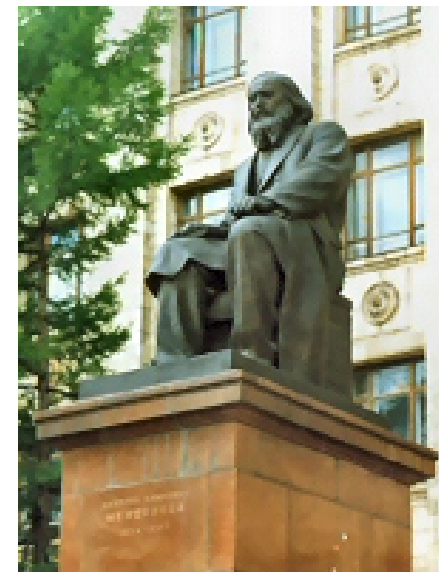


Химическая таблица Д.И. Менделеева																							
										VIIA		VIIIA											
										(H)		2											
										He		He											
1	H																	2	He				
3	Li	4	Be	5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	10	Ne								
11	Na	12	Mg	13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar								
19	K	20	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Ni	28					
29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr								
37	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46					
47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe								
55	Cs	56	Ba	57	La	58	Ce	59	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64					
79	Au	80	Hg	81	Tl	82	Pb	83	Bi	84	Po	85	At	86	Rn	87	Fr	88					
87	Fr	88	Ra	89	Ac	90	Th	91	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96					
<p> <span style="color: red;">■</span> - I группа  <span style="color: blue;">■</span> - II группа  <span style="color: green;">■</span> - III группа  <span style="color: purple;">■</span> - IV группа  <span style="color: orange;">■</span> - V группа  <span style="color: pink;">■</span> - VI группа  <span style="color: lightblue;">■</span> - VII группа  <span style="color: lightgreen;">■</span> - VIII группа  <span style="color: lightyellow;">■</span> - IX группа  <span style="color: lightcyan;">■</span> - X группа  <span style="color: lightmagenta;">■</span> - XI группа  <span style="color: lightblue;">■</span> - XII группа  <span style="color: lightgreen;">■</span> - XIII группа  <span style="color: lightyellow;">■</span> - XIV группа  <span style="color: lightcyan;">■</span> - XV группа  <span style="color: lightmagenta;">■</span> - XVI группа  <span style="color: lightblue;">■</span> - XVII группа  <span style="color: lightgreen;">■</span> - XVIII группа  <span style="color: lightyellow;">■</span> - XIX группа  <span style="color: lightcyan;">■</span> - XX группа  <span style="color: lightmagenta;">■</span> - XXI группа  <span style="color: lightblue;">■</span> - XXII группа  <span style="color: lightgreen;">■</span> - XXIII группа  <span style="color: lightyellow;">■</span> - XXIV группа  <span style="color: lightcyan;">■</span> - XXV группа  <span style="color: lightmagenta;">■</span> - XXVI группа  <span style="color: lightblue;">■</span> - XXVII группа  <span style="color: lightgreen;">■</span> - XXVIII группа  <span style="color: lightyellow;">■</span> - XXIX группа  <span style="color: lightcyan;">■</span> - XXX группа  <span style="color: lightmagenta;">■</span> - XXXI группа  <span style="color: lightblue;">■</span> - XXXII группа  <span style="color: lightgreen;">■</span> - XXXIII группа  <span style="color: lightyellow;">■</span> - XXXIV группа  <span style="color: lightcyan;">■</span> - XXXV группа  <span style="color: lightmagenta;">■</span> - XXXVI группа  <span style="color: lightblue;">■</span> - XXXVII группа  <span style="color: lightgreen;">■</span> - XXXVIII группа  <span style="color: lightyellow;">■</span> - XXXIX группа  <span style="color: lightcyan;">■</span> - XL группа  <span style="color: lightmagenta;">■</span> - XLI группа  <span style="color: lightblue;">■</span> - XLII группа  <span style="color: lightgreen;">■</span> - XLIII группа  <span style="color: lightyellow;">■</span> - XLIV группа  <span style="color: lightcyan;">■</span> - XLV группа  <span style="color: lightmagenta;">■</span> - XLVI группа  <span style="color: lightblue;">■</span> - XLVII группа  <span style="color: lightgreen;">■</span> - XLVIII группа  <span style="color: lightyellow;">■</span> - XLIX группа  <span style="color: lightcyan;">■</span> - L группа  <span style="color: lightmagenta;">■</span> - LI группа  <span style="color: lightblue;">■</span> - LII группа  <span style="color: lightgreen;">■</span> - LIII группа  <span style="color: lightyellow;">■</span> - LIV группа  <span style="color: lightcyan;">■</span> - LV группа  <span style="color: lightmagenta;">■</span> - LVI группа  <span style="color: lightblue;">■</span> - LVII группа  <span style="color: lightgreen;">■</span> - LVIII группа  <span style="color: lightyellow;">■</span> - LIX группа  <span style="color: lightcyan;">■</span> - LX группа  <span style="color: lightmagenta;">■</span> - LXI группа  <span style="color: lightblue;">■</span> - LXII группа  <span style="color: lightgreen;">■</span> - LXIII группа  <span style="color: lightyellow;">■</span> - LXIV группа  <span style="color: lightcyan;">■</span> - LXV группа  <span style="color: lightmagenta;">■</span> - LXVI группа  <span style="color: lightblue;">■</span> - LXVII группа  <span style="color: lightgreen;">■</span> - LXVIII группа  <span style="color: lightyellow;">■</span> - LXIX группа  <span style="color: lightcyan;">■</span> - LXX группа  <span style="color: lightmagenta;">■</span> - LXXI группа  <span style="color: lightblue;">■</span> - LXXII группа  <span style="color: lightgreen;">■</span> - LXXIII группа  <span style="color: lightyellow;">■</span> - LXXIV группа  <span style="color: lightcyan;">■</span> - LXXV группа  <span style="color: lightmagenta;">■</span> - LXXVI группа  <span style="color: lightblue;">■</span> - LXXVII группа  <span style="color: lightgreen;">■</span> - LXXVIII группа  <span style="color: lightyellow;">■</span> - LXXIX группа  <span style="color: lightcyan;">■</span> - LXXX группа  <span style="color: lightmagenta;">■</span> - LXXXI группа  <span style="color: lightblue;">■</span> - LXXXII группа  <span style="color: lightgreen;">■</span> - LXXXIII группа  <span style="color: lightyellow;">■</span> - LXXXIV группа  <span style="color: lightcyan;">■</span> - LXXXV группа  <span style="color: lightmagenta;">■</span> - LXXXVI группа  <span style="color: lightblue;">■</span> - LXXXVII группа  <span style="color: lightgreen;">■</span> - LXXXVIII группа  <span style="color: lightyellow;">■</span> - LXXXIX группа  <span style="color: lightcyan;">■</span> - LXXXX группа  <span style="color: lightmagenta;">■</span> - LXXXXI группа  <span style="color: lightblue;">■</span> - LXXXXII группа  <span style="color: lightgreen;">■</span> - LXXXXIII группа  <span style="color: lightyellow;">■</span> - LXXXXIV группа  <span style="color: lightcyan;">■</span> - LXXXXV группа  <span style="color: lightmagenta;">■</span> - LXXXXVI группа  <span style="color: lightblue;">■</span> - LXXXXVII группа  <span style="color: lightgreen;">■</span> - LXXXXVIII группа  <span style="color: lightyellow;">■</span> - LXXXXIX группа  <span style="color: lightcyan;">■</span> - LXXXXX группа </p>																							



