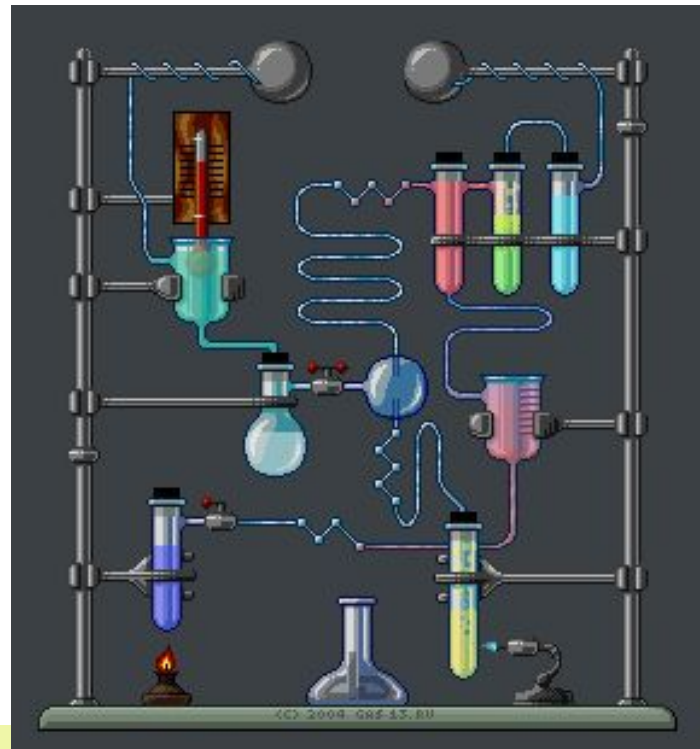


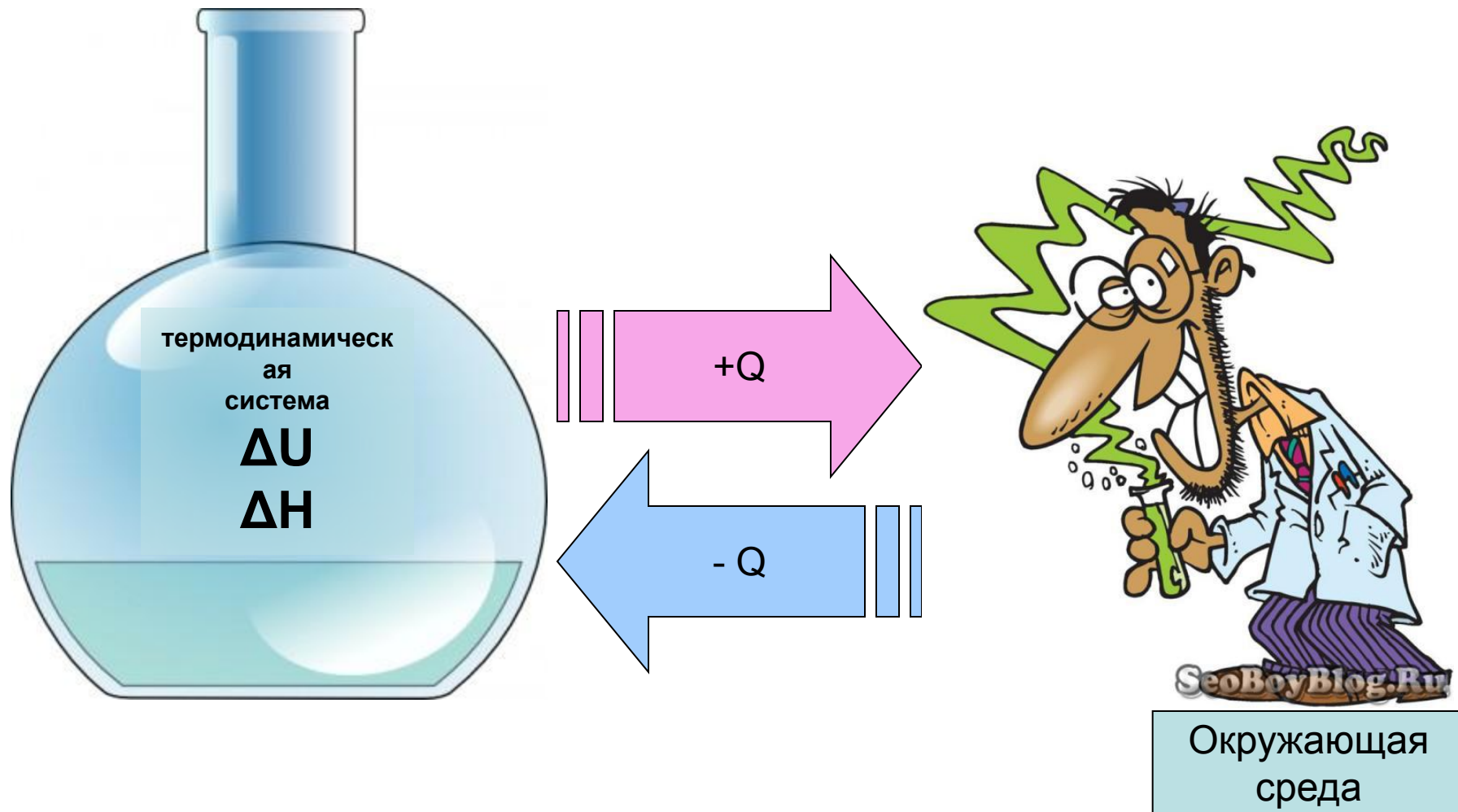


# Термохимия



- Термохимические уравнения
- Термохимическая и термодинамическая система знаков
- Измерение тепловых эффектов химических реакций
- Закон Гесса
- Следствия из закона Гесса
- Теплота (энтальпия) образования
- Стандартные условия
- Расчет тепловых эффектов химических реакций
- Температурная зависимость тепловых эффектов химических реакций. Закон Кирхгоффа

# Термохимическая и термодинамическая системы знаков противоположны друг другу



# Термохимические уравнения

термохимическая система знаков



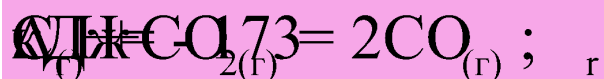
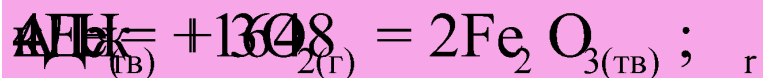
~~ΔH<sub>к</sub> (эндотермический) - 1648~~

процесс)

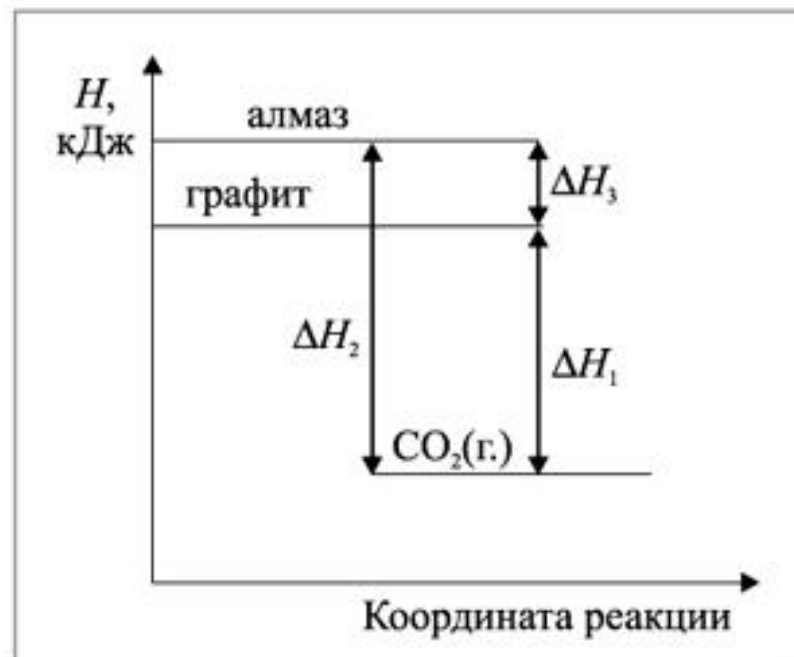
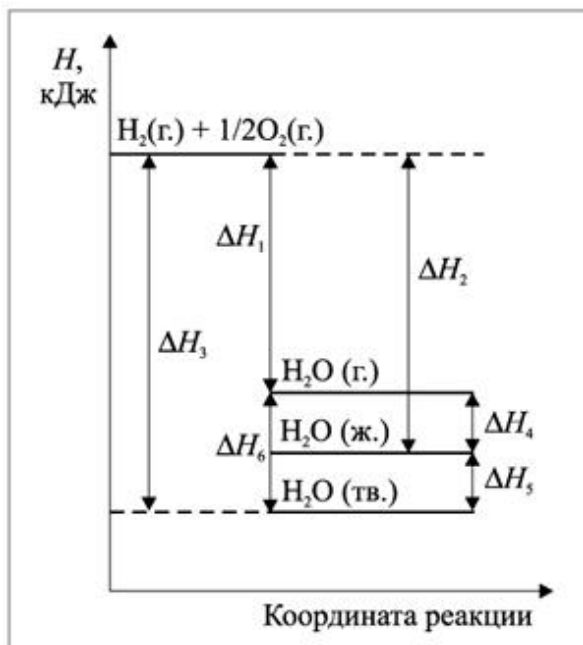
~~Q<sub>к</sub> (экзотермический) 1648~~

сс)

термодинамическая система знаков

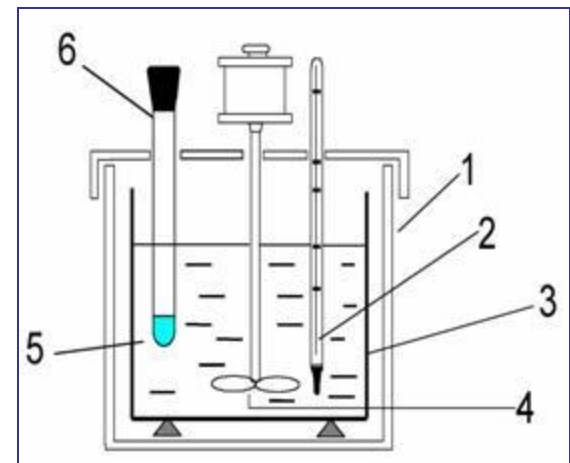
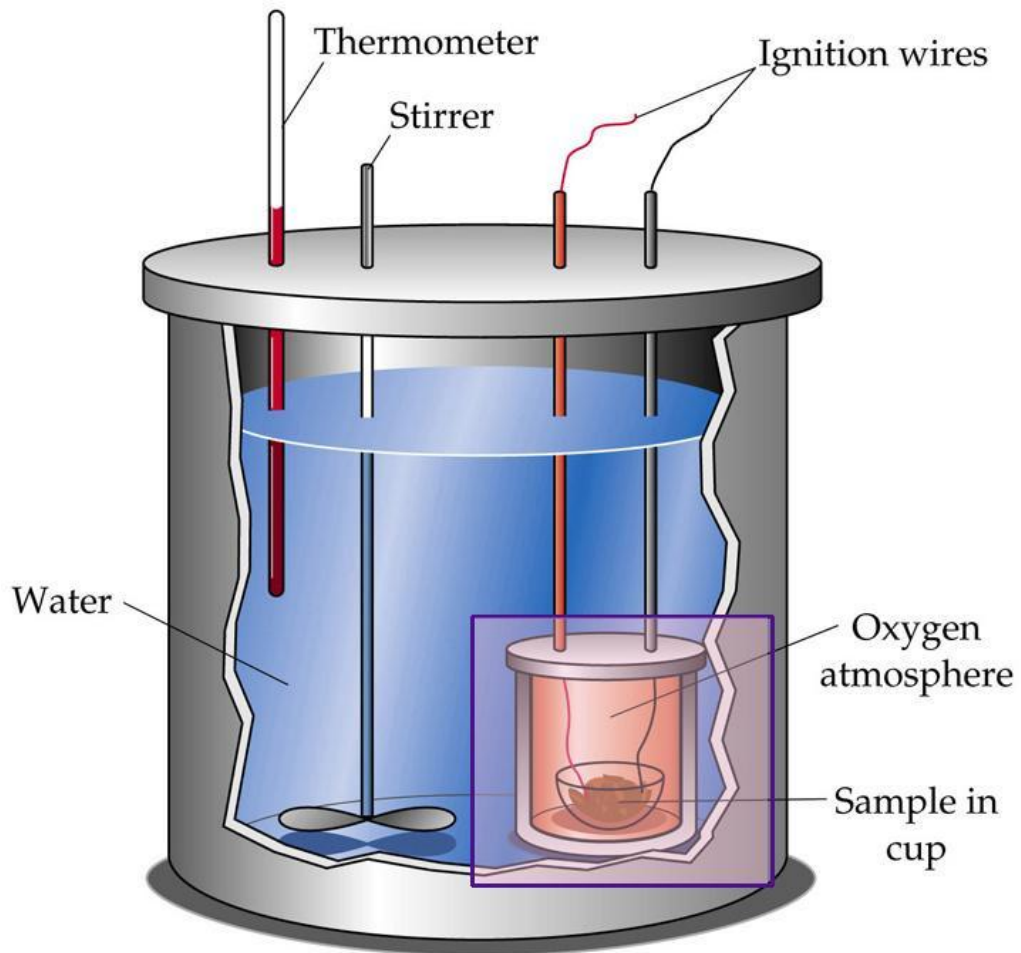


