of Metallic Halides. Titanium Tetrachloride. *Trans. Faraday Soc.*, vol. 51; 1955, p. 626.
49. Gross P., Hayman C., Levi D. L. and Wilson G. Studies and Experimental Investigations in the Field of Measurements of the Heat or Free Energy of Formation of the Chlorides and Bromides of Niobium and Tantalum. Fulmer Research Inst., Ltd., Bucks, England, R-115/5/23, NP-7847, 1959, 44 pp.
50. Guntz M. Heats of Formation of Barium Compounds. *Compt. rend.*, vol. 136, 1903, p. 1071.
51. Harrison E. R. Vapor Pressures of Some Rare-Earth Halides. *Jour. Applied Chem. (London)*, vol. 2, 1952, p. 601.
52. Hoekstra H. R. and Katz J. J. Chemistry of Uranium, Ch. 6 in *The Actinide Elements*, by G. T. Seaborg and J. J. Katz. McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, N. Y., 1954, p. 130.
53. Holley C. E., Jr. and Huber E. J. Jr. Heats of Combustion of Magnesium and Aluminum. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 73, 1951, p. 5577.
54. Horning R. Private Communications, 1957, Available for inspection at the Albany Metallurgy Research Center, Bureau of Mines, Albany, Oreg.
55. Hu J. H. and Johnston H. L. Low Temperature Heat Capacities of Inorganic Solids. XII. Heat Capacity and Thermodynamic Properties of Cuprous Bromide From 16° to 300° K. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 74, 1952, p. 4771.
56. Hu J. H. and Johnston H. L. Low Temperature Heat Capacities of Inorganic Solids. XVI. Heat Capacity of Cupric Oxide From 15° to 300° K. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 75, 1953, p. 2471.
57. Huber E. J., Jr. and Holley C. E., Jr. Heat of Combustion of Calcium. *Jour. Phys. Chem.*, vol. 60, 1956, p. 498.
58. Huber E. J. Jr. and Holley C. E. Jr. Heat of Combustion of Cerium. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 75, 1953, p. 5645.
59. Huber E. J. Jr. and Holley C. E. Jr. Heat of Combustion of Gadolinium. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 75, 1953, p. 1444.
60. Huber E. J. Jr. and Holley C. E. Jr. Heat of Combustion of Lanthanum. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 75, 1953, p. 3594.
61. Huber E. J. Jr. and Holley C. E. Jr. Heat of Combustion of Neodymium. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 74, 1952, p. 5530.
62. Huber E. J. Jr. and Holley C. E. Jr. Heat of Combustion of Yttrium. *Jour. Phys. Chem.*, vol. 61, 1957, p. 497.
63. Huber E. J. Jr., Holley C. E. Jr. and Meierkord E. H. Heats of Combustion of Thorium and Uranium. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 74, 1952, p. 3406.
64. Huber E. J., Jr., Matthews C. O. and Holley C. E. Jr. Heat of Combustion of Samarium. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 77, 1955, p. 6493.
65. Huff G., Squitieri E. and Snyder P. E. Heat of Formation of Tungstic Oxide, WO_3 . *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 70, 1948, p. 3380.
66. Humphrey G. L. Heats of Formation of Hafnium Oxide and Hafnium Nitride. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 75, 1953, p. 2806.
67. Humphrey G. L. Heats of Formation of Tantalum, Niobium and Zirconium Oxides, and Tantalum Carbide. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 76, 1954, p. 973.
68. Humphrey G. L. Heats of Formation of TiO , Ti_2O_3 , Ti_3O_5 and TiO_2 From Combustion Calorimetry. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 73, 1951, p. 1587.
69. Humphrey G. L. and King E. G. Heats of Formation of Quartz and Cristobalite. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 74, 1952, p. 2041.
70. Humphrey G. L., King E. G. and Kelley K. K. Some Thermodynamic Values of Ferrous Oxide, Bureau of Mines Rept. of Investigations 4870, 1952, 16 pp.
71. Humphrey G. L. and O'Brien C. J. Heats of Formation of Stannic and Stannous Oxides From Combustion Calorimetry. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 75, 1953, p. 2805.
72. Humphrey G. L., Todd S. S., Coughlin J. P. and King E. G. Some Thermodynamic Properties of Silicon Carbide. Bureau of Mines Rept. of Investigations, 4888, 1952, 23 pp.
73. Hüttig G. F. and Slonim Ch. Die Spezifischen Wärmen, Bildungswärmen und Zersetzungsdruke der Strontiumhalogenidhydrate. *Ztsch. anorg. allgem. Chem.*, vol. 181, 1929, p. 65.
74. Hüttig G. F. and Wehling W. Zur Kenntnis der Spezifischen Wärmen Homogener Phasen, und deren Aufbau Wasser beteiligt. *Kolloidchem. Beihefte*, vol. 23, 1926, p. 354.
75. Johnston H. L. and Bauer T. W. Low Temperature Heat Capacities of Inorganic Solids. VII. Heat Capacity and Thermodynamic Functions of Li_2O . Thermodynamics of the $\text{Li}_2\text{O} - \text{H}_2\text{O}$ System. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 73, 1951, p. 1119.
76. Johnston H. L., Hersch H. N. and Kerr E. C. Low-Temperature Heat Capacities of Inorganic Solids. V, The Heat Capacity of Pure