# Неорганическая химия

*1й курс*

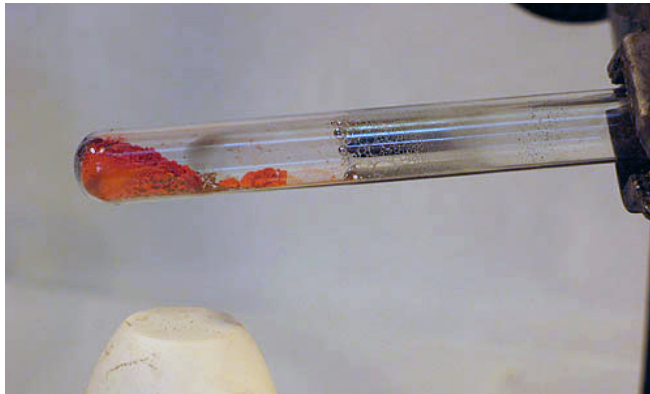
2017–2018

# Энергетика химических превращений. 1й закон термодинамики

Лекция 1

# Признаки химической реакции

изменение цвета  
появление запаха  
изменение вкуса  
выпадение осадка  
свечение  
увеличение объема  
...



выделение тепла,  
разогревание, взрыв

поглощение тепла,  
охлаждение

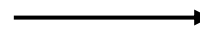
возникновение э.д.с.

