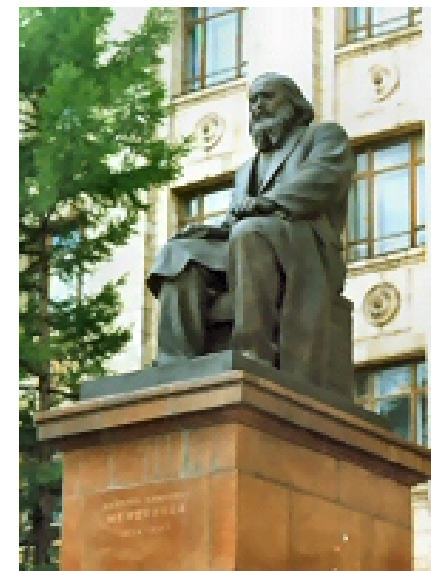


H 1 1.00794 Водород Hydrogen																	He 2 4.0026 Гелий Helium										
Li 3 6.941 Литий Lithium	Be 4 9.0122 Бериллий Beryllium																	B 5 10.811 Бор Boron	C 6 12.0107 Углерод Carbon	N 7 14.0067 Азот Nitrogen	O 8 15.9994 Кислород Oxygen	F 9 18.9984 Фтор Fluorine	Ne 10 20.1797 Неон Neon				
Na 11 22.9898 Натрий Sodium	Mg 12 24.305 Магний Magnesium																	Al 13 26.9815 Алюминий Aluminium	Si 14 28.0855 Кремний Silicon	P 15 30.9738 Фосфор Phosphorus	S 16 32.066 Сера Sulfur	Cl 17 35.453 Хлор Chlorine	Ar 18 39.948 Аргон Argon				
K 19 39.0983 Калий Potassium	Ca 20 40.078 Кальций Calcium	Sc 21 44.9559 Скандий Scandium	Ti 22 47.887 Титан Titanium	V 23 50.9415 Ванадий Vanadium	Cr 24 51.9961 Хром Chromium	Mn 25 54.938 Марганец Manganese	Fe 26 55.845 Железо Iron	Co 27 58.9332 Никель Nickel	Ni 28 58.9334 Никель Nickel	Cu 29 63.546 Медь Copper	Zn 30 65.38 Цинк Zinc	Ga 31 69.723 Галлий Gallium	Ge 32 72.63 Германий Germanium	As 33 74.9216 Мышьяк Arsenic	Se 34 78.96 Селен Selenium	Br 35 79.904 Бром Bromine	Kr 36 83.796 Криптон Krypton										
Rb 37 85.4678 Рубидий Rubidium	Sr 38 87.62 Стронций Strontium	Y 39 88.9059 Иттрий Yttrium	Zr 40 91.224 Цирконий Zirconium	Nb 41 92.9064 Нобелий Niobium	Mo 42 95.96 Молибден Molybdenum	Tc 43 97.907 Технеций Technetium	Ru 44 101.07 Рутений Ruthenium	Rh 45 102.9055 Родий Rhodium	Pd 46 106.42 Палладий Palladium	Ag 47 107.8682 Серебро Silver	Cd 48 112.411 Кадмий Cadmium	In 49 114.818 Индий Indium	Sn 50 118.71 Олово Tin	Sb 51 121.76 Сурьма Antimony	Te 52 127.6 Теллур Tellurium	I 53 126.9045 Йод Iodine	Xe 54 131.29 Ксенон Xenon										