# Термохимическое уравнение должно содержать указание на агрегатные состояния веществ – участников реакции

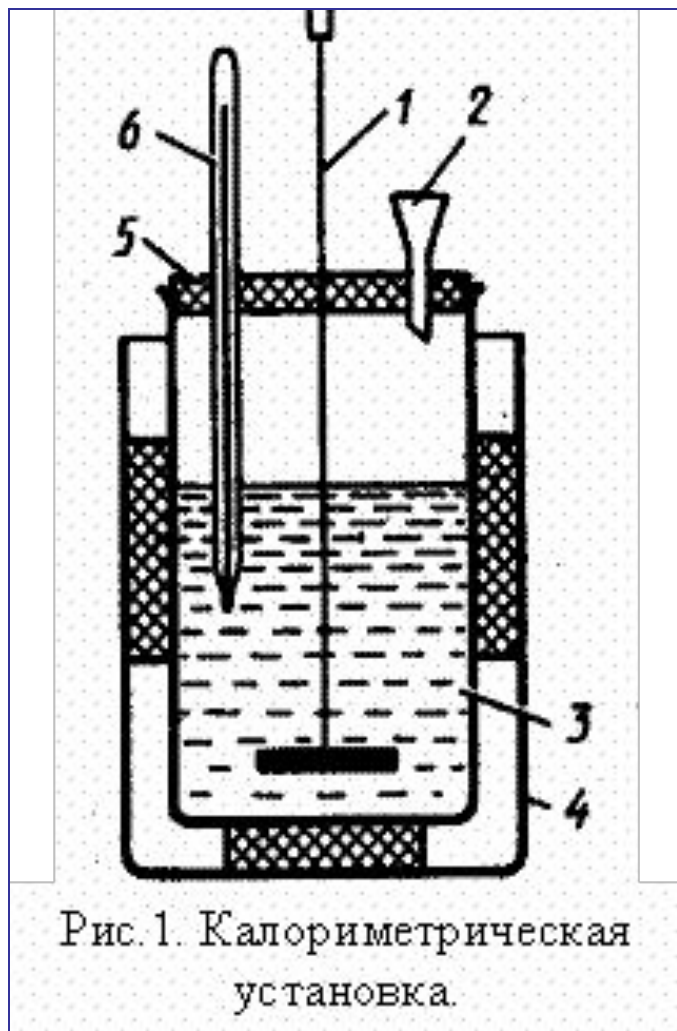




# Измерение тепловых эффектов химических реакций



# В химической лаборатории кафедры ОиСХ ИАТЭ НИЯУ МИФИ



**Следствия первого  
закона термодинамики**

$$dU = \delta Q - p \cdot dV$$

$$V = const$$

$$\delta Q_V = dU$$

$$Q_V = \Delta U = U_2 - U_1$$

$$P = const$$

$$\delta Q_p = dU + d(p \cdot V) = d(U + pV)$$

$$H = U + pV$$

$$Q_p = \Delta H = H_2 - H_1$$

- Новая функция состояния системы – ЭНТАЛЬПИЯ  
(теплосодержание)

$$H = U + pV$$

- Для изобарно-изотермических и изохорно-изотермических процессов тепловой эффект химической реакции не зависит от пути проведения химической реакции

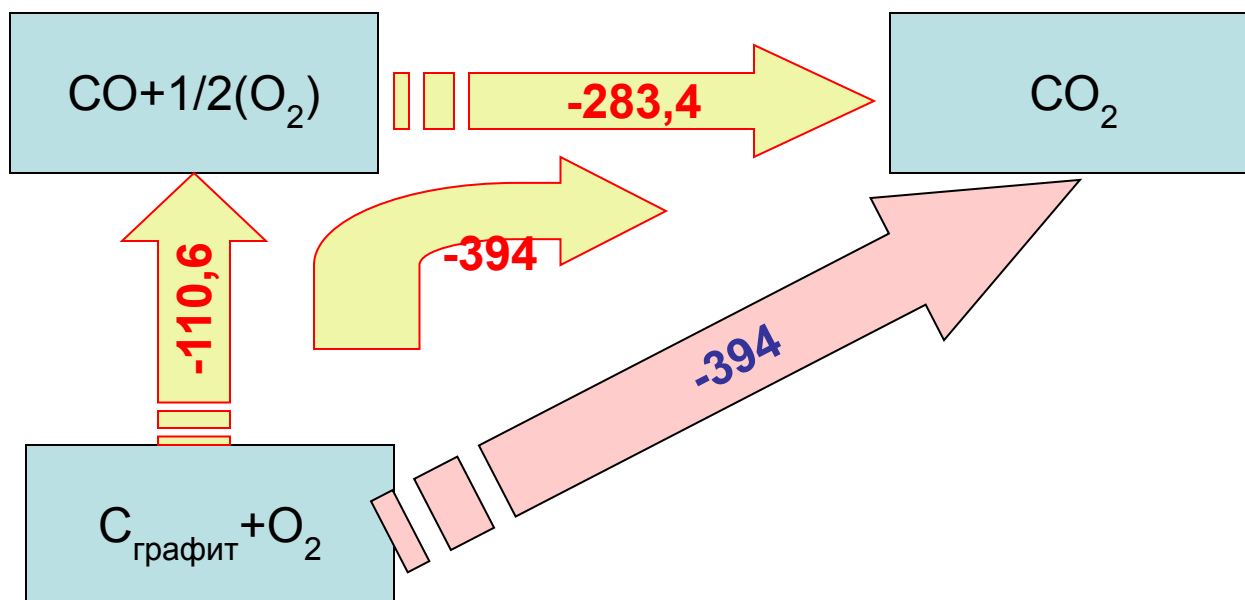
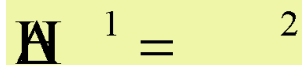
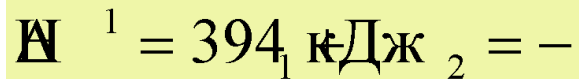


# Закон Гесса

Г.И.Гесс (1836 г.)-  
проф. Горного Института  
(Петербург)

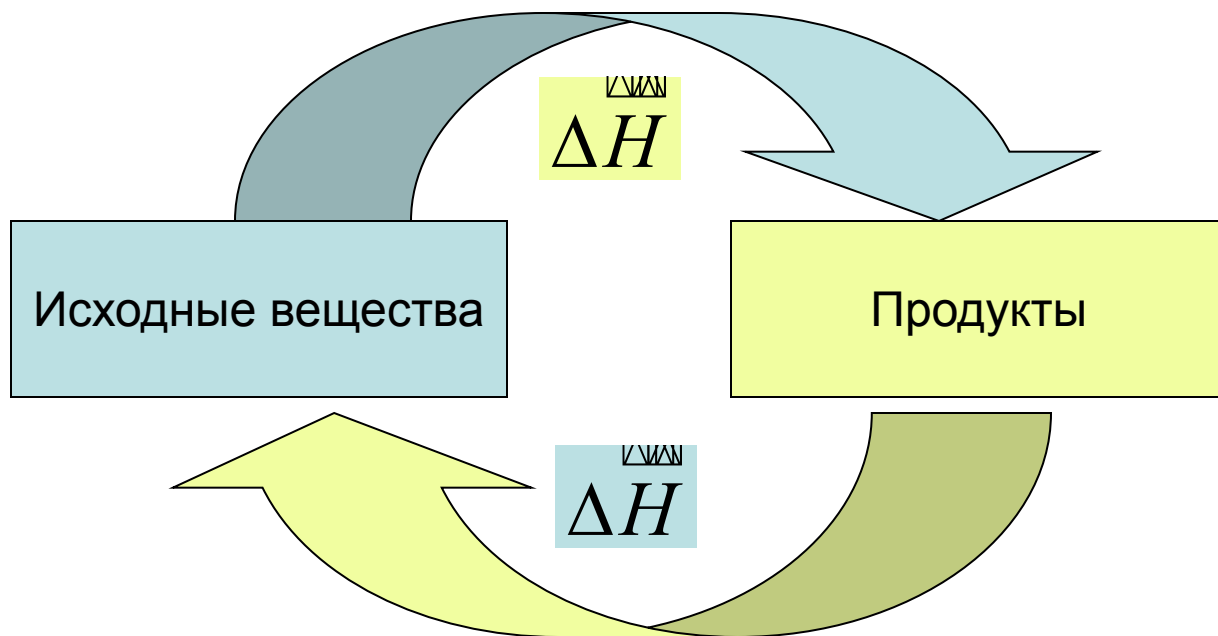


- Тепловой эффект химической реакции, проводимой при  $P=const$  или  $V=const$  не зависит от пути проведения процесса, а определяется только природой и физическим состоянием исходных веществ и продуктов реакции