Почему происходит реакция



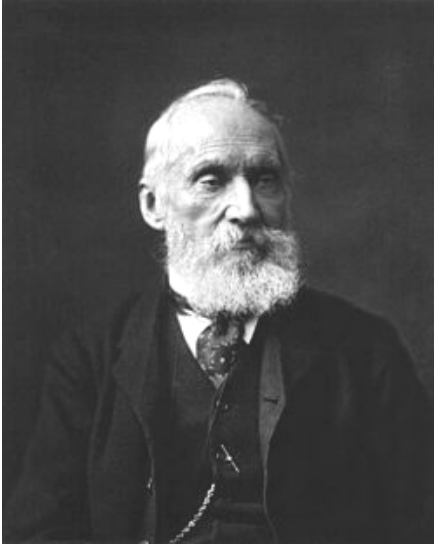
термодинамика

Как происходит реакция



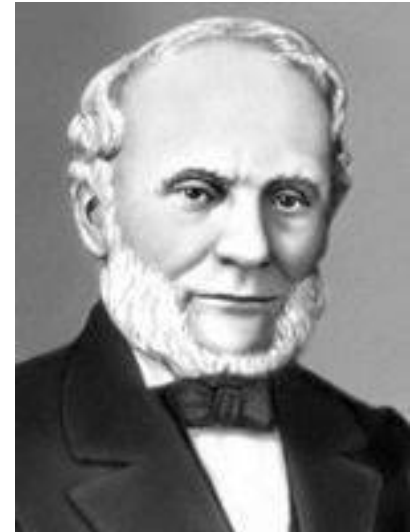
кинетика

# Термодинамика



Лорд Кельвин: «Должна существовать некоторая эквивалентность между механической работой и теплотой»

Р.Ю.Э. Клаузиус: «Согласно механической теории тепла ... теплота сама собой не может переходить от тела холодного к телу горячему»



# Химическая термодинамика

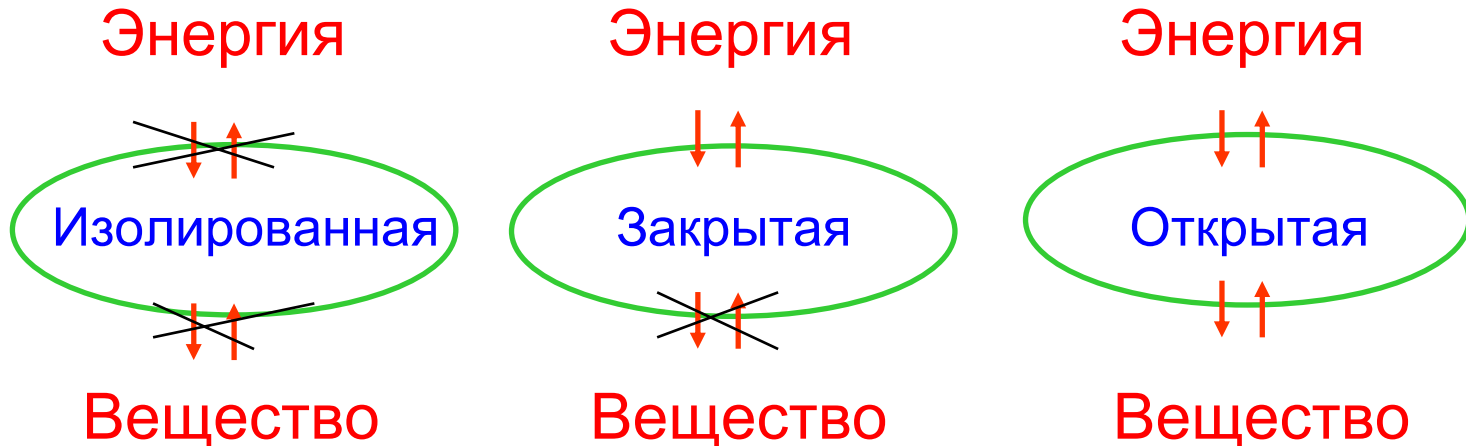
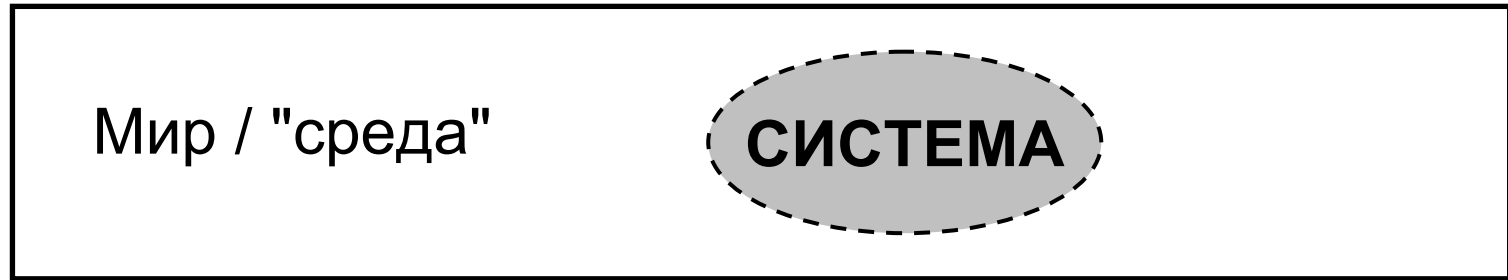


Г.Ф. Воронин: «Химическая термодинамика это наука о зависимости направления и пределов превращений веществ от условий, в которых эти вещества находятся»

**Предмет химической термодинамики:**

- 1) Возможно ли протекание химического процесса?
- 2) Каковы условия протекания химического процесса?
- 3) Достижимо ли равновесие (независимо от времени)?