Cs 55 132.905 Цезий Cesium	Ba 56 137.327 Барий Barium	La 57 138.905 Лантан Lanthanum	Hf 72 178.49 Гафний Hafnium	Ta 73 180.9479 Тантал Tantalum	W 74 183.84 Вольфрам Tungsten	Re 75 186.207 Рений Rhenium	Os 76 190.23 Осний Osmium	Ir 77 192.222 Иридий Iridium	Pt 78 195.084 Платина Platinum	Au 79 196.9665 Золото Gold	Hg 80 200.59 Ртуть Mercury	Tl 81 204.3833 Таллий Thallium	Pb 82 207.2 Свинец Lead	Bi 83 208.9804 Висмут Bismuth	Po 84 209 Полоний Polonium	At 85 210 Астат Astatine	Rn 86 222 Радон Radon										
Fr 87 223 Франций Francium	Ra 88 226.0254 Радий Radium	Ac 89 227.0278 Актиний Actinium	Rf 104 261 Рендерфордий Rutherfordium	Db 105 262 Дубний Dubnium	Sg 106 263 Сибирский Seaborgium	Bh 107 264 Берковский Bohrium	Hs 108 265 Хасков Hassium	Mt 109 266 Мейтнерий Meitnerium	Ds 110 267 Дальковский Darmstadtium	Rg 111 268 Рентгеновский Roentgenium	Cn 112 269 Коперниковский Copernicium	Nh 113 270 Нихоний Nihonium	Fl 114 271 Флеровский Flerovium	Mc 115 272 Московский Moscovium	Lv 116 273 Ливенбергский Livermorium	Ts 117 274 Теннессиус Tennessine	Og 118 277 Оганессон Oganesson										
Ce 58 140.118 Церий Cerium	Pr 59 140.9077 Прометий Praseodymium	Nd 60 144.24 Неодим Neodymium	Pm 61 145 Прометий Promethium	Sm 62 150.36 Самарий Samarium	Eu 63 151.964 Европий Europium	Gd 64 157.25 Гадолиний Gadolinium	Tb 65 158.9253 Тербий Terbium	Dy 66 162.5 Диurioбий Dysprosium	Ho 67 164.9303 Гольмий Holmium	Er 68 167.26 Эрбий Erbium	Tm 69 168.9342 Тулий Thulium	Yb 70 173.045 Иттербий Ytterbium	Lu 71 174.967 Лютеций Lutetium	Th 90 232.0381 Торий Thorium	Pa 91 231.0369 Протактиний Protactinium	U 92 238.0289 Уран Uranium	Np 93 237.0482 Нептуний Neptunium	Pu 94 244 Плутоний Plutonium	Am 95 243 Америций Americium	Cm 96 247 Кюрий Curium	Bk 97 247 Берковский Berkelium	Cf 98 251 Калيفорний Californium	Es 99 252 Эйнштейний Einsteinium	Fm 100 257 Фермий Fermium	Md 101 258 Менделеевский Mendelevium	No 102 259 Нобелий Nobelium	Lr 103 260 Лоренцский Lawrencium