- Elementary Boron in Both Amorphous and Crystalline Conditions Between 13° and 305° K. Some Free Energies of Formations. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 73, 1951, p. 1112.
77. Jones W. M., Gordon J. and Long E. A. The Heat Capacities of Uranium, Uranium Trioxide, and Uranium Dioxide From 15° K to 300° K. *Jour. Chem. Phys.*, vol. 20, 1952, p. 695.
78. Kelley K. K. Private Communication, 1959. Available for inspection at the Albany Metallurgy Research Center, Bureau of Mines, Albany, Oreg.
79. Kelley K. K. Contributions to the Data on Theoretical Metallurgy. III. The Free Energies of Vaporization and Vapor Pressures of Inorganic Substances. *Bureau of Mines Bull.* 383, 1935, 132, pp.
80. Kelley K. K. Contributions to the Data on Theoretical Metallurgy. V. Heats of Fusion of Inorganic Substances. *Bureau of Mines Bull.* 393, 1936, pp. 166.
81. Kelley K. K. Contributions to the Data on Theoretical Properties of Metal Carbides and Nitrides. *Bureau of Mines Bull.* 407, 1937, 66 pp.
82. Kelley K. K. Contributions to the Data on Theoretical Metallurgy. X. High Temperature Heat—Content, Heat—Capacity, and Entropy Data for Inorganic Compounds. *Bureau of Mines Bull.* 476, 1949, 241 pp.
83. Kelley K. K. Contributions to the Data on Theoretical Metallurgy. XI. Entropies of Inorganic Substances. Revision (1948) of Data and Methods of Calculation. *Bureau of Mines Bull.* 477, 1950, 147 pp.
84. Kelley K. K. Contributions to the Data on Theoretical Metallurgy. XIII. High—Temperature Heat—Content, Heat—Capacity and Entropy Data for the Elements and Inorganic Compounds. *Bureau of Mines Bull.* 584, 1960, 232 pp.
85. Kelley K. K. Thermodynamic Properties of Zirconium Compounds. Ch. 4 in *National Nuclear Energy Series 7, vol. 4. Metallurgy of Zirconium*, by B. Lustman and F. Kerze Jr. McGraw—Hill Book Co., Inc., New York, N. Y., 1955, p. 59.
86. Kelley K. K. and Mah A. D. Metallurgical Thermochemistry of Titanium. *Bureau of Mines Rept. of Investigations* 5490, 1959, 48 pp.
87. Kerr E. C., Johnston H. L. and Hallett N. C. Low Temperature Heat Capacities of Inorganic Solids. III. Heat Capacity of Aluminum Oxide (Synthetic Sapphire) From 19° to 300° K. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 72, 1950, p. 4740.
88. King E. G. Heat Capacities at Low Temperature and Entropies Oxide and Cobalt Spinel. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 79, 1957, p. 2399.
89. King E. G. Low Temperature Heat Capacities and Entropies at 298.15° K. of Lead Sesquioxide and Red and Yellow Lead Monoxide. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 80, 1958, p. 2040.
90. King E. G. Low Temperature Heat Capacities and Entropies at 298.16° K. of Manganese Sesquioxide and Niobium Pentoxide. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 76, 1954, p. 3289.
91. King E. G. and Christensen A. U. Jr. Heat Contents Above 298.15° K. of Oxides of Cobalt and Nickel. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 80, 1958, p. 1800.
92. Koehler M. F. and Coughlin J. P. Heats of Formation of Ferrous Chloride, Ferric Chloride and Manganous Chloride. *Jour. Phys. Chem.*, vol. 63, p. 605.
93. Kubaschewski O., Brizgys P., Huchler O., Jauch R. and Reinartz K. Heats of Fusion and Transformation of Metals. *Ztschr. Elektrochem.*, vol. 54, 1950, p. 275.
94. Kubaschewski O. and Evans E. L. *International Series of Monographs on Metal Physics and Physical Metallurgy. Metallurgical Thermochemistry*. Pergamon Press, New York, N. Y., vol. 1, 3d ed., 1958, 426 pp.
95. Lander J. J. Experimental Heat Contents of SrO, BaO, CaO, BaCO₃ and SrCO₃ at High Temperatures. Dissociation Pressures of BaCO₃ and SrCO₃. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 73, 1951, p. 5794.
96. Machlan G. R., Stubblefield C. T. and Eyring L. Heats of Reaction of the Dichlorides of Samarium and Ytterbium With Hydrochloric Acid. A Microcalorimeter. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 77, 1955, p. 2975.
97. Mah A. D. Heats of Combustion and Formation of Two Manganese Nitrides. Mn₃N₂ and Mn₂N; *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 80, 1958, p. 2954.