# Система



◆ Система - конкретный объект исследования, выделенный из окружающего мира реально существующими или воображаемыми границами.

# Состояние системы

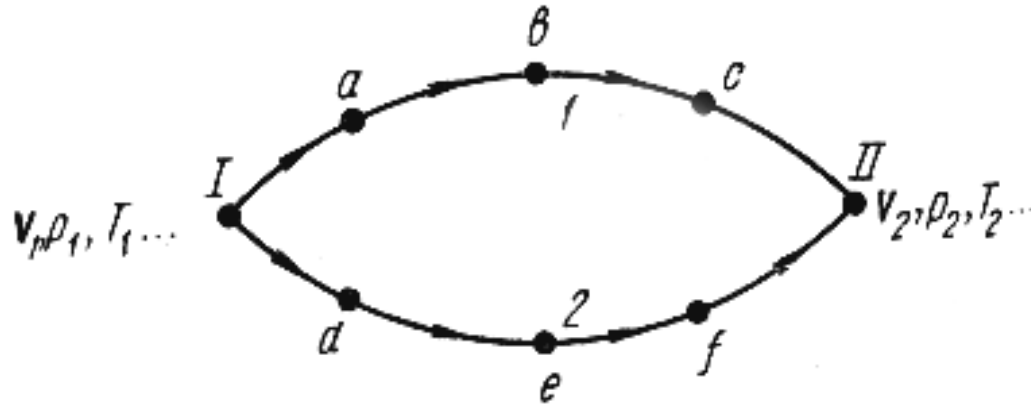
- ◆ Система характеризуется присущими ей **свойствами**

**Экстенсивные свойства** –  
суммирующиеся ( $V, m, \dots$ )

**Интенсивные свойства** –  
выравнивающиеся при контакте систем ( $p, T, c, \dots$ )

- ◆ Совокупность свойств определяет **состояние системы**,  
**Уравнение состояния**  $f(p, V, T, \dots) = 0$   
 $pV = nRT$  (уравнение состояния идеального газа)

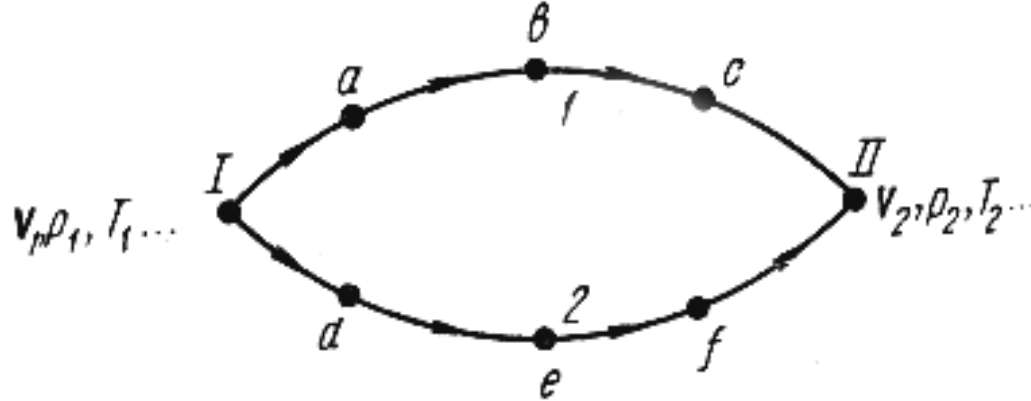
# Свойства системы



- ✓ Полное изменение **свойств** системы ( $p, V, \dots$ ) **не зависит** от пути изменения системы, но **определяется начальным и конечным состояниями** системы
- ✓ Величины, изменение которых зависит от пути изменения системы, не являются свойствами системы
- ✓ Если изменение величины не зависит от пути превращения, то эта величина является **свойством системы**