# Неорганическая химия

*1й курс*

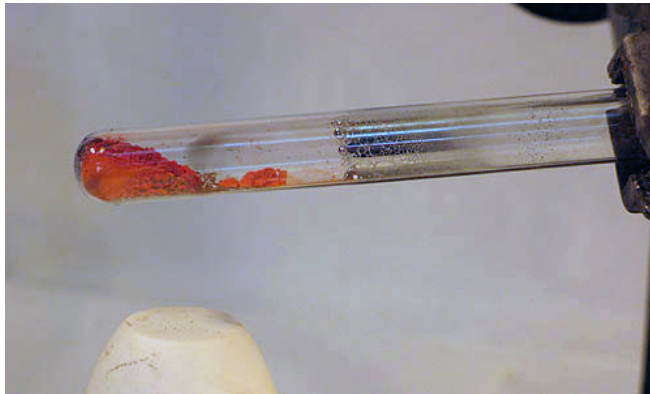
2018–2019

**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



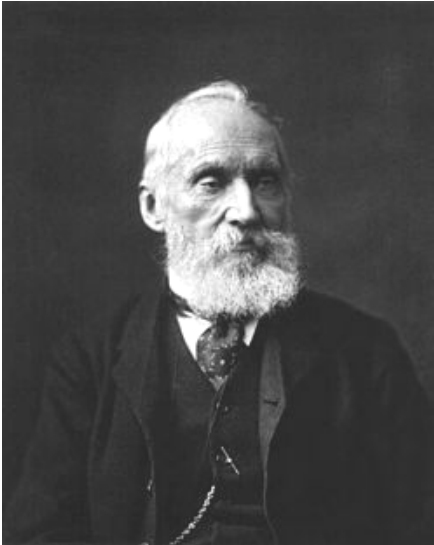
термодинамика

Как происходит реакция



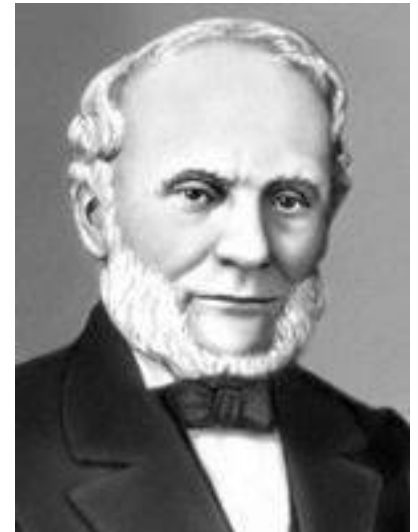
кинетика

# 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

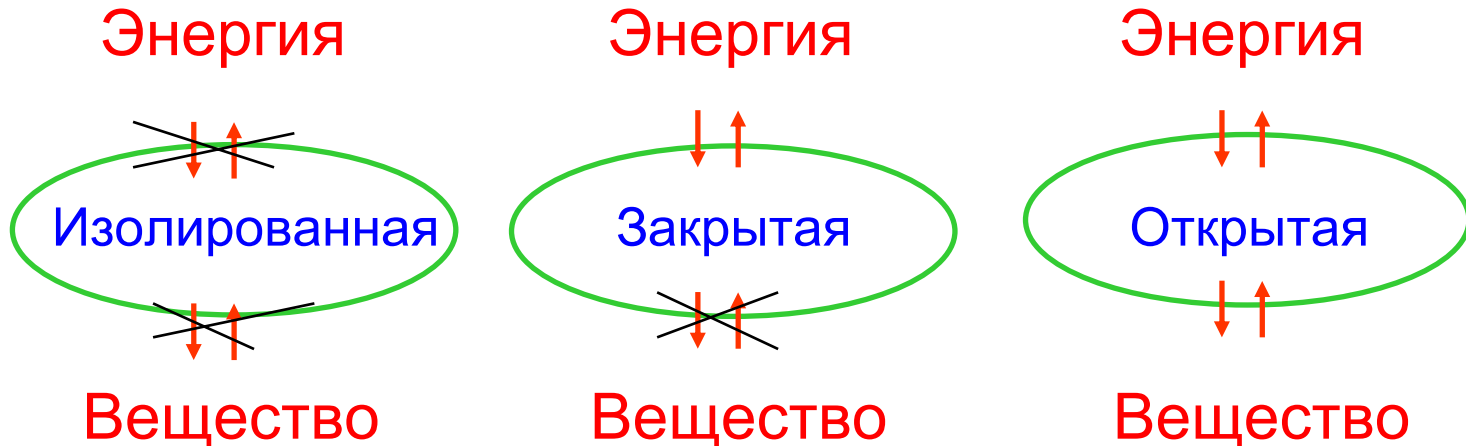
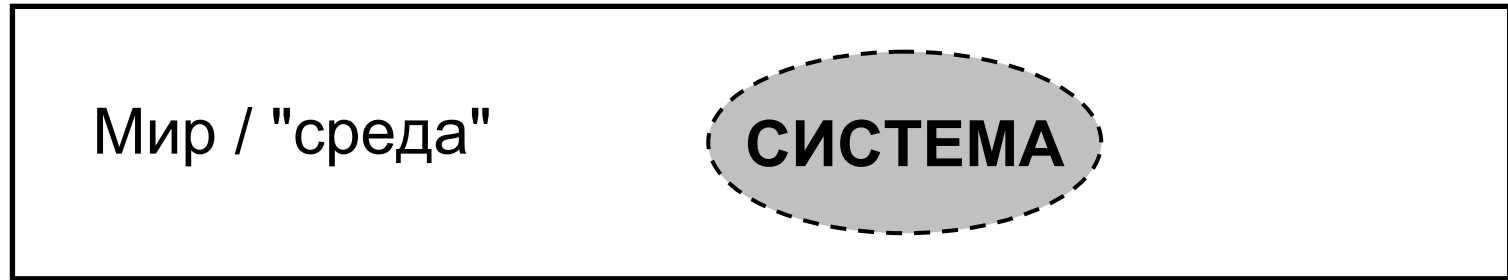