# Следствия закона Гесса

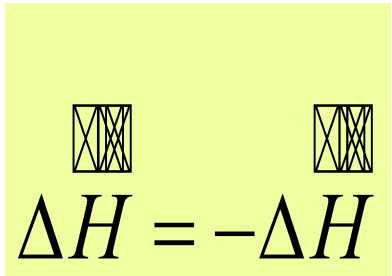
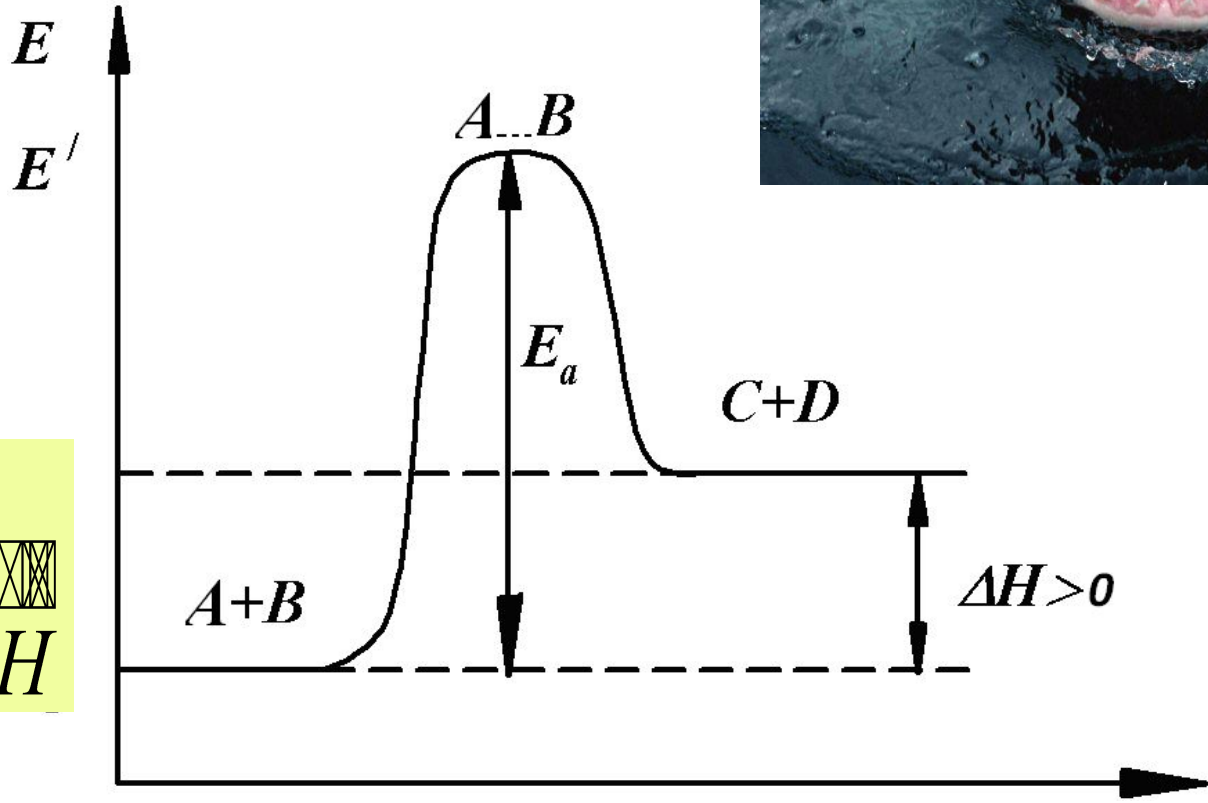
- Тепловой эффект прямой реакции равен по величине и противоположен по знаку тепловому эффекту обратной реакции



$$\oint \Delta H = \Delta H + \Delta H = 0$$
$$\Delta H = -\Delta H$$



3 КЛУБ  
МЕГАЗИКЛОПЕДИЯ О ЖИВОТНЫХ  
www.VETTON.ru



## Следствия закона Гесса

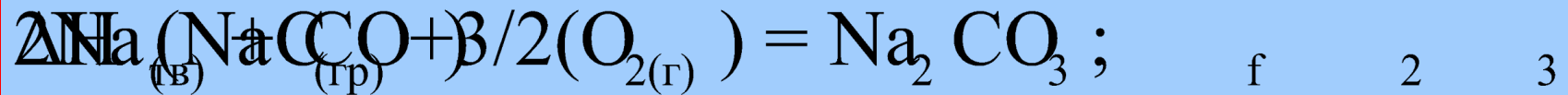
- Тепловой эффект химической реакции равен разности суммы теплот образования (энтальпий образования) продуктов реакции и суммы теплот образования (энтальпий образования) исходных веществ

$$\Delta_r H = \left( \sum_i v_i \Delta H_{i,f,298}^0 \right)_{\text{продукты}} - \left( \sum_i v_i \Delta H_{i,f,298}^0 \right)_{\text{исх.в-в}}$$



# Теплота образования сложного вещества

- Под теплотой образования (энтальпией образования) сложного вещества подразумевают тепловой эффект химической реакции образования одного моля сложного вещества из простых веществ



- **Теплота образования (энтальпия образования) простого вещества равна нулю**

ВСЕГДА ПОМНИ, ЧТО

$$\Delta H_{\text{f}} = -Q_{\text{f}}$$



# Стандартные условия

- Давление 1 атмосфера (0,1 мПа)
  - Температура (как правило) 298 К
  - Наиболее устойчивое для заданных условий агрегатное состояние вещества
  - Единичные концентрации веществ
- Под стандартной теплотой образования (энтальпией образования) сложного вещества подразумевают тепловой эффект химической реакции образования одного моля сложного вещества из простых веществ при стандартных условиях

$$\Delta H_{f,298}^{\circ}$$

Стандартное состояние

ВСЕГДА ПОМНИ, ЧТО

$$\Delta H_f^{\circ} = - \frac{0}{f}$$

Табличная величина

### 6. Термодинамические величины для простых веществ,

$\Delta H_{f,298}^{\circ}$  — изменение энтальпии (тепловой эффект) при образовании соединения из простых веществ в стандартных условиях;  $\Delta G_{298}^{\circ}$  — изменение изобарно-изотермического потенциала при образовании гидратированных (сольватированных) ионов из простых веществ;  $S_{298}^{\circ}$  — стандартное значение энтропии;  $C_p^{\circ}$  — теплоемкость при постоянном давлении.

№ по пор.	Вещество	$\Delta H_{f,298}^{\circ}$ кдж/моль	$S_{298}^{\circ}$ дж/моль·град	Теплоемкость, дж/моль·град			
				Коэффициенты уравнения $C_p^{\circ} = \varphi(T)$			$C_p^{\circ}$ , 298
				a	b · 10 <sup>3</sup>	c' · 10 <sup>-4</sup>	
<b>I. Простые</b>							
1	Ag (кр.)	0	42,69	23,97	5,28	-0,25	25,48
2	Al (кр.)	0	28,31	20,67	12,39	—	24,34
3	As (кр.)	0	35,1	21,9	9,29	—	24,64
4	Au (кр.)	0	47,45	23,68	5,19	—	25,23
5	B (кр.)	0	5,87	6,44	18,4	—	11,96
6	Ba-α	0	(64,9)	22,26	13,8	—	26,36
7	Ba-β	—	—	10,45	29,3	—	—
8	Be (кр.)	0	9,54	19,0	8,87	-3,43	16,44
9	Bi (кр.)	0	56,9	18,79	22,59	—	25,52
10	Br (г.)	111,84	174,90	—	—	—	20,79*
11	Br <sup>-</sup> (г.)	-218,86	163,38	—	—	—	20,79*
12	Br <sub>2</sub> (ж.)	0	152,3	—	—	—	75,71
13	Br <sub>2</sub> (г.)	30,92	245,35	37,20	0,71	-1,19	36,0
14	C (алмаз)	1,897	2,38	9,12	13,22	-6,19	6,07
15	C (графит)	0	5,74	17,15	4,27	-8,79	8,53
16	Ca-α	0	41,62	22,2	13,9	—	26,28
17	Cd-α	0	51,76	22,22	12,30	—	25,90
18	Cl (г.)	121,3	165,09	23,14	-0,67	-0,96	21,84
19	Cl <sup>-</sup> (г.)	-233,6	153,25	—	—	—	20,79*
20	Cl <sub>2</sub> (г.)	0	223,0	36,69	1,05	-2,52	33,84
21	Co-α	0	30,04	21,38	14,31	-0,88	24,6
22	Cr (кр.)	0	23,76	24,43	9,87	-3,68	23,35
23	Cs (кр.)	0	84,35	—	—	—	31,4
24	Cu (кр.)	0	33,30	22,64	6,28	—	24,51
25	D (г.)	221,68	123,24	—	—	—	20,79*
26	D <sub>2</sub> (г.)	0	144,9	27,40	4,30	-0,40	29,20
27	F (г.)	79,51	158,64	—	—	—	22,74
28	F <sup>-</sup> (г.)	-259,7	145,47	—	—	—	20,79*
29	F <sub>2</sub> (г.)	0	202,9	34,69	1,84	-3,35	31,32
30	Fe-α	0	27,15	19,25	21,0	—	25,23
31	Ga (кр.)	0	41,09	—	—	—	26,10
32	Ge (кр.)	0	42,38	23,8	16,8	—	(28,8)
33	H (г.)	217,98	114,6	—	—	—	20,79*
34	H <sup>+</sup> (г.)	1536,2	108,84	—	—	—	20,79*
35	H <sup>-</sup> (г.)	125,08	108,84	—	—	—	20,79*
36	H <sub>2</sub> (г.)	0	130,6	27,28	3,26	0,502	28,83
37	HD (г.)	0,155	143,7	25,93	4,50	2,80	29,20
38	Hg (ж.)	0	76,1	—	—	—	27,82
39	Hg (г.)	60,83	174,9	—	—	—	20,79*

\* Теплоемкость не зависит от температуры.

\*\* Истинная теплоемкость железа:

Температура, °K	700	800	900	1000
дж/моль·град	34,52	38,62	44,94	57,74
кал/моль·град	8,25	9,23	10,74	13,80

### соединений и ионов в водных растворах и в жидком аммиаке

Формулы для вычисления теплоемкости в указанном интервале температур с помощью приведенных в таблице коэффициентов:

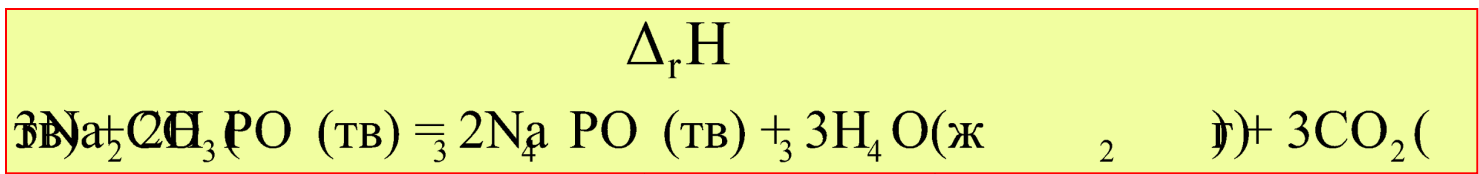
$$C_p^{\circ} = a + bT + c'/T^2$$

или

$$C_p^{\circ} = a + bT + cT^2 + dT^3$$

№ по пор.	Вещество	$\Delta H_{f,298}^{\circ}$ кал/моль	$S_{298}^{\circ}$ кал/моль·град	Теплоемкость, кал/моль·град				Температурный интервал, °K	№ по пор.	
				Коэффициенты уравнения $C_p^{\circ} = \varphi(T)$			$C_p^{\circ}$ , 298			
				a	b · 10 <sup>3</sup>	c' · 10 <sup>-3</sup>				
<b>вещества</b>										
1			10,20	5,73	1,26	-0,06	6,09	273—1234	1	
2			0	6,77	4,94	2,96	5,82	298—933	2	
3			0	8,4	5,23	2,22	5,89	298—1100	3	
4			0	11,34	5,66	1,24	6,03	298—1336	4	
5			0	1,40	1,54	4,40	2,86	273—1200	5	
6			0	(15,52)	5,32	3,30	6,30	298—643	6	
7			0	—	2,50	7,00	—	643—983	7	
8			0	—	2,28	2,12	-0,82	3,93	298—1173	8
9			0	13,6	4,54	5,40	6,10	298—544	9	
10			26,73	41,80	—	—	4,97*	—	10	
11			-52,31	39,05	—	—	4,97*	—	11	
12			0	36,4	—	—	18,10	298	12	
13			7,39	58,64	8,89	0,17	-0,28	8,60	298—1500	13
14			0,453	0,568	2,18	3,16	-1,48	1,45	298—1200	14
15			0	1,37	4,10	1,02	-2,10	2,04	298—2300	15
16			0	9,95	5,31	3,33	—	6,28	273—713	16
17			0	12,37	5,31	2,94	—	6,19	273—594	17
18			29,0	39,46	5,53	-0,16	-0,23	5,22	298—2000	18
19			-55,84	36,63	—	—	4,97*	—	19	
20			0	53,30	8,77	0,25	-0,60	8,09	273—1500	20
21			0	7,18	5,11	3,42	-0,21	5,88	298—650	21
22			0	5,68	5,84	2,36	-0,88	5,58	298—1823	22
23			0	20,16	—	—	—	7,50	298—303	23
24			0	7,96	5,41	1,50	—	5,86	298—1356	24
25			52,98	29,46	—	—	4,97*	—	25	
26			0	34,60	6,55	1,03	-0,096	6,98	500—2000	26
27			19,00	37,92	—	—	5,44	298	27	
28			-62,07	34,77	—	—	4,97*	—	28	
29			0	48,6	8,29	0,44	-0,80	7,49	273—2000	29
30			0	6,49	4,60	5,02	—	6,03	298—700**	30
31			0	9,8	—	—	—	6,24	298	31
32			0	10,1	5,69	4,02	—	(6,88)	298—1213	32
33			52,098	27,39	—	—	4,97*	—	33	
34			367,16	26,01	—	—	4,97*	—	34	
35			33,39	26,01	—	—	4,97*	—	35	
36			0	31,21	6,52	0,78	0,12	6,89	298—3000	36
37			0,037	34,34	6,19	1,08	0,67	6,98	500—2000	37
38			0	18,2	—	—	—	6,65	298	38
39			14,54	41,80	—	—	4,97*	—	39	

$$\Delta_r H = \left( \sum_i v_i \Delta H_{i,f,298}^0 \right)_{\text{продукты}} - \left( \sum_i v_i \Delta H_{i,f,298}^0 \right)_{\text{исх.в-в}}$$



$\Delta H^{(2)}$

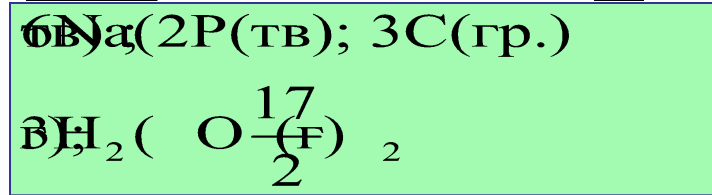
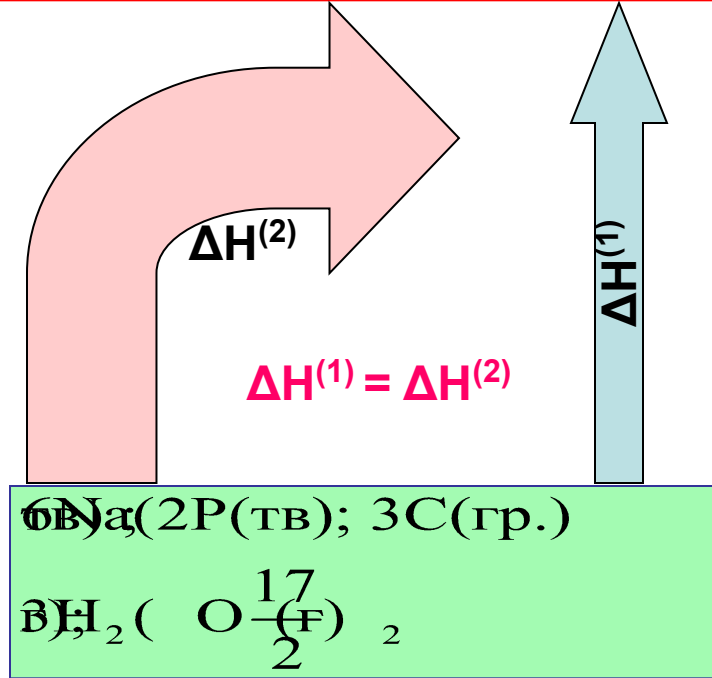
$$3\Delta H_{f,298}^0(\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{ТВ})) + 2\Delta H_{f,298}^0(\text{H}_3\text{PO}_4(\text{ТВ})) + \Delta_r H$$

$$\Delta H^{(2)} = \left( \sum_i v_i \Delta H_{i,f,298}^0 \right)_{\text{исх.в-в}} + \Delta_r H$$

$\Delta H^{(1)}$

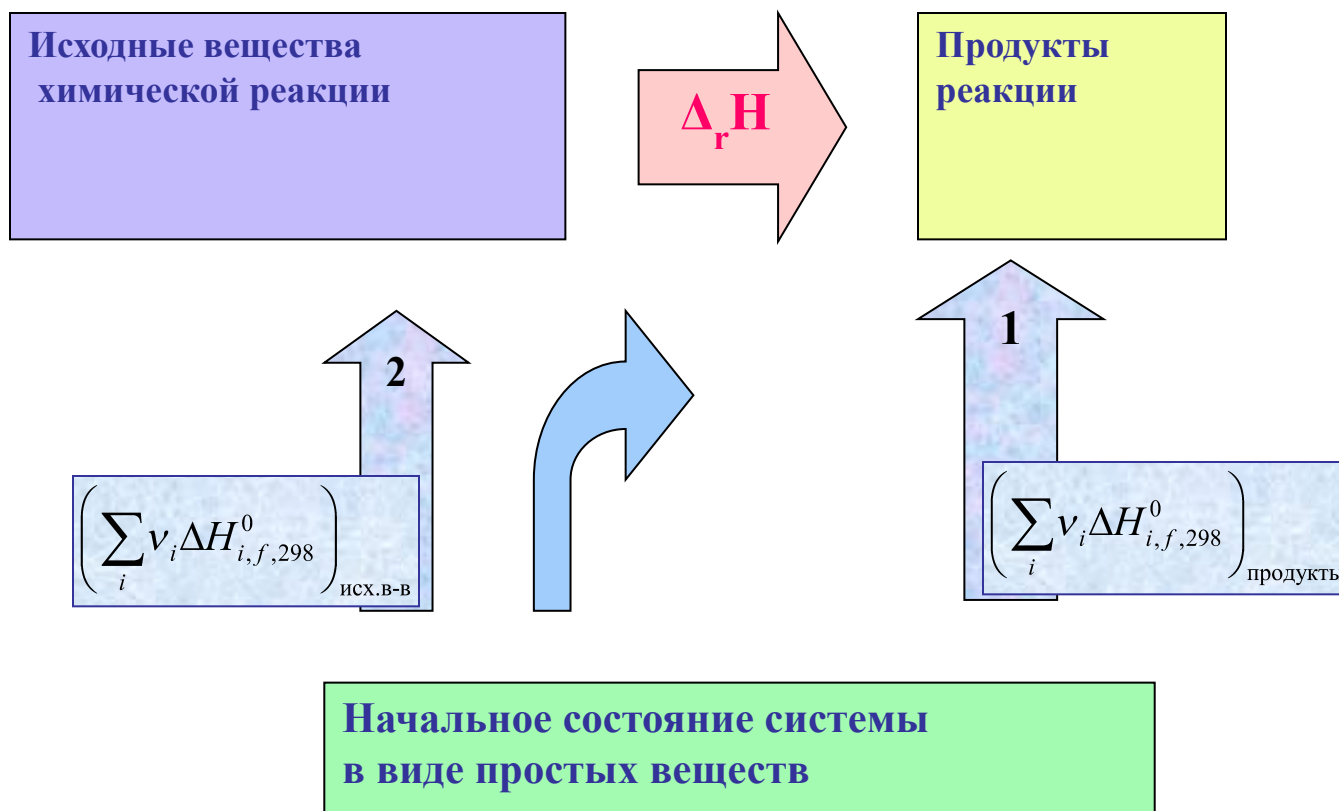
$$2\Delta H_{f,298}^0(\text{Na}_3\text{PO}_4(\text{ТВ})) + 3\Delta H_{f,298}^0(\text{H}_2\text{O}(\text{Ж})) + 3\Delta H_{f,298}^0(\text{CO}_2(\text{Г}))$$

$$\Delta H^{(1)} = \left( \sum_i v_i \Delta H_{i,f,298}^0 \right)_{\text{продукты}}$$



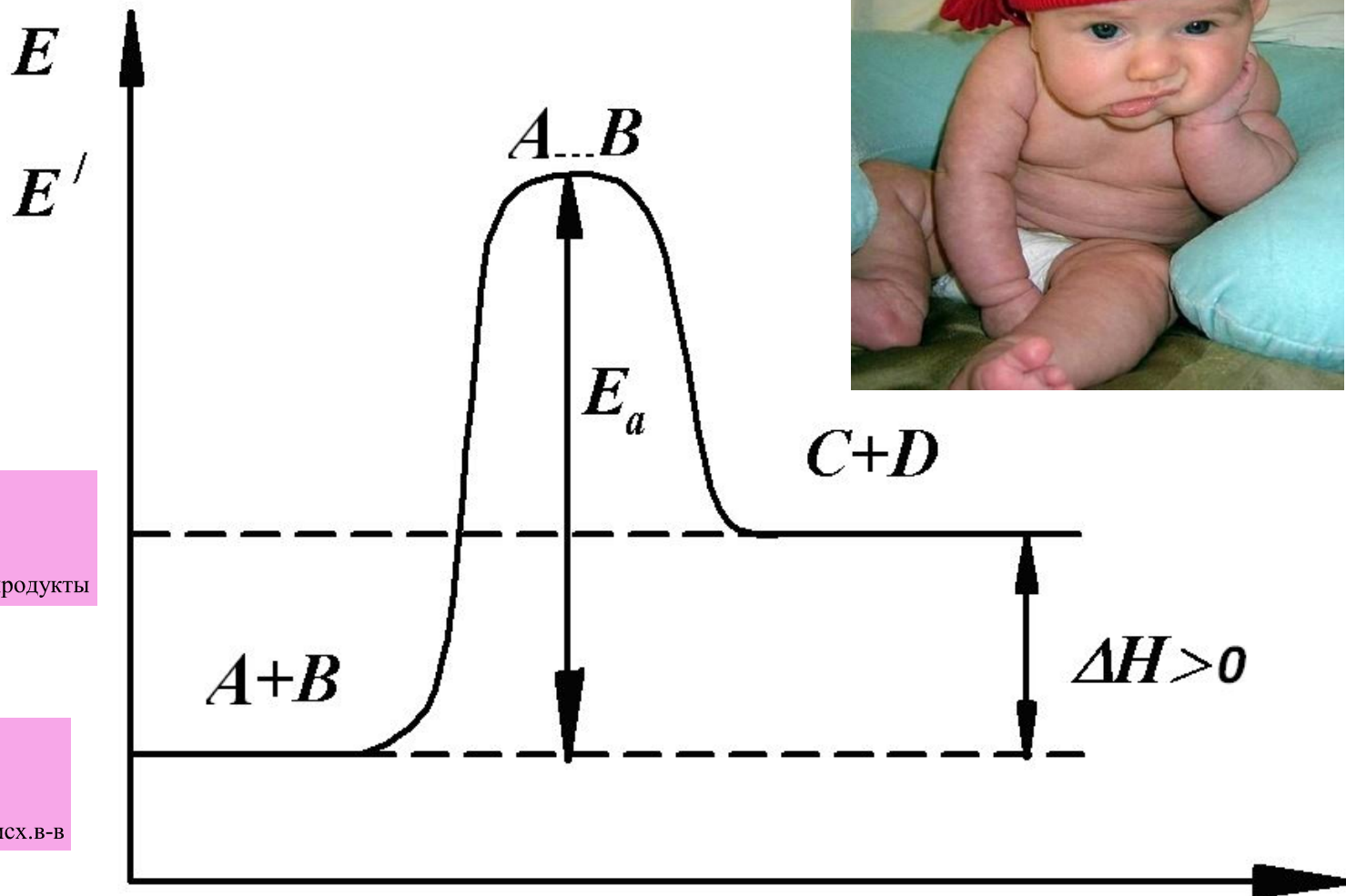
## Абсолютные значения энтальпии не могут быть определены.