# Свойства системы



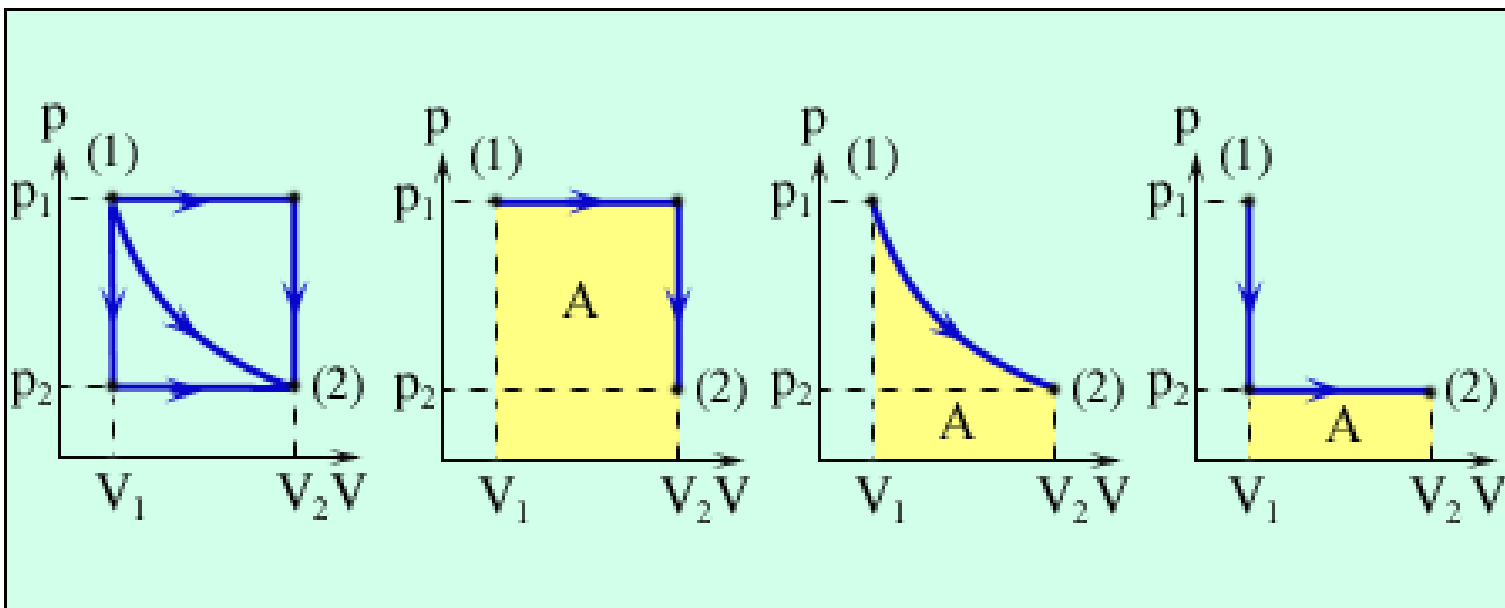
Функция параметров, определяющих равновесное состояние термодинамической системы, независящая от особенностей процесса достижения равновесия, называется **функцией состояния**

**Функция состояния не зависит от пути процесса !**

# Теплота и работа

**Теплота ( $Q$ )** — мера энергии, переходящей от одного тела к другому в процессе теплопередачи.

**Работа** термодинамическая ( $A$ ) — способ передачи энергии, связанный с изменением внешних параметров системы.  $A = p\Delta V$



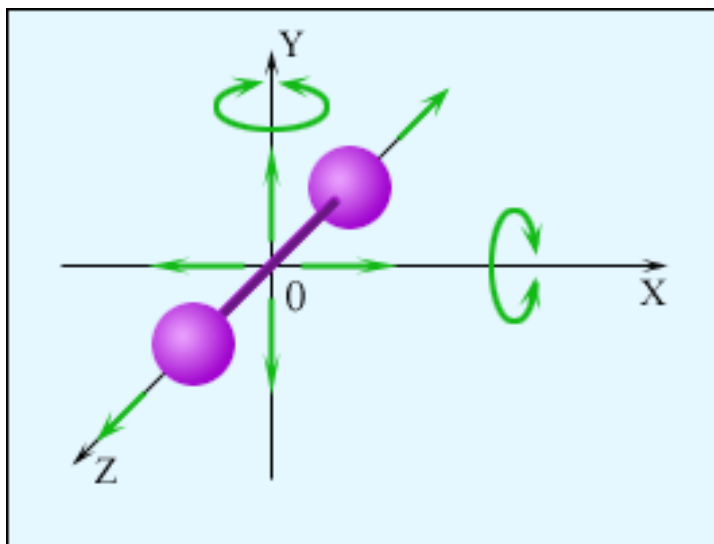
Работа не является свойством системы

# Внутренняя энергия

**Внутренняя энергия (U)** – совокупность энергий теплового движения молекул и молекулярных взаимодействий:

- ✓ Энергия **химической связи**
- ✓ Энергия **межмолекулярного взаимодействия**
- ✓ **Молекулярно-кинетическая** энергия молекул
- ✓ Энергия **взаимодействия ядер и электронов**
- ✓ **Внутриядерная** энергия
- ✓ ...