Г.Ф. Воронин: «Химическая термодинамика это наука о зависимости направления и пределов превращений веществ от условий, в которых эти вещества находятся»

**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

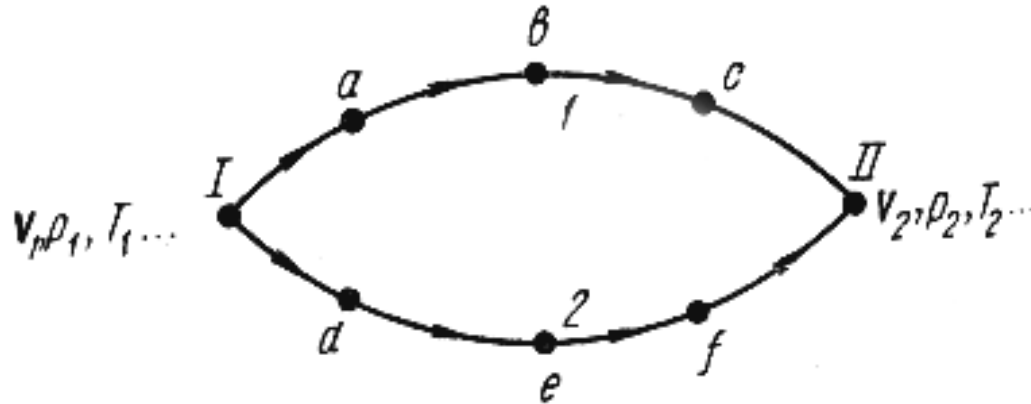
- ◆ Система характеризуется присущими ей **свойствами**