Приняв в качестве «точки отсчета» теплоту образования простого вещества, исчезает необходимость при расчете теплового эффекта химических реакций знать абсолютные значения энтальпии. Если берем разность величин теплот образования, исчисленных относительно одного и того же «базиса», то при расчетах он «исчезает»



- Теплота образования простого вещества принимается равной нулю





$$\left( \sum_i \nu_i \Delta H_{i,f,298}^0 \right)_{\text{продукты}}$$

$$\left( \sum_i \nu_i \Delta H_{i,f,298}^0 \right)_{\text{ИСХ.В-В}}$$

$$\Delta_r H = \left( \sum_i \nu_i \Delta H_{i,f,298}^0 \right)_{\text{продукты}} - \left( \sum_i \nu_i \Delta H_{i,f,298}^0 \right)_{\text{ИСХ.В-В}}$$

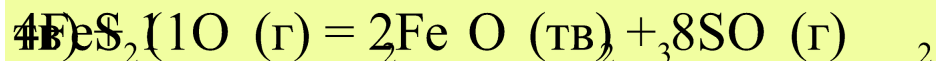
## Типовые задачи

Для меня задача по химии выглядит примерно таким образом:  
"Летели два верблюда - один рыжий, другой налево. Сколько весит килограмм асфальта, если ежику 24 года?"



# Задача

- Используя справочные данные, рассчитать тепловой эффект реакции обжига пирита. Записать термохимическое уравнение



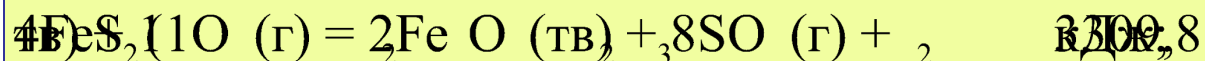
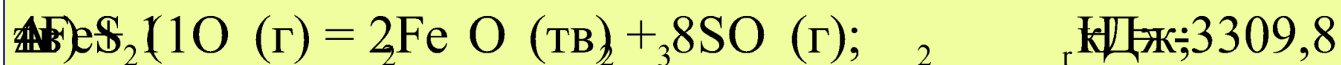
Вещество	$\Delta H_{f,298}^0$ , кДж/моль
$\text{FeS}_2(\text{тв})$	-177
$\text{O}_2(\text{г})$	0
$\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{тв})$	-821,3
$\text{SO}_2(\text{г})$	-296,9



Allcinema.ya.ru

$$\Delta_r H = 2\Delta H_{f,298}^0(\text{Fe}_2\text{O}_3) + 8\Delta H_{f,298}^0(\text{SO}_2) - 4\Delta H_{f,298}^0(\text{FeS}_2) - 11\Delta H_{f,298}^0(\text{O}_2)$$

$$\Delta_r H = 2(-821,3) + 8(-296,9) - 4(-177) - 11(0) = -3309,8 \text{ кДж}$$

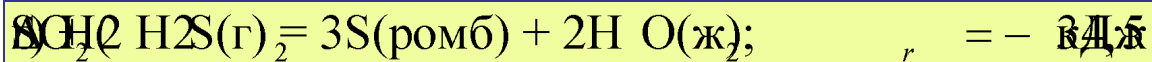


# Задача

Тепловой эффект реакции  $\text{SO}_2(\text{г}) + 2\text{H}_2\text{S}(\text{г}) = 3\text{S}(\text{ромб}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{ж})$ ;  
 равен  $\Delta_r H = -234,5$

Определить стандартную теплоту образования сероводорода, используя стандартные энтальпии образования оксида серы (IV) и воды (взять из справочника)

Вещество	$\Delta_f H_{f,298}^0$
S(ромб)	0
SO <sub>2</sub> (г)	-296,9
H <sub>2</sub> O(ж)	-285,8
H <sub>2</sub> S(г)	?



$$\Delta_r H = 2\Delta_f H_{f,298}^0(\text{H}_2\text{O}) + 3\Delta_f H_{f,298}^0(\text{S}) - \Delta_f H_{f,298}^0(\text{SO}_2) - 2\Delta_f H_{f,298}^0(\text{H}_2\text{S})$$

$$\Delta_r H = 2 \cdot (-285,8) + 3 \cdot 0 - (-296,6) - 2 \cdot x = -234,5$$

$$\Delta_f H_{f,298}^0(\text{H}_2\text{S}) = \frac{234,5 + 2 \cdot (-285,8) - (-296,6)}{2} = -20,3 \text{ кДж/моль}$$



# Задача

Какое количество карбоната кальция можно разложить, если затратить 510,3 кДж тепла?



Вещество	$\Delta H_{\text{f},298}^0$	
$\text{CaCO}_3(\text{ТВ})$	-1206	
$\text{CaO}(\text{Г})$	-6	35,1
$\text{CO}_2(\text{Г})$	-3	93,5

$$\Delta_r H = \Delta H_{\text{f},298}^0(\text{CaO}) + \Delta H_{\text{f},298}^0(\text{CO}_2) - \Delta H_{\text{f},298}^0(\text{CaCO}_3)$$

$$\Delta_r H = -635,1 - 393,5 + 1206 = 177,4$$

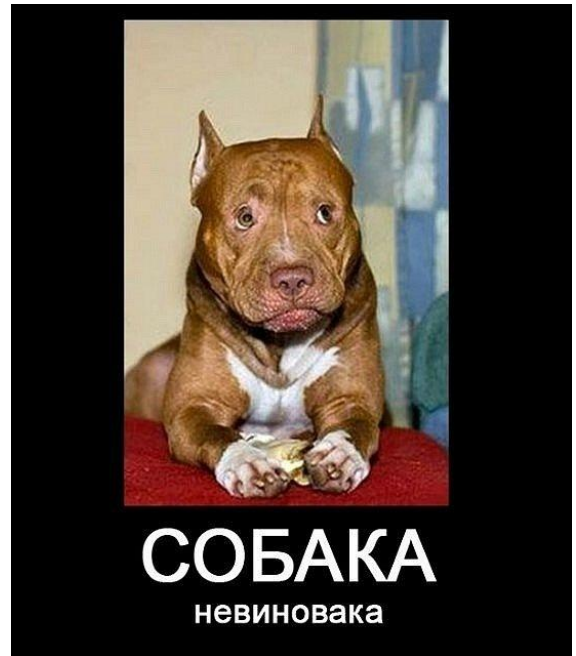
$$\text{CaCO}_3(\text{ТВ}) + \text{CO}(\text{Г}); \quad 177,4 \text{ кДж}$$

$v$	$x$	510,3
$\text{CaCO}_3(\text{ТВ}) + \text{CO}(\text{Г});$	$2$	$r = \text{кДж}$
$v_0$	$1$	177,4

$$\frac{x}{1} = \frac{510,3}{177,4}$$

$$x = 2,88$$

$$m = 2,88 \times M(\text{CaCO}_3) = 2,88 \times 100 = 288$$





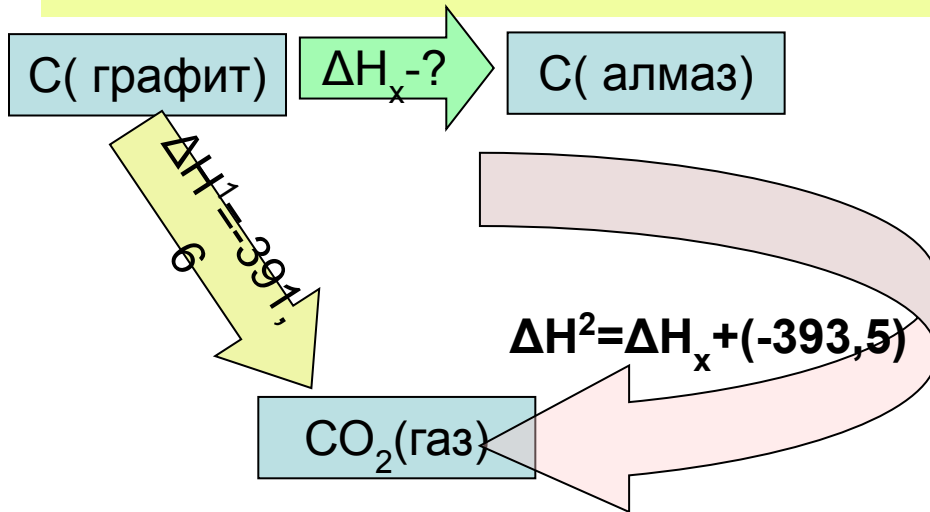
# Расчеты тепловых эффектов физико - химических процессов через теплоты сгорания и энергии химических связей

- Под теплотой сгорания подразумевают тепловой эффект химической реакции сгорания данного (сложного или простого) вещества до высших оксидов элементов, образующих данное вещество

$$\Delta_r H = \left( \sum_i \nu_i \Delta H_{i\text{сгор},298}^0 \right)_{\text{ИСХ.В-В}} - \left( \sum_i \nu_i \Delta H_{i\text{сгор},298}^0 \right)_{\text{продукты}}$$

$$\Delta_{\text{связи}} H = \left( \sum_i \nu_i E_{i\text{связи}} \right)_{\text{ИСХ.В-В}} - \left( \sum_i \nu_i E_{i\text{связи}} \right)_{\text{продукты}}$$