**Внутренняя энергия – функция состояния !**



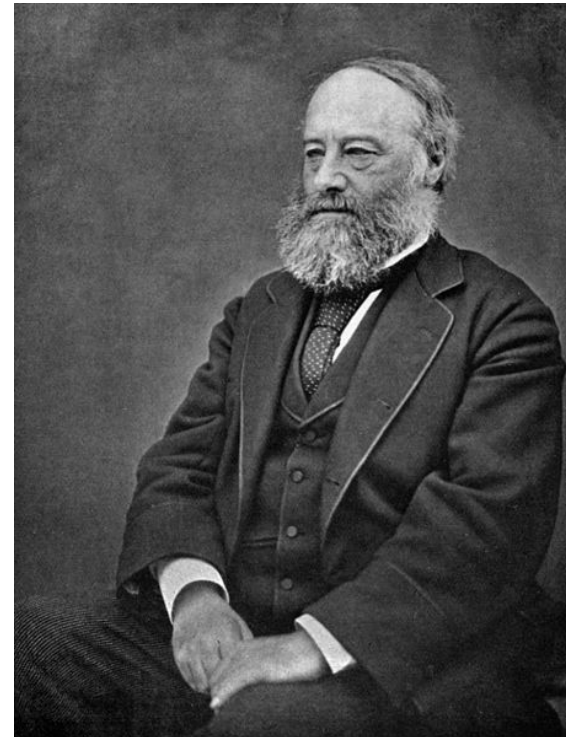
Абсолютное значение внутренней энергии нельзя ни измерить, ни рассчитать, можно установить ее изменение  $\Delta U$

# Первый закон термодинамики



**М.В.Ломоносов:** «... сколько ... у одного тела отнимется, столько же присовокупится к другому»

**Дж.П.Джоуль:** «В любой изолированной системе общий запас энергии постоянен»



# Первый закон термодинамики

Современные формулировки:

Количество теплоты, полученное системой, идет на изменение ее внутренней энергии и совершение работы над внешними телами.

Теплота, сообщаемая системе извне, расходуется на увеличение внутренней энергии и на работу, совершаемую системой

Изменение внутренней энергии  $\Delta U$  неизолированной системы равно разности между количеством теплоты  $Q$ , переданной системе, и работой  $A$ , совершенной системой над внешними телами.

$$Q = \Delta U + A$$

# Первый закон термодинамики

Изменение внутренней энергии

$$\Delta U = U_2 - U_1$$

Теплота, получаемая системой  
извне или отдаваемая  
окружающей среде

Работа системы против  
внешних сил или внешних  
сил над системой

# Тепловой эффект реакции

**Тепловой эффект реакции** – теплота, выделяющаяся или поглощающаяся при химической реакции.

Условия:

1.  $p = \text{const}$  *ИЛИ*  $V = \text{const}$
2. не совершается никакой работы, кроме  $A = p\Delta V$
3. температура продуктов = температура реагентов

**Экзотермические** реакции: выделение теплоты,  $Q > 0$

**Эндотермические** реакции: поглощение теплоты,  $Q < 0$

# Энтальпия

Изохорный процесс ( $V = \text{const}$ )

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

Изобарный процесс ( $p = \text{const}$ )

$$\begin{aligned} Q_p &= U_2 - U_1 + p(V_2 - V_1) = (U_2 + pV_2) - (U_1 + pV_1) \equiv \\ &\equiv H_2 - H_1 = \Delta H \end{aligned}$$