**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)

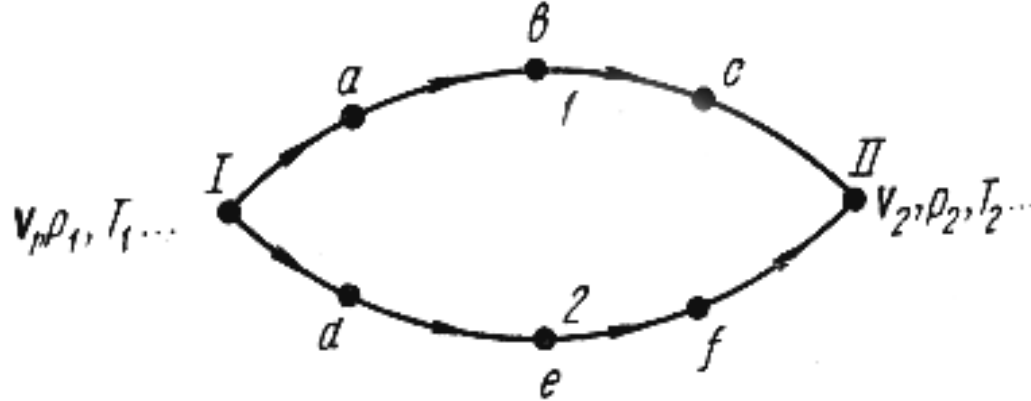
# Свойства системы



- ✓ 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



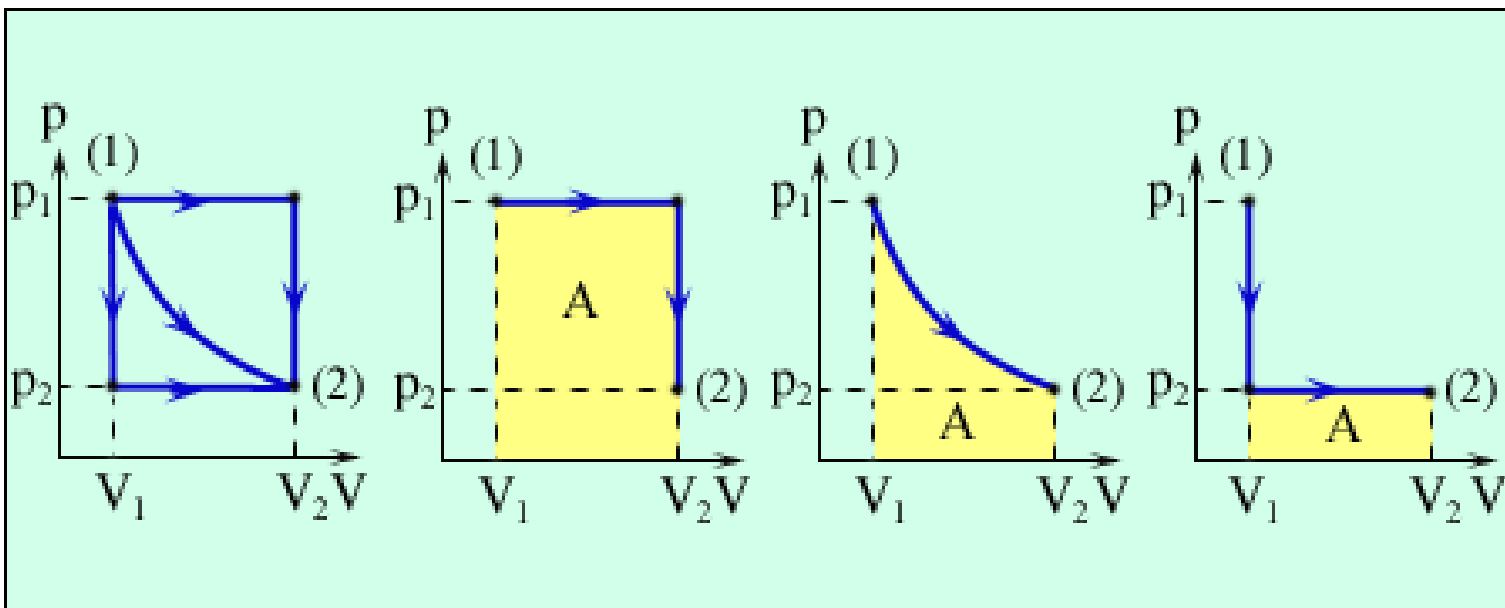
Функция параметров, определяющих равновесное состояние термодинамической системы, независящая от особенностей процесса достижения равновесия, называется **функцией состояния**

