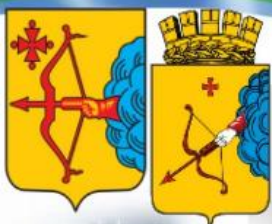


16.04.2020 9:30:05

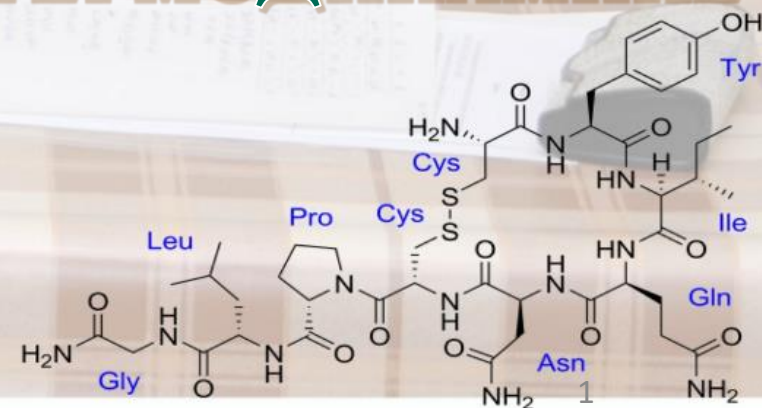


ЗАДАЧИ ПО ХИМИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКЕ

Лямин Алексей Николаевич,

доцент, кандидат педагогических наук,
Почётный работник образования РФ
КОГОАУ ДПО «ИРО Кировской области», г. Киров

<https://lyaminlyaminchemis.wixsite.com/scientists-site-ru>

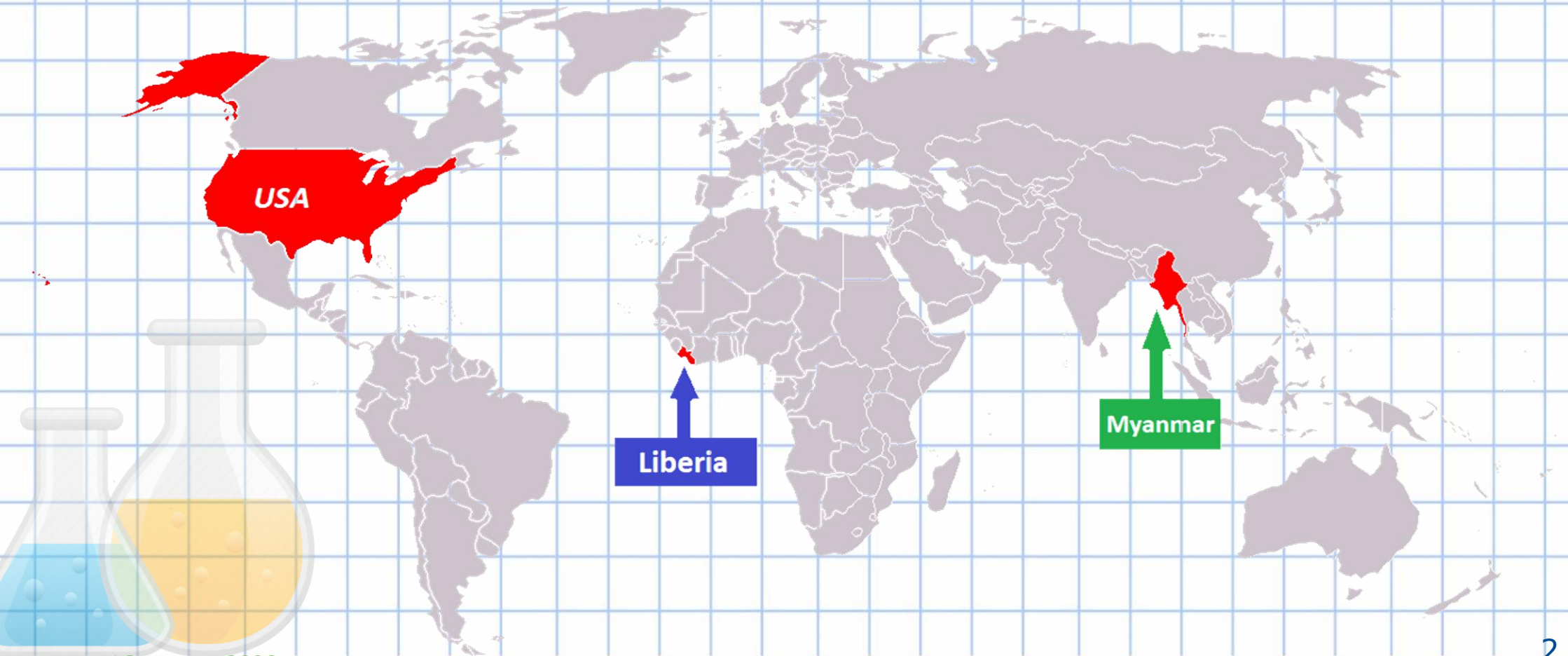


СИСТЕМА ЕДИНИЦ СИ



в 1960 г. XI Генеральной конференцией по мерам и весам на основе метрической системы была разработана и принята Международная система единиц СИ;