Рассчитать теплоту аллотропного превращения графита в алмаз , если энтальпии сгорания графита и алмаза до оксида углерода (IV) соответственно равны -393, 5 и 391,6 кДж/моль



$$\Delta H^1 = \Delta H^2$$

$$-391,6 - 393,5_x$$

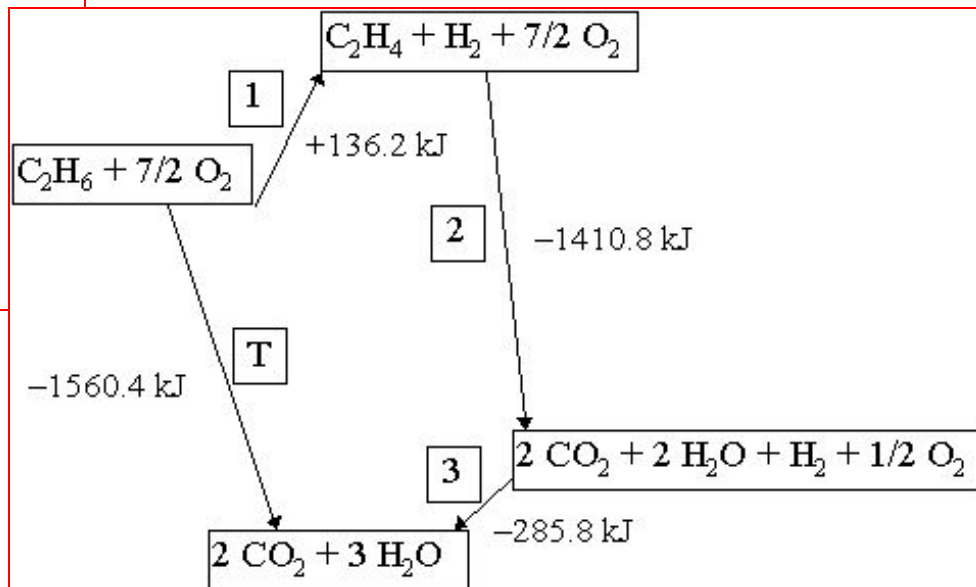
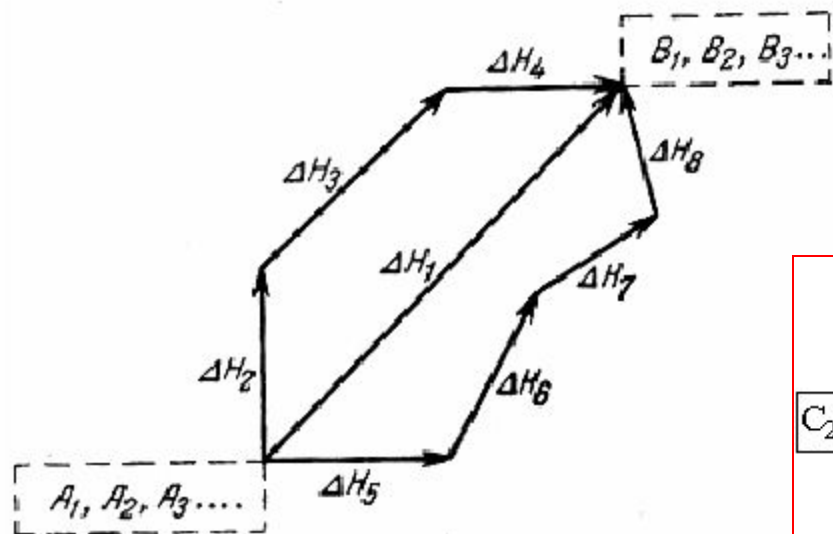
$$\text{кДж/моль}$$

Вещество	0	f,298
С(графит)	0	
С(алмаз)	1,89	7
СО <sub>2</sub> (г)	-39	3,5

- Совпадает с величиной превращения графит/алмаз, рассчитанной из теплот образования графита и алмаза.
- Наиболее устойчивым (стандартным) состоянием углерода является его модификация в виде графита

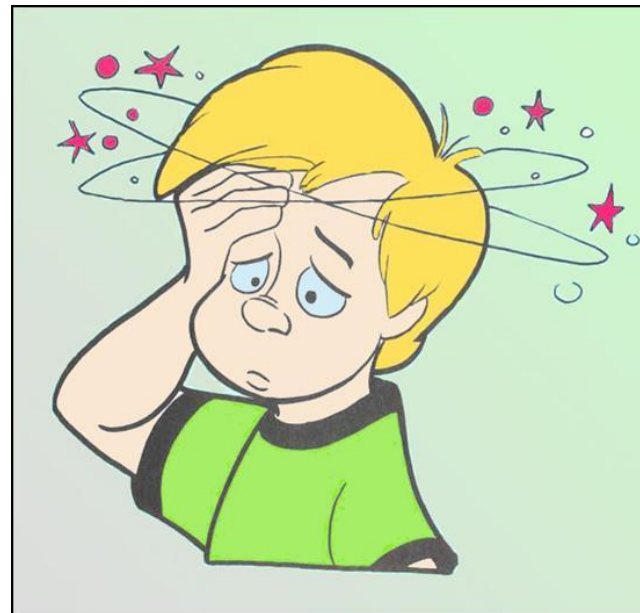
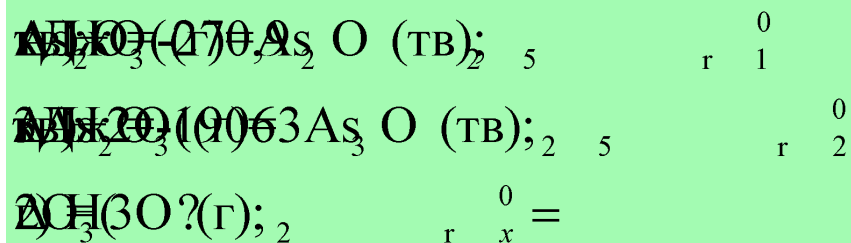
С целью расчета тепловых эффектов реакций, данные о которых отсутствуют в справочниках или не могут быть экспериментально измерены, выстраивают циклы из термохимических уравнений с известными тепловыми эффектами.

Термохимические уравнения можно комбинировать, применяя к ним любые арифметические действия (сложения, умножения, деления, вычитания).

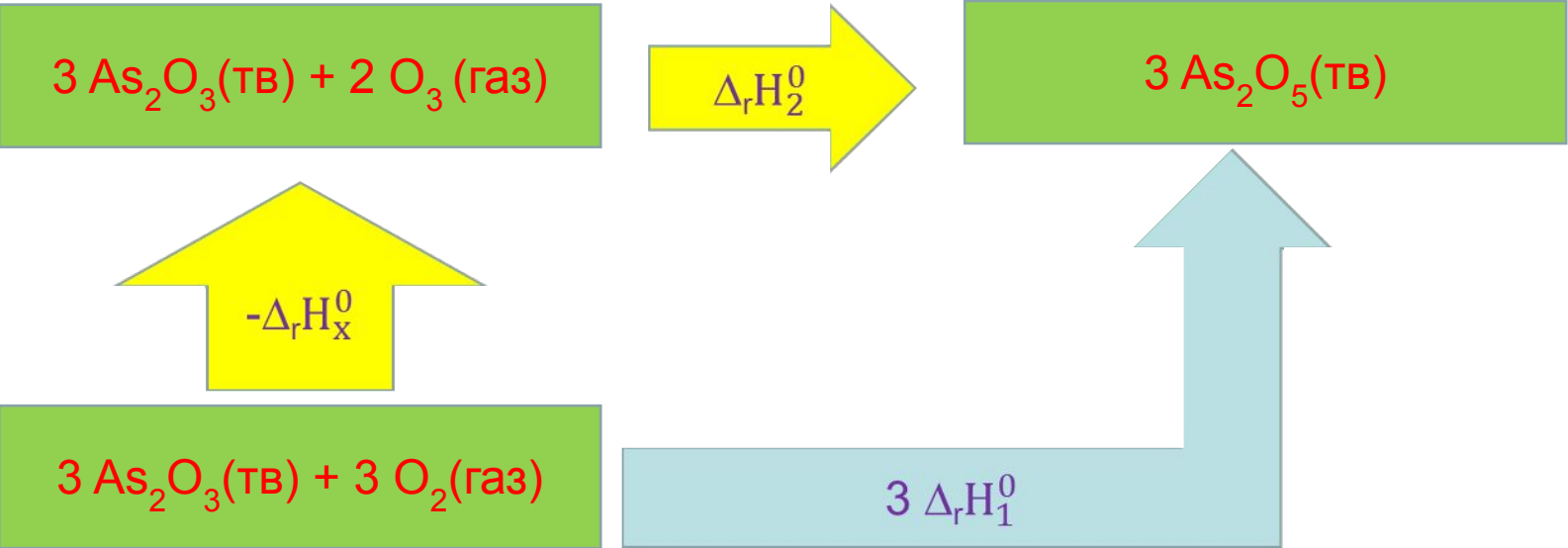


# Задача

- Исходя из данных для реакций окисления оксида мышьяка (III) кислородом и озоном, написать термохимическое уравнение разложения озона



$\Delta_f H^\circ(\text{As}_2\text{O}_3(\text{тв})); 2 \quad 5 \quad \begin{matrix} 0 \\ r \quad 1 \end{matrix}$   
 $\Delta_f H^\circ(\text{As}_2\text{O}_5(\text{тв})); 2 \quad 5 \quad \begin{matrix} 0 \\ r \quad 2 \end{matrix}$   
 $\Delta_f H^\circ(\text{O}_3(\text{газ})); 2 \quad \begin{matrix} 0 \\ r \quad x \end{matrix} =$

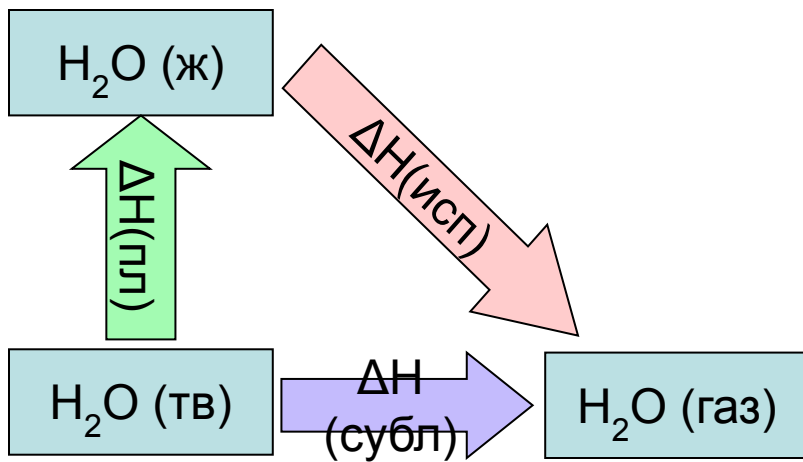


$(3) = (2) - 3 \times (1)$   
 $\Delta_r H^\circ = \Delta_2 H^\circ - 3 \Delta_1 H^\circ$   
 $\Delta_r H^\circ = -1906 - 3(-270,9) = -1093,3$



# Расчет теплот фазовых переходов

- Рассчитать теплоту плавления, испарения и сублимации воды используя справочные данные об энтальпиях образования



Вещество	$\Delta_f H_{298}^0$
$\text{H}_2\text{O} (\text{ж})$	-291,9
$\text{H}_2\text{O} (\text{тв})$	-285,8
$\text{H}_2\text{O} (\text{г})$	-241,8

$\text{H}_2\text{O} (\text{ж})$	$\text{H}-\text{O} (\text{ж})_2$	$\Delta_f H_{298}^0$
$\text{H}_2\text{O} (\text{тв})$	$\text{H}-\text{O} (\text{тв})_2$	$\Delta_f H_{298}^0$
$\text{H}_2\text{O} (\text{г})$	$\text{H}-\text{O} (\text{г})_2$	$\Delta_f H_{298}^0$

$$\Delta_f H_{298}^0 (\text{ж}) = -291,9 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta_f H_{298}^0 (\text{тв}) = -285,8 \text{ кДж/моль}$$