**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.  $A = p\Delta V$



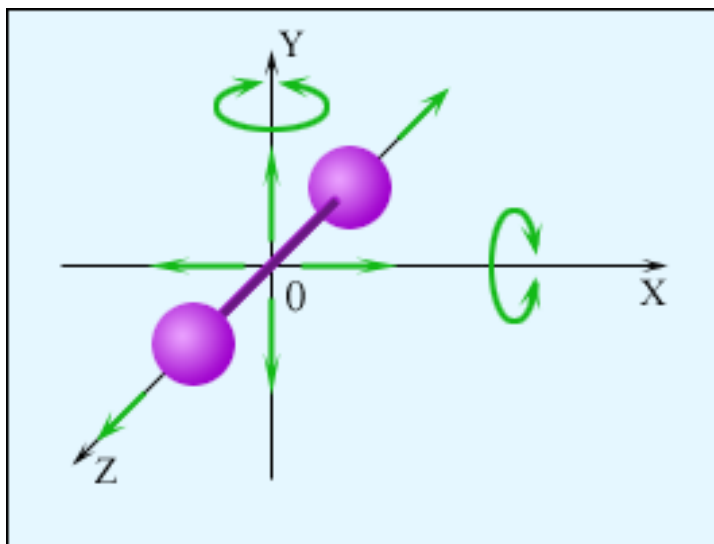
Работа не является свойством системы

# 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 !**



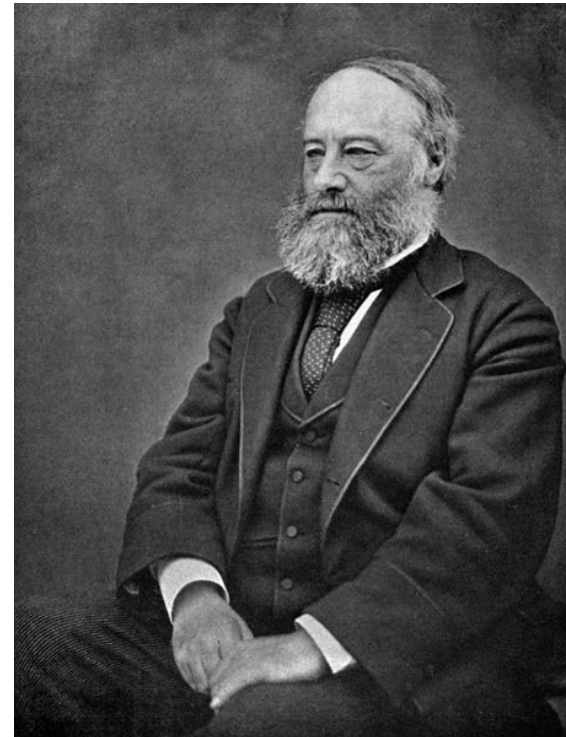
Абсолютное значение внутренней энергии нельзя ни измерить, ни рассчитать, можно установить ее изменение  $\Delta U$

# 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 !**

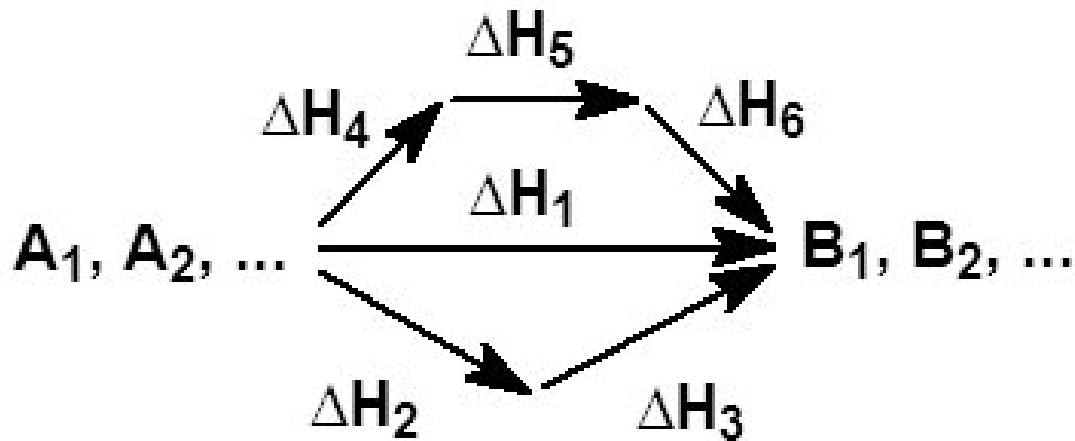
**Экзотермические** реакции:  $Q > 0, \Delta H < 0$

**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.



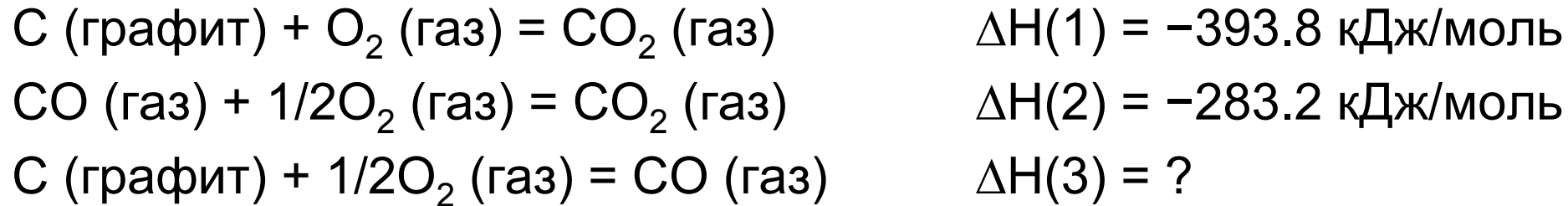
Г.И. Гесс (1802–1850)