СИ SI, фр. *Le Système International d'Unités*, Система Интернациональная — Международная система единиц физических величин, современный вариант метрической системы;



АТОМНАЯ ЕДИНИЦА МАССЫ



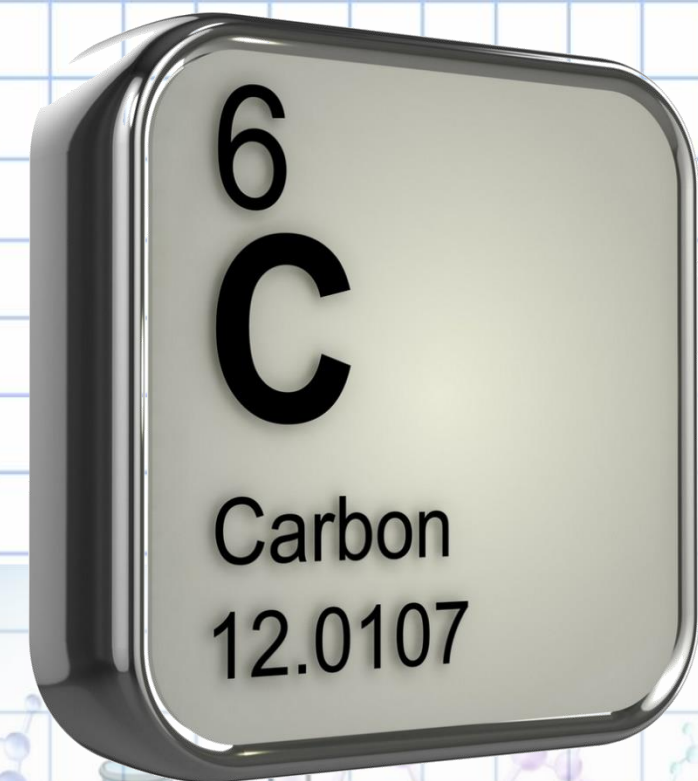
а.е.м., она же **дальт́он**, **Da** — внесистемная единица массы равная $1/12$ массы нуклида углерода-12, находящегося в основном состоянии;

масса ^{12}C составляет $1,9927 \times 10^{-26}$ кг; 1 а.е.м., **1 Da** на 2006 г. принимает числовое значение рекомендованное Комитетом по данным для науки и техники $1,660538782(83) \times 10^{-27}$ кг;

относительная молекулярная или атомная масса, M_r , A_r — безразмерная величина, равная отношению массы реальной молекулы или конкретного атома, выраженной в а.е.м. или в **Da**, к атомной единице массы, следовательно, для химического элемента относительная атомная масса элемента численно равна молярной массе элемента; тогда для химических соединений молярная масса численно равна относительной молекулярной массе соединения:

$$M(\text{H}) = 1 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}; m(\text{H}) = 1,674 \times 10^{-27} \text{ кг}; m(\text{H}) = 1 \text{ Da}; A_r(\text{H}) = 1;$$

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}; m(\text{H}_2\text{O}) = 2,9915 \times 10^{-26} \text{ кг}; m(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ Da}; M_r(\text{H}_2\text{O}) = 18$$



ПРОИЗВОДНЫЕ И ВНЕСИСТЕМНЫЕ ЕДИНИЦЫ



Величина	Обозначение	Размерность	Единицы измерения	
			обозначение	выражение
площадь	S	L^2	m^2	m^2
объём	V	L^3	m^3	m^3
скорость	v	LT^{-1}	m/c	$m \cdot c^{-1}$
ускорение	a	LT^{-2}	m/c^2	$m \cdot c^{-2}$
плотность	ρ	ML^{-3}	$кг/м^3$	$кг \cdot м^{-3}$
импульс	p	MLT^{-1}	$кг \cdot м/с$	$кг \cdot м \cdot c^{-1}$
сила	F	LMT^{-2}	$Н$	$кг \cdot м \cdot c^{-2}$
давление	p	$L^{-1}MT^{-2}$	$Па$	$Н \cdot м^{-2}$
мощность	P	L^2MT^{-3}	$Вт$	$Дж \cdot c^{-1}$
энергия	E	L^2MT^{-2}	$Дж$	$Н \cdot м$
теплоёмкость	C	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$	$Дж/К$	$Дж \cdot K^{-1}$
концентрация	C_B	$L^{-3}N$	$М$	$моль \cdot м^{-3}$