Энтальпия ("полная энергия")  $H \equiv U + pV$

Имеет смысл только ее изменение  $\Delta H = \Delta U + p\Delta V$

**Энтальпия – функция состояния !**

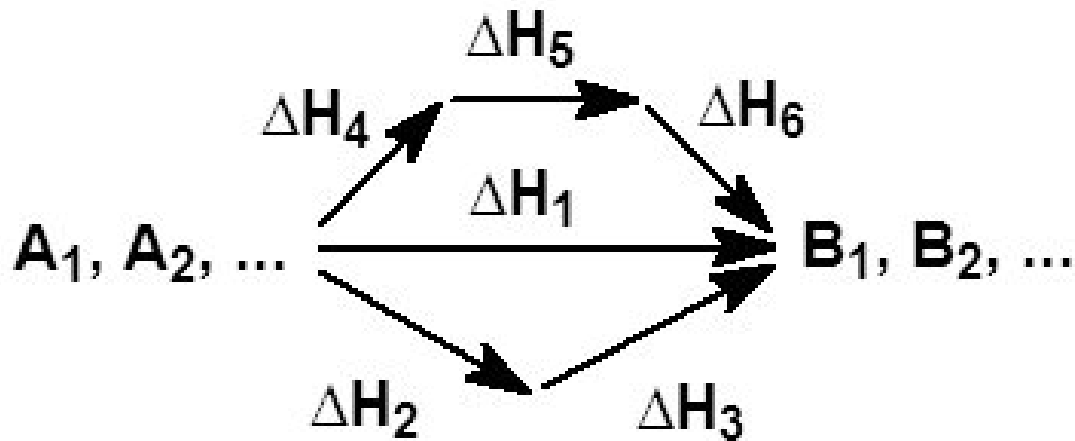
**Экзотермические** реакции:  $Q > 0, \Delta H < 0$

**Эндотермические** реакции:  $Q < 0, \Delta H > 0$



# Закон Гесса

Тепловой эффект химических реакций зависит только от вида и состояния **исходных веществ** и **конечных продуктов**, но не зависит от пути перехода.



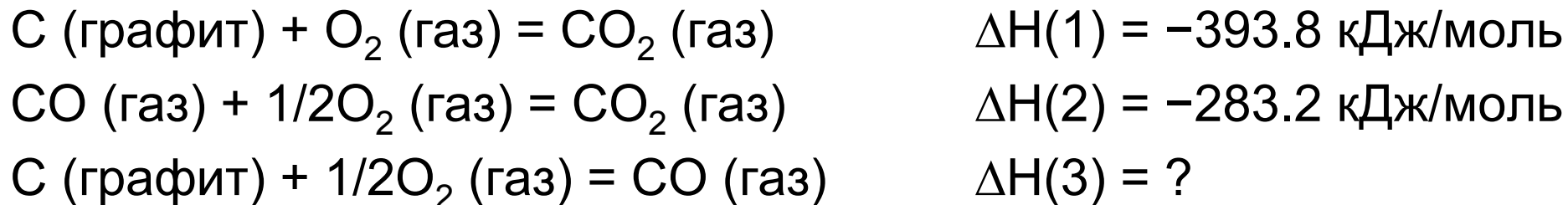
Г.И. Гесс (1802–1850)

Закон Гесса - следствие  
1го закона термодинамики

# Закон Гесса

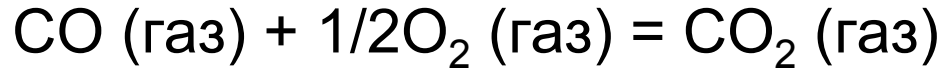
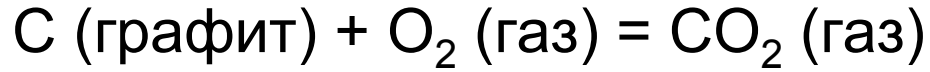
## Следствие:

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



$$\Delta H(3) = \Delta H(1) - \Delta H(2) = -110.6 \text{ кДж/моль}$$

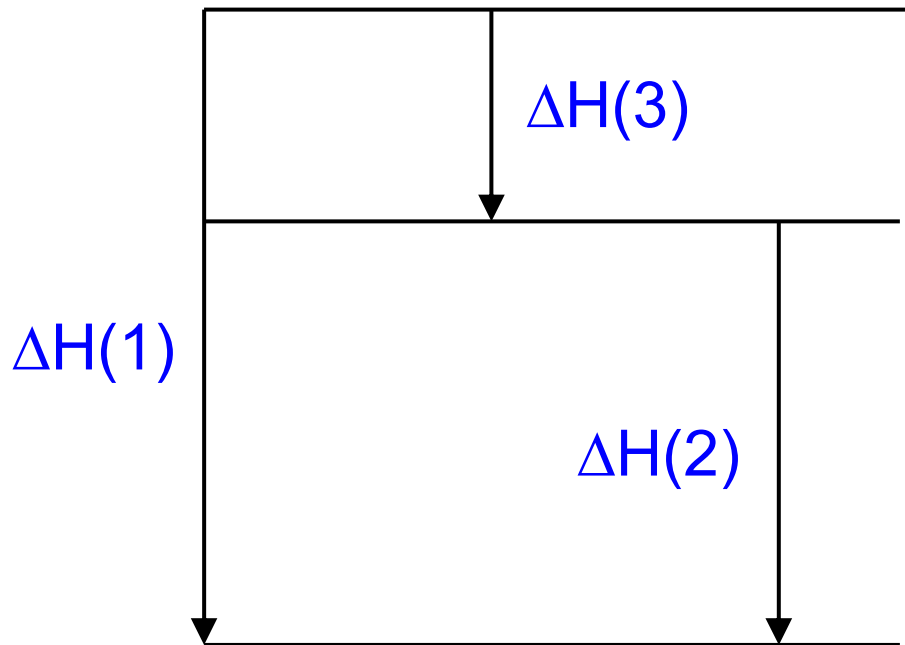
# Энтальпийная диаграмма



$$\Delta H(1) = -393.8 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta H(2) = -283.2 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta H(3) = -110.6 \text{ кДж/моль}$$