Закон Гесса – следствие  
1-го закона термодинамики

# Закон Гесса

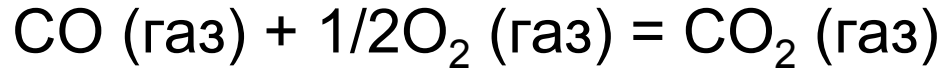
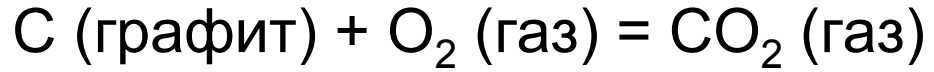
## Следствие:

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



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

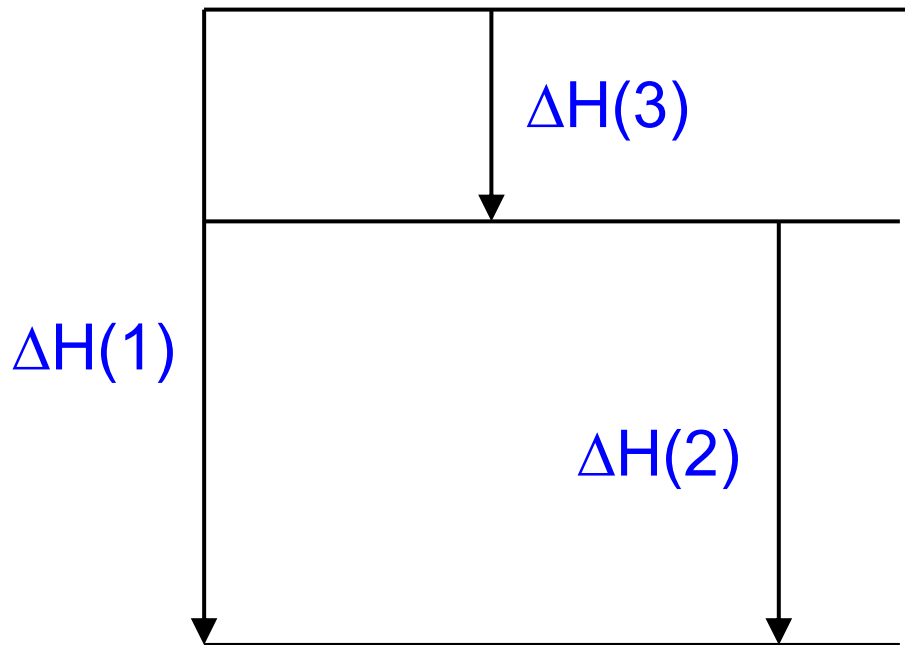
# Энтальпийная диаграмма



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

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

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



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  $\Delta H_f^0$**

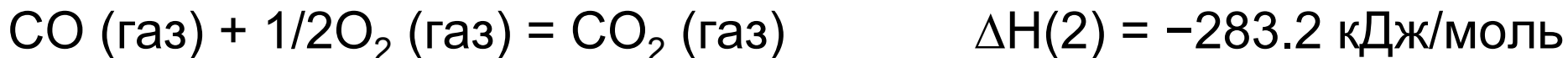
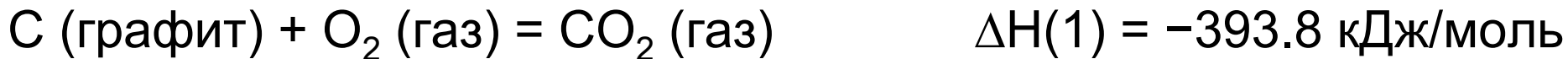


По определению: стандартная энтальпия состояния простого вещества в обычном состоянии равна нулю

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

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

# 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)**