98. Mah A. D. Heats of Formation of Chromium Oxide and Cadmium Oxide From Combustion Calorimetry. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 76, 1954, p. 3363.
99. Mah A. D. and Boyle B. J. Heats of Formation of Niobium Carbide and Zirconium Carbide From Combustion Calorimetry. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 77, 1955, p. 6512.
100. Mah A. D. and Gellert N. L. Heats of Formation of Niobium Nitride, Tantalum Nitride and Zirconium Nitride From Combustion Calorimetry. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 78, 1956, p. 3261.
101. Masi J. F. Heats of Vaporization of Uranium Hexafluoride. *Jour. Chem. Phys.*, vol. 17, 1949, p. 755.
102. Mitchell D. W. Heat Contents and Heat of Formation of Magnesium Nitride. High—Temperature Measurements. *Ind. Eng. Chem.*, vol. 41, 1949, p. 2027.
103. Murphy G. M. and Rubin E. L. Thermodynamic Calculations on Some Equilibria Between Alkaline Earth Fluorides and Hydrogen Fluoride. AEC NYO—3505, July 24, 1952, 21 pp.
104. Никольский Г. П., Казарновская А. И., Багдасарян З. А. и Казарновский И. А. Теплота образования озонидов калия и родство электронов молекулы озона. Доклады АН СССР, том 72, 1950, стр. 713.
105. Orr R. L. High Temperature Heat Contents of Hafnium Dioxide and Hafnium Tetrachloride. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 75, 1953, p. 1231.
106. Orr R. L. High Temperature Heat Contents of Manganese Sesquioxide and Vanadium Monoxide. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 76, 1954, p. 857.
107. Orr R. L. High—Temperature Heat Contents of Tantalum and Niobium Oxides. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 75, 1953, p. 2808.
108. Osborne D. W., Westrum E. F. Jr. and Lohr H. R. Heat Capacity of Uranium Tetrafluoride From 5° to 300° K. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 77, 1955, p. 2737.
109. Parkinson D. H., Simon F. E. and Spedding F. H. The Atomic Heats of the Rare Earth Elements. *Proc. Roy. Soc. (London)*, vol. 207—A, 1951, p. 137.
110. Regnault V. Untersuchungen über die spezifische Wärme einfacher und zusammengesetzter Körper. *Poggendorfs Ann.*, vol. 53, 1841, p. 61.
111. Roberts E. J. and Fenwick F. Antimony—Antimony Trioxide Electrode and Its Use as a Measure of Acidity. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 50, 1928, p. 2125.
112. Rossini F. D., Wagman D. D., Evans W. H., Levine S. and Jaffe I. Selected Values of Chemical Thermodynamic Properties. *Nat. Chemical Thermodynamic Properties*. Nat. Bureau of Standards Circ. 500, 1952, 1266 pp.
113. Schuhmann R. Free Energy of Antimony Trioxide and the Reduction Potential of Antimony. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 46, 1924, p. 52.
114. Schuhmann R. Free Energy and Heat Content of Arsenic Trioxide and the Reduction Potential of Arsenic. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 46, 1924, p. 1444.
115. Shomate C. H. Heats of Formation of Manganomanganic Oxide and Manganese Dioxide. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 65, 1943, p. 785.
116. Shomate C. H. and Cohen A. J. High—Temperature Heat Content and Entropy of Lithium Oxide and Lithium Hydroxide. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 77, 1955, p. 285.
117. Shomate C. H. and Huffman E. H. Heats of Formation of MgO, MgCl₂, H₂O, MgCl₂ · 2H₂O, MgCl₂ · 4H₂O and MgCl₂ · 6H₂O. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 65, 1943, p. 1625.
118. Sims C. T., Craighead C. M. and Jaffe R. I. Physical and Mechanical Properties of Rhenium. *Jour. Metals*, vol. 7, 1955, p. 168.
119. Skinner G. B. and Johnston H. L. Low Temperature Heat Capacities of Inorganic Solids. VIII. Heat Capacity of Zirconium From 14° to 300° K. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 73, 1951, p. 4549.
120. Skinner H. A. and Smith N. B. Heat of Hydrolysis of Boron Tribromide. *Trans. Faraday Soc.*, vol. 51, 1955, p. 19.
121. Skochdopole R. E., Griffel M. and Spedding F. H. Heat Capacity of Erbium From 15° to 320° K. *Jour. Chem. Phys.*, vol. 23, 1955, p. 2258.
122. Smith D., Dworkin A. S. and Van Arsdale E. R. Heats of Combustion and Formation of Boron Carbide. *Jour. Am. Chem. Soc.*, vol. 77, 1955, p. 2654.