Энтальпийная  
диаграмма

# Стандартные условия

Стандартные условия - вещества в стандартных состояниях

~~$\Delta H^0$  - "дельта аш нулевое"~~

$\Delta H^0_T$  - "дельта аш стандартное при T (K)"



Стандартные условия:

устойчивая модификация (ж,тв)

гипотетич. состояние ид. газа (газы)

1 атм. = 101325 Па

любая температура (обычно 298.15K)

Не путать с нормальными условиями:

1 атм. = 101325 Па

25 °C = 298.15 K

# Стандартная энтальпия образования

Энтальпия реакции образования 1 моль соединения из простых веществ в стандартном состоянии называется **стандартной энтальпией образования  $\Delta H_f^0$**

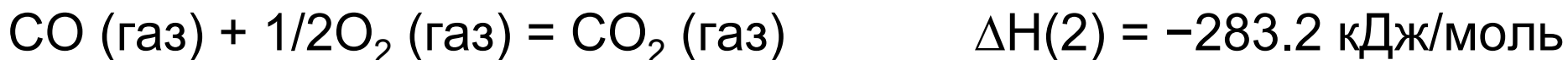
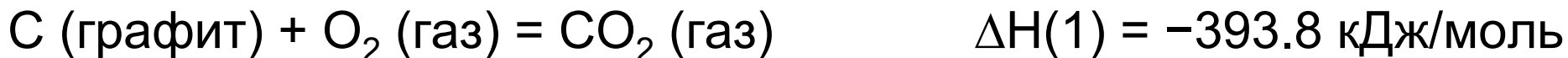


По определению: стандартная энтальпия состояния простого вещества в обычном состоянии равна нулю

$$\Delta H_f^0 (\text{Fe, тв}) = 0, \text{ но}$$

$$\Delta H_f^0 (\text{Fe, газ}) = 416.3 \text{ кДж/моль}$$

# Стандартная энтальпия образования



$$\Delta H(1) \equiv \Delta H_f^0 (\text{CO}_2, \text{газ}) = -393.8 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta H(3) \equiv \Delta H_f^0 (\text{CO, газ}) = -110.6 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta H^0(2) = \Delta H_f^0 (\text{CO}_2, \text{газ}) - \Delta H_f^0 (\text{CO, газ})$$

- ✓ Тепловой эффект реакции равен разности между суммой теплот образования всех продуктов реакции и суммой теплот образования всех реагентов, взятых с соответствующими стехиометрическими коэффициентами (следствие закона Гесса)

# Теплоемкость

$\Delta U$  и  $\Delta H$  изменяются с температурой.

Свойство вещества, определяющее его способность нагреваться, называется **теплоемкостью**

**Теплоемкость** – это количество теплоты, необходимое для нагревание одной части вещества на 1 К.

$$c_p = \Delta H / \Delta T \quad (p = \text{const}) \quad c_v = \Delta U / \Delta T \quad (V = \text{const})$$

кДж/моль/К – **молярная** теплоемкость

кДж/кг/К – **удельная** теплоемкость

кДж/м<sup>3</sup>/К – **объемная** теплоемкость

# Резюме

1. Система есть часть мира, в которой описываются рассматриваемые процессы.
2. Свойства системы и функции состояния системы не зависят от пути перехода системы из одного состояния в другое и не зависят от времени процесса.
3. Первый закон термодинамики связывает энергию системы с теплотой и работой.
4. Абсолютное значение энергии системы неизвестно, имеет смысл изменение энергии в ходе процесса.
5. Энтальпия – концептуальная функция состояния, соответствующая полной энергии системы.
6. Изменение энтальпии может быть рассчитано с использованием закона Гесса и применением табулированных стандартных величин



# Резюме

1. Система есть часть мира, в которой описываются рассматриваемые процессы.

**Электронная версия лекций по неорганической химии находится на сайте химического факультета по адресу**  
**<http://www.chem.msu.ru/rus/weldept.html>**

**Сайт кафедры неорганической химии**  
**[http://www.inorg.chem.msu.ru/index\\_r.php](http://www.inorg.chem.msu.ru/index_r.php)**