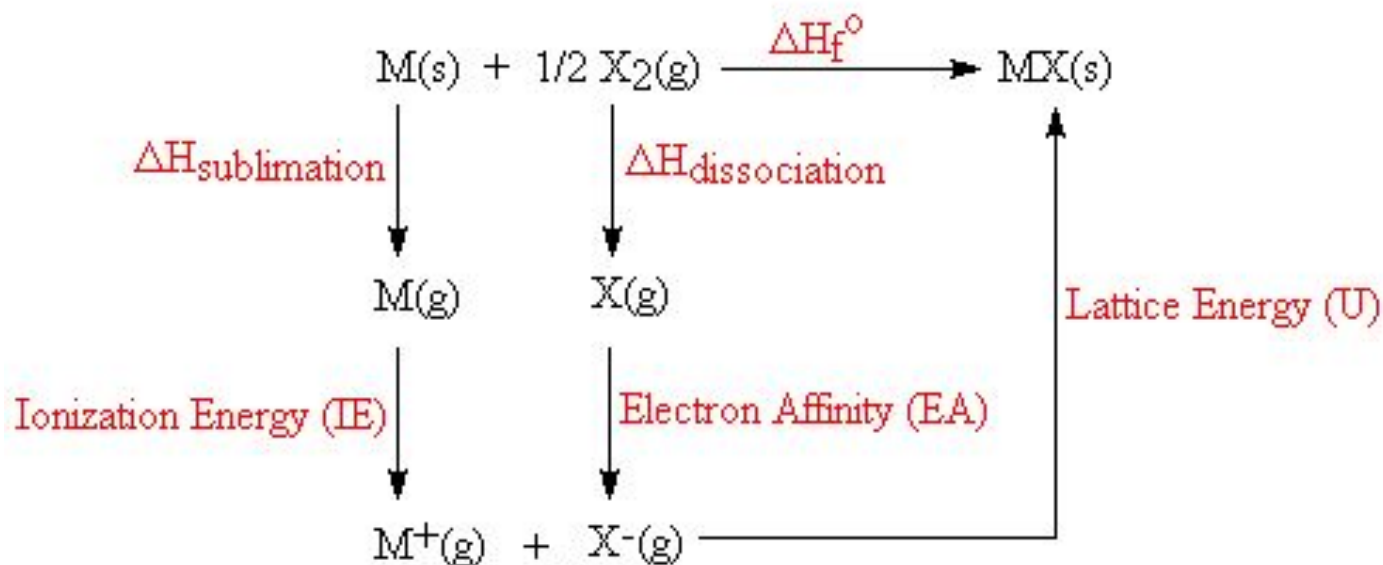
$$\Delta_f H_{298}^0 (\text{г}) = -241,8 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta H_{\text{субл.}} = \Delta H_{\text{пл.}} + \Delta H_{\text{исп.}}$$

# Расчет энергий кристаллических решеток

## Циклы Борна-Габер

### Born - Haber Cycle



$$\Delta H_f^\circ = \Delta H_{\text{sub}} + \text{IE} + \Delta H_{\text{diss}} + \text{EA} + U$$

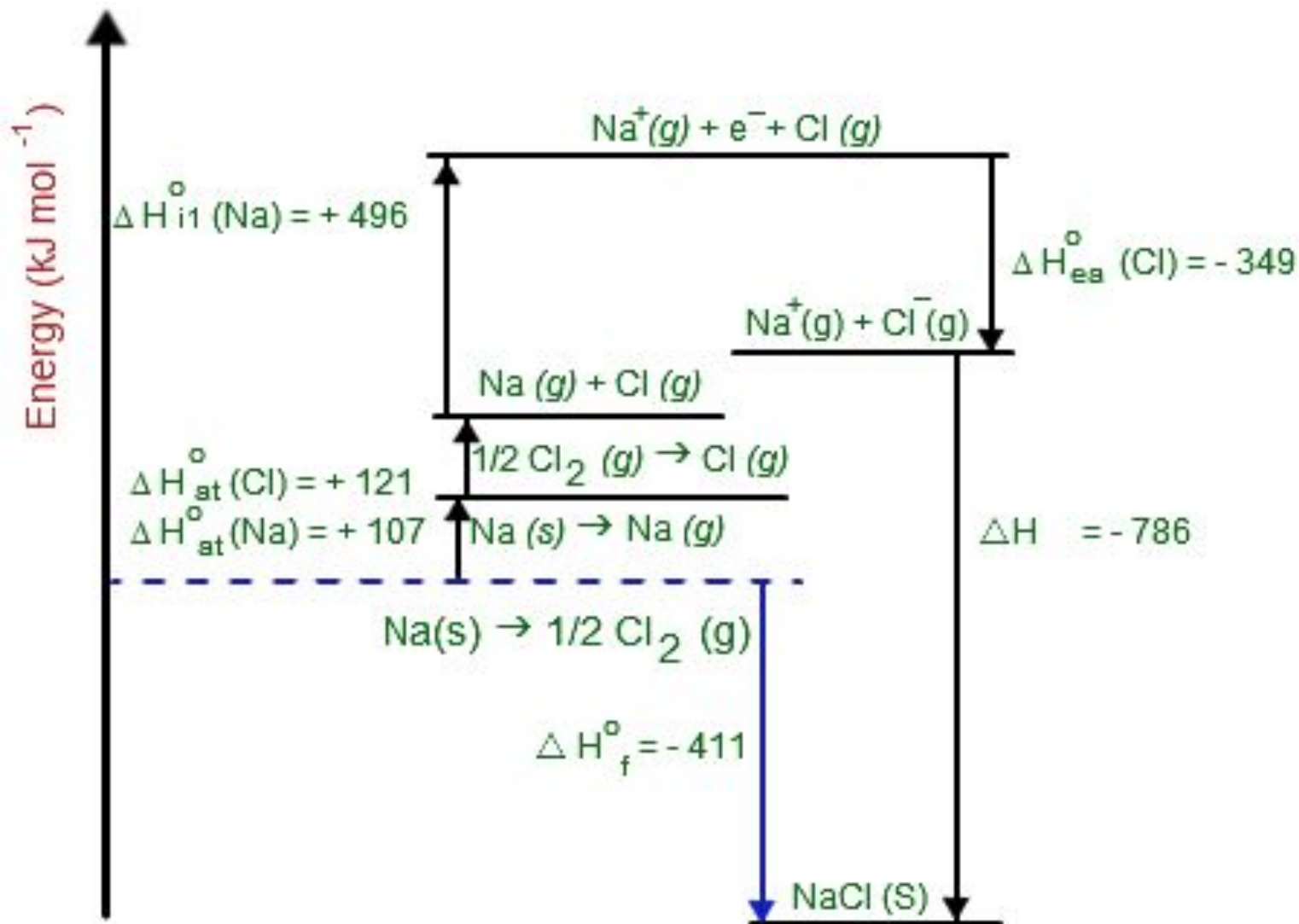


Max Born

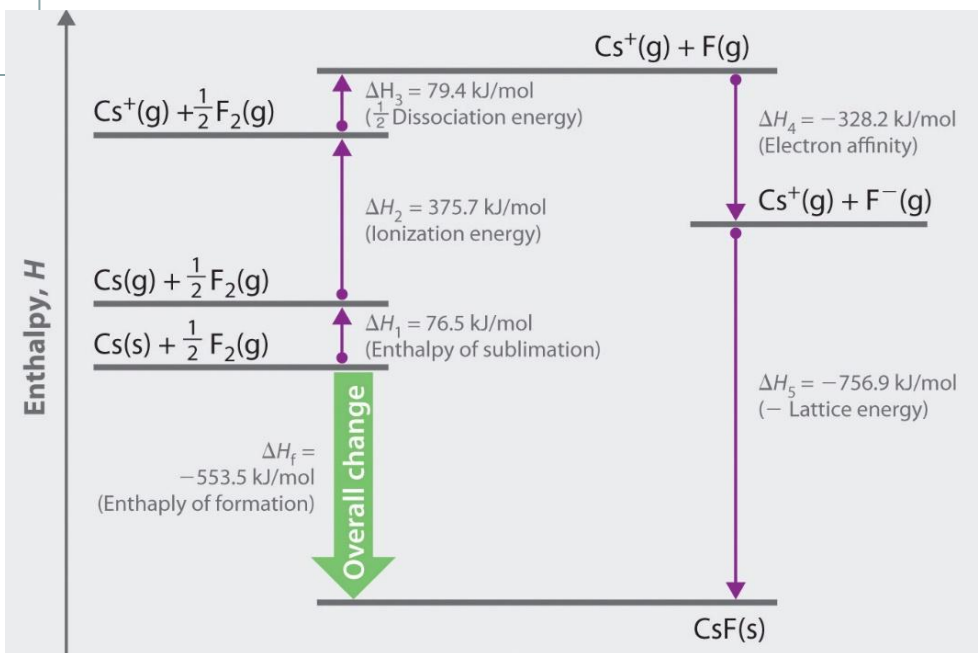
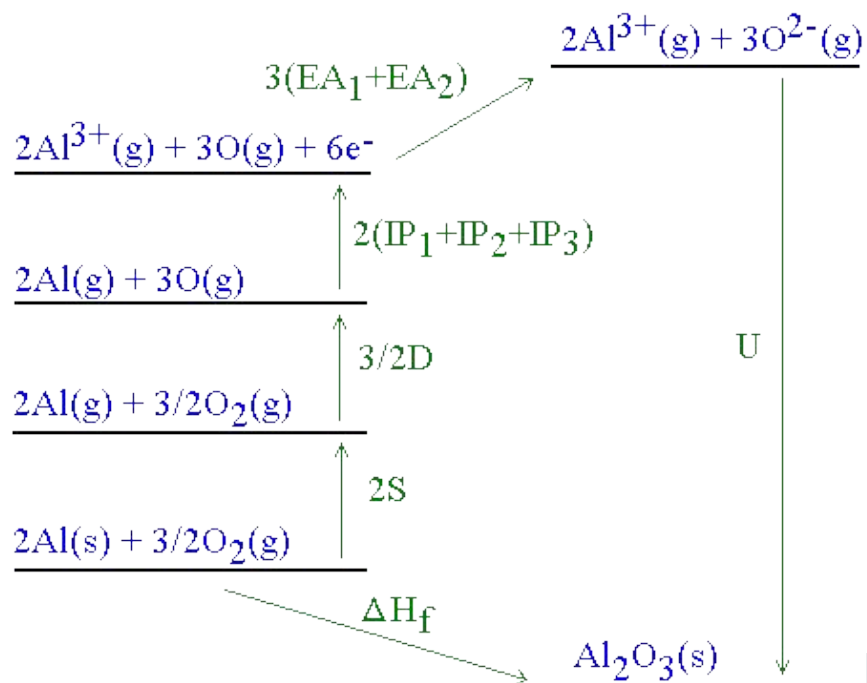


Фриц Габер

# Циклы Борна-Габера



# Циклы Борна-Габера



## Связь величин тепловых эффектов химических реакций, измеренных при постоянном объеме и постоянном давлении

$$V = const$$

$$Q_V = \Delta U = U_2 - U_1$$

$$P = const$$

$$Q_P = \Delta H = H_2 - H_1$$

Учитывая связь между термодинамической и термохимической системами знаков

$$\Delta H = \Delta U + \Delta(pV)$$

$$-Q_P = -Q_V + \Delta v \cdot RT$$

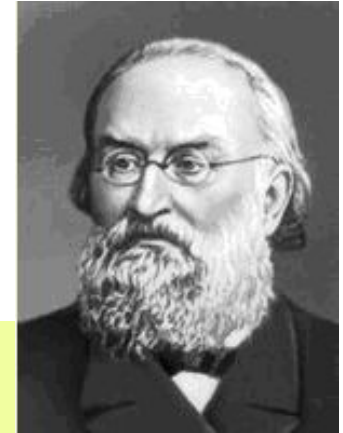
$$Q_P = Q_V - \Delta v \cdot RT$$



- Тепловые эффекты реакций протекающих без изменения объема, химических реакций в конденсированных системах, т.е. без затрат на работу расширения

$$Q_P = Q_V$$

# Температурная зависимость теплового эффекта химических реакций

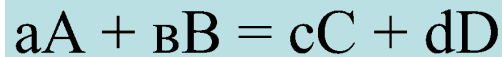


## Закон Кирхгофа

- Температурный коэффициент теплового эффекта химической реакции равен изменению теплоемкости веществ, участвующих в данной реакции.