123. Smith W. T. Jr., Oliver G. D. and Cobble J. W. Thermodynamic Properties of Technetium and Rhenium Compounds. IV. Low Temperature Heat Capacity and Thermodynamics of Rhenium. Jour. Am. Chem. Soc., vol. 75, 1953, p. 5785.
124. Southard J. C. and Shomate C. H. Heats of Formation and High-Temperature Heat Contents of Manganous Oxide and Manganous Sulfate. High-Temperature Heat Content of Manganese. Jour. Am. Chem. Soc., vol. 64, 1942, p. 1770.
125. Spedding F. H. Private Communications, 1956. Available for inspection at the Albany Metallurgy Research Center, Bureau of Mines, Albany, Oreg.
126. Spedding F. H. and Daane A. H. Production of Rare Earth Metals in Quantity Allows Testing of Physical Properties. Jour. Metals, vol. 6, 1954, p. 504.
127. Spedding F. H. and Flynn J. P. Thermochemistry of the Rare Earths. II. Lanthanum, Praseodymium, Samarium, Gadolinium, Erbium, Ytterbium and Yttrium. Jour. Am. Chem. Soc., vol. 76, 1959, p. 1474.
128. Spedding F. H. and Miller C. F. Thermochemistry of Rare Earths. I. Cerium and Neodymium. Jour. Am. Chem. Soc., vol. 74, 1952, p. 4195.
129. Stubblefield C. T., Eick H. and Eyring L. Praseodymium Oxides. III. Heats of Formation of Several Oxides. Jour. Am. Chem. Soc., vol. 78, 1956, p. 3018.
130. Stull D. R. and Sinke G. C. Thermodynamic Properties of the Elements. Am. Chem. Soc., Washington, D. C., 1956, 233 pp.
131. Suzuki S. Thermodynamic Studies of Cuprous Azide. Jour. Chem. Soc. (Japan), vol. 74, 1953, p. 269.
132. Todd S. S. Heat Capacities at Low Temperatures and Entropies at 298.16° K. of Hafnium Dioxide and Hafnium Tetrachloride. Jour. Am. Chem. Soc., vol. 75, 1953, p. 3055.
133. Todd S. S. Heat Capacities at Low-Temperatures and Entropies at 298.16° K. of Sodium Superoxide, Potassium Superoxide, and Sodium Peroxide. Jour. Am. Chem. Soc., vol. 75, 1953, p. 1229.
134. Todd S. S. Heat Capacities at Low-Temperatures and Entropies of Magnesium and Calcium Fluorides. Jour. Am. Chem. Soc., vol. 71, 1949, p. 4115.
135. Todd S. S. and Bonnicksen K. R. Low-Temperature Heat Capacities and Entropies at 298.16° K. of Ferrous Oxide, Manganous Oxide, and Vanadium Monoxide. Jour. Am. Chem. Soc., vol. 73, 1951, p. 3894.
136. Todd S. S. and Coughlin J. P. Low-Temperature Heat Capacity, Entropy at 298.16° K. and High-Temperature Heat Content of Ferric Chloride. Jour. Am. Chem. Soc., vol. 73, 1951, p. 4184.
137. Udy M. C. and Boulger F. W. Properties of Beryllium Oxide. AEC BMI-T-18, 1949, 28 pp.
138. Udy M. C., Shaw H. L. and Boulger F. W. Properties of Beryllium. Nucleonics, vol. II, May 1953, p. 52.
139. Веденеев А. В., Казарновская Л. И. и Казарновский И. А. Теплоты образования перекисей бария, стронция и кальция и сродство молекулы кислорода к двум электронам. Журнал Физической Химии, т. XXVI, вып. 12, 1952, стр. 1808—1813.
140. Wacker P. F. and Cheney R. K. Specific Heat, Enthalpy and Entropy of Uranyl Fluoride. Nat. Bureau of Standards Res. Jour., vol. 39, 1947, RP 1832, p. 317.
141. White J. L., Orr R. L. and Hultgren R. Selected Values for the Thermodynamic Properties of Metals and Alloys. Minerals Research Laboratory Reports. Institute of Eng. Res., Berkeley, Calif., 1956, and supplements.