$$\left( \frac{\Delta H_r}{dT} \right)_p = \Delta C_p$$

$$\left( \frac{\Delta U_r}{dT} \right)_v = \Delta C_v$$



$$\Delta C_p = \left( \sum_i \nu_i C_{P,i} \right)_{\text{продукты}} - \left( \sum_i \nu_i C_{P,i} \right)_{\text{исх. в-в}}$$



$$\left( \frac{\Delta H_r}{dT} \right)_p \Delta C_p$$

$$\Delta_r H_T = \Delta_r H_{T_0} + \int_{T_0}^T \Delta C_p dT$$

$$\Delta C_p = \text{const} \neq F(T)$$

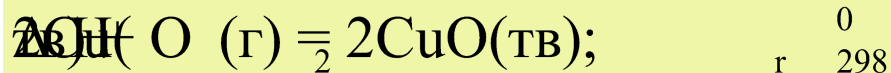
$$\Delta_r H_T = \Delta_r H_{T_0} + \Delta C_p (T - T_0)$$



$$\Delta_{\text{ф.п.1}} H_T = \Delta_r H_{T_0} + \int_{T_0}^{T_1} \Delta C_p(T) \cdot dT + \Delta_{\text{ф.п.2}} H_{T_1} + \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_p^*(T) \cdot dT + \Delta_{\text{ф.п.3}} H_{T_2} + \int_{T_2}^T \Delta C_p^{**}(T) \cdot dT$$

$$\Delta_{\text{ф.п.1}} H_{f,T}^0 = \Delta_{\text{ф.п.2}} H_{f,298}^0 + \int_{T_0}^{T_1} \Delta C_p(T) \cdot dT + \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_p^*(T) \cdot dT + \int_{T_2}^T \Delta C_p^{**}(T) \cdot dT$$

# Вывести аналитическую зависимость теплового эффекта (Дж) реакции от температуры



$$C_p = a + bT + cT^{-2}$$

вещество

$$C_p = F(T)$$

$\text{Cu}(\Gamma)$	5,44 +	$1,46 \cdot 10^{-3}T$
$\text{O}_2(\Gamma)$	8,27 +	$0,26 \cdot 10^{-3}T - 1,88 \cdot 10^{-5}T^{-2}$
$\text{Cu}(\text{TB})$	1	$0,87 + 3,58 \cdot 10^{-3}T - 1,51 \cdot 10^{-5}T^{-2}$

$$\Delta C_p = \left( \sum_i \nu_i C_{p,i} \right)_{\text{продукты}} - \left( \sum_i \nu_i C_{p,i} \right)_{\text{исх. в-в}}$$

$$\left( \sum_i \nu_i C_{p,i} \right)_{\text{продукты}} = 2 \cdot 10,87 + 2 \cdot 26,58 \text{ (CuO)} = (51 \cdot 10^{-3} T^{-3} - \dots - 5 \cdot 10^{-5} T^{-2})$$

$$\left( \sum_i \nu_i C_{p,i} \right)_{\text{исх. в-в}} = 2C_p(\text{Cu}) + C_p(\text{O}_2) =$$

$$= 2(5,44 + 1,46 \cdot 10^{-3}T) + (8,27 + 0,26 \cdot 10^{-3}T - 1,88 \cdot 10^{-5}T^{-2})$$

$$\Delta C_p = 2,67 + 3,96 \cdot 10^{-3}T - 1,14 \cdot 10^{-5}T^{-2}$$

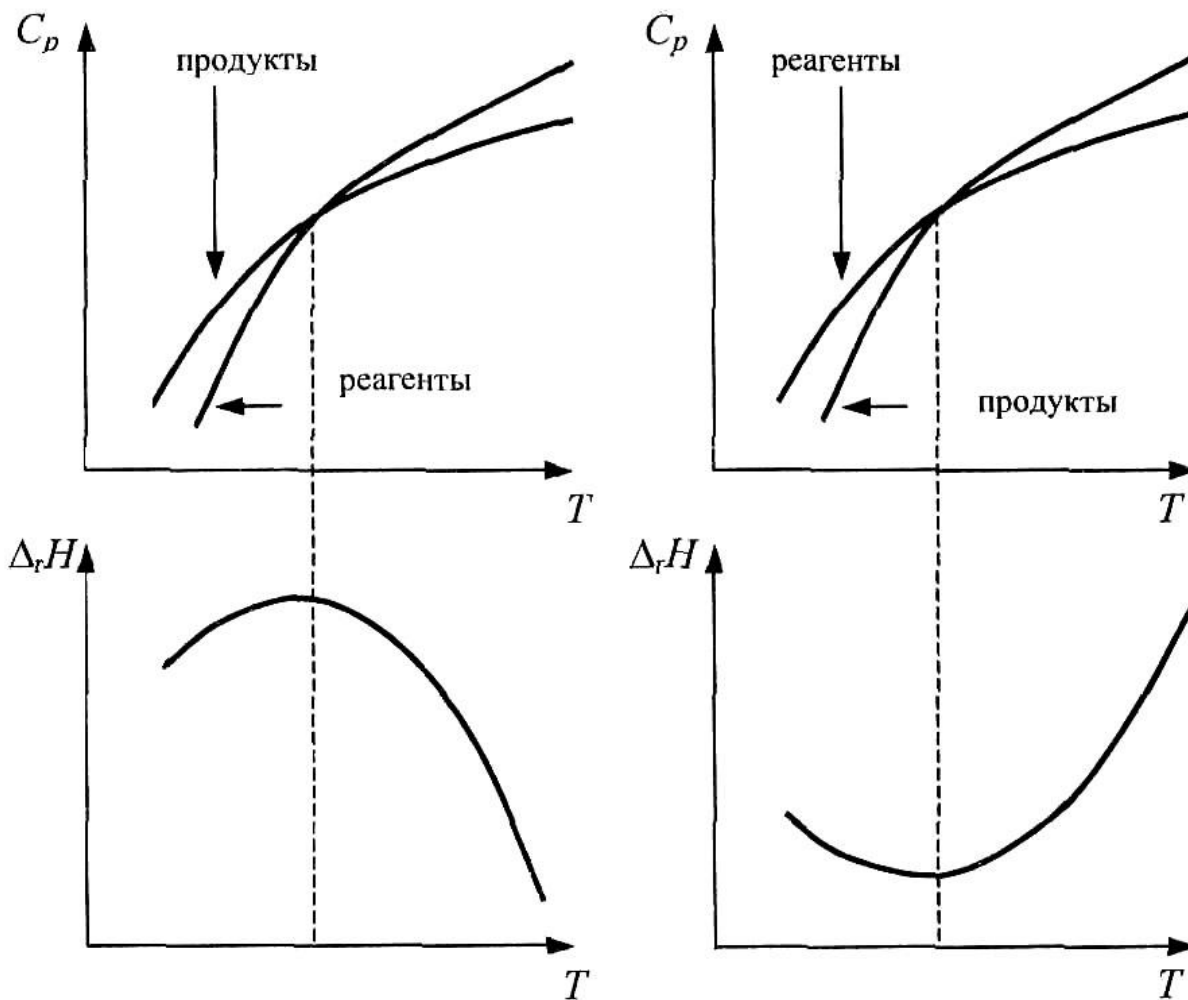


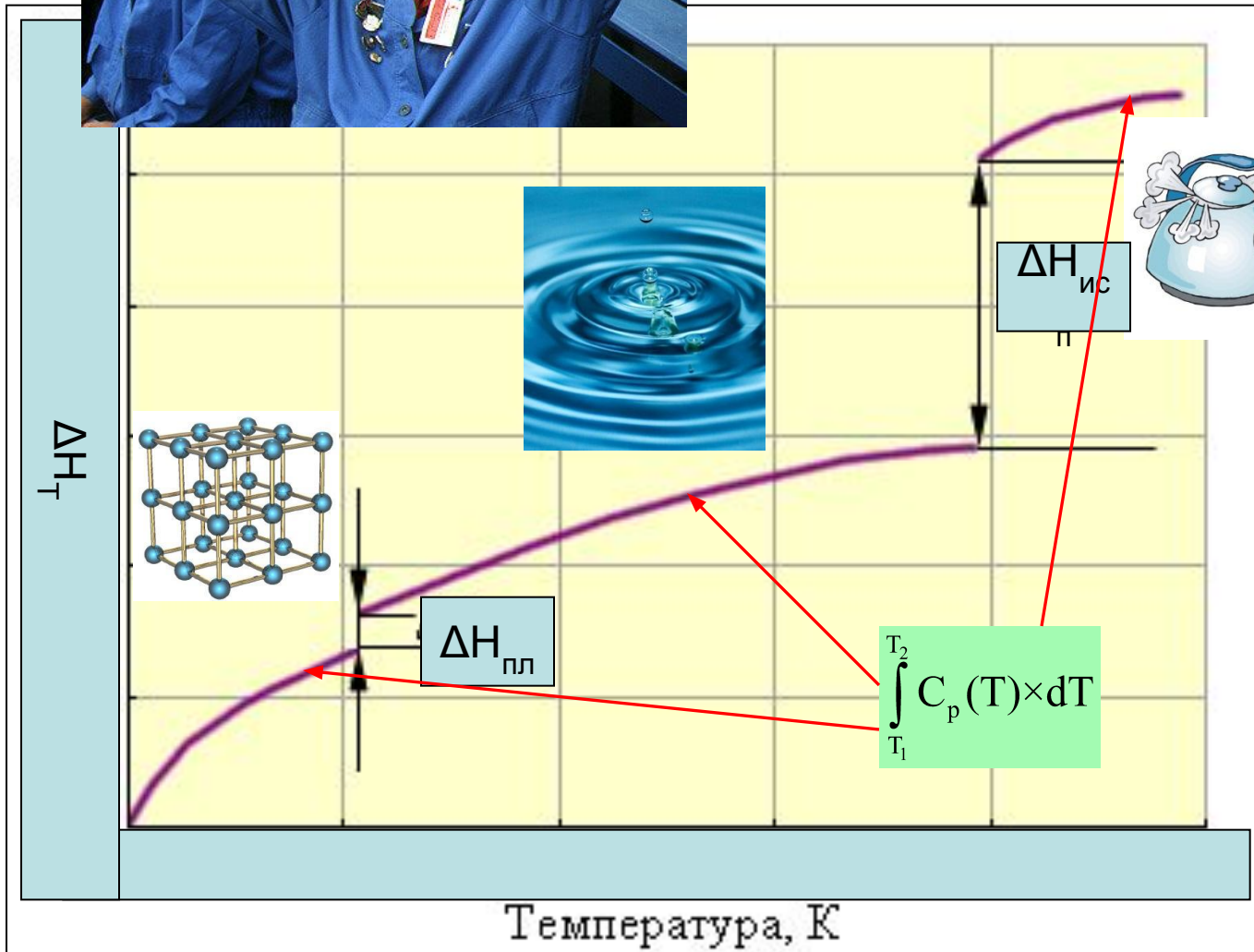
$$\Delta_r H_T^0 = \Delta_r H_{298}^0 + \int_{T_0}^{T_1} \Delta C_p(T) \cdot dT = \Delta_r H_{298}^0 + \int_{298}^T (2,67 + 3,96 \cdot 10^{-3}T - 1,14 \cdot 10^{-5}T^{-2}) \cdot dT$$

$$\Delta_r H_T^0 = \Delta_r H_{298}^0 + \left[ 2,67 \cdot T + 1,98 \cdot 10^{-3}T^2 + 1,14 \cdot 10^{-5}T^{-1} \right]_{298}^T$$

Зависимость теплового эффекта химической реакции от температуры определяется характером изменения  $\Delta C_p$

$$\Delta C_R = \left( \sum_i \nu_i C_{P,i} \right)_{\text{продукты}} - \left( \sum_i \nu_i C_{P,i} \right)_{\text{исх. в-в}}$$







Mask II, 2001-02. Mixed media. Collection of the Art Supporting Foundation to the San Francisco Museum of Modern Art

## Кластер: «Внутренняя энергия»