Редактор издательства Г. Л. Позднякова

Переплет художника Г. А. Жегина

Технический редактор Л. В. Добужинская

Сдано в производство 27/III 1965 г.

Подписано в печать 19/VIII 1965 г.

Бумага $70 \times 108^{1/16}$ = 7,5 бум. л. = 20,55 печ. л. (усл.)

Уч.-изд. л. 15,79 Изд. № 4497

Тираж 4450 Заказ 1168 Цена 1 р. 26 к.

Сводный темплан по металлургии 1965 г. п. 179

Издательство «Металлургия», Москва Г-34, 2-й Обыденский пер., 14
 Экспериментальная типография ВНИИПИ Государственного комитета
 Совета Министров СССР по печати
 Москва, И-51, Цветной бульвар, 30

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Колонка, строка	Напечатано	Должно быть
19	Правая, 10 св.	11155	-11155
41	Левая, 1 св.	1,23	-1,23
48	Левая, 8 св.	1,94	-1,94
95	Правая, 4 св.	-13,74	13,74
97	Правая, 11 сн.	$T_{пл}$	$T_{прев}$
97	Правая, 10 сн.	$\Delta H_{пл}$	$\Delta H_{прев}$
107	Правая, таблица 1 сн., графа 4; 4, 5, 7, 8 сн.	-447700) (-33100) (-24000) (-9400)	(-47700) (-43100) (-34000) (-29400)
111	Левая, 11 и 17 св.	ΔH_T	$H_T - H_{298}$
111	Левая, 12 св.	ΔF_T	$F_T - H_{298}$
114	Левая, 20 св.	0,45	-0,45
123	Левая, 9 сн.	1970	4970
124	Правая, 4 сн.	-2,44	+2,44
182	Левая, таблица 1 св., графа 1	98 00 00 00 00 00 00	298 400 500 600 700 800 900
196	Левая, 4 сн.	1229	12,29
196	Правая, 1 сн.	9325	8325
210	Правая, 13 св.	2000	1000