ПРОИЗВОДНЫЕ И ВНЕСИСТЕМНЫЕ ЕДИНИЦЫ

Величина	Обозначение	Размерность	Единицы измерения	
			обозначение	выражение
поверхностное натяжение	σ	MT^{-2}	Н/м	$\text{Н} \cdot \text{м}^{-1}$
электрический заряд	q	TI	Кл	$\text{с} \cdot \text{А}$
электрический потенциал	φ	$\text{L}^2\text{MT}^{-3}\text{I}^{-1}$	В	$\text{Дж} \cdot \text{Кл}^{-1}$
радиоактивность	A	T^{-1}	Бк	$1/\text{с}$
эффективная доза излучения	D_e	L^2T^{-2}	Зв	$\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$
масса	m	M	а.е.м., Da	$1,66 \times 10^{-27} \text{ кг}$
объём	V	L^3	л	$1 \times 10^{-3} \text{ м}^3$
давление	p	$\text{L}^{-1}\text{MT}^{-2}$	бар	$1 \times 10^5 \text{ Па}$
энергия	E	L^2MT^{-2}	эВ	$1,6 \times 10^{-19} \text{ Дж}$

КРАТНЫЕ ПРИСТАВКИ

Приставка			Обозначение		Пример
Кратность	русская	международная	русское	международное	
10¹	дека	deca	да	da	дал — декалитр
10²	гекто	hecto	г	h	гПа — гектопаскаль
10³	кило	kilo	к	k	кН — килоньютон
10⁶	мега	mega	М	M	МПа — мегапаскаль
10⁹	гига	giga	Г	G	ГГц — гигагерц
10¹²	тера	tera	Т	T	ТВ — теравольт
10¹⁵	пета	peta	П	P	Пфлоп — петафлоп
10¹⁸	экса	exa	Э	E	ЭБ — эксабайт
10²¹	зетта	zetta	З	Z	ЗэВ — зеттаэлектронвольт
10²⁴	йотта	yotta	И	Y	ИБ — йоттабайт

16 апреля 2020 г.

6

ДОЛЬНЫЕ ПРИСТАВКИ

Дольность	Приставка		Обозначение		Пример
	русская	международная	русское	международное	
10^{-1}	деци	deci	Д	d	дм — дециметр
10^{-2}	санти	centi	с	c	см — сантиметр
10^{-3}	милли	milli	м	m	мН — миллиньютон
10^{-6}	микро	micro	мк	μ, u	мкм — микрометр, микрон
10^{-9}	нано	nano	н	n	нм — нанометр
10^{-12}	пико	pico	п	p	пФ — пикофарад
10^{-15}	фемто	femto	ф	f	фс — фемтосекунда
10^{-18}	атто	atto	а	a	ас — аттосекунда
10^{-21}	зепто	zepto	з	z	зКл — зептокулон
10^{-24}	йокто	yocto	и	y	иг — йоктограмм



ПРАВИЛА ОБОЗНАЧЕНИЙ ЕДИНИЦ

- ✓ обозначения единиц печатают прямым шрифтом, точку как знак сокращения после обозначения не ставят;
- ✓ наименования единиц, образованных от фамилий, не в начале предложения пишется со строчной буквы, а их обозначения всегда пишутся с заглавной буквы, в т.ч. с приставками СИ: **ампер – А, мегапаскаль – МПа, килоньютон – кН**;
- ✓ обозначения помещают за числовыми значениями величин через пробел, перенос на другую строку не допускается; исключения составляют обозначения в виде надстрочного знака, перед ними пробел не ставится: **10 м; 15°; 100° С**;
- ✓ если числовое значение представляет собой дробь с косой чертой, его заключают в скобки: **(1/10) моль**;
- ✓ обозначения единиц, входящие в произведение, отделяют точками на средней линии: **Н·м, Па·с**, не допустимо для этой цели использовать символ «X»;
- ✓ в качестве знака деления в обозначениях можно использовать только одну горизонтальную или косую черту; при применении косой черты произведение единиц в знаменателе заключают в скобки; **правильно: Вт/(м·К)**, неправильно: Вт/м/К; Вт/м·К;
- ✓ не допустимо комбинировать обозначения и наименования единиц; **правильно: км/ч**; неправильно: км/час;

ПРАВИЛА ОБОЗНАЧЕНИЙ ЕДИНИЦ

- ✓ допускается сочетание специальных знаков с буквенными обозначениями: ° s^{-1} градус в секунду;
- ✓ допускается применять произведение обозначений единиц, возведённых в положительные и отрицательные степени: $A \cdot m^2$, $Вт \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$; не допустимо при использовании отрицательных степеней использовать черту: $Вт \cdot m^{-2}/K$;
- ✓ при указании значений величин с предельными отклонениями их заключают в скобки или проставляют обозначение единицы за числовым значением величины и за её предельным отклонением: $(100,0 \pm 0,1)$ кг; $50 \text{ г} \pm 1 \text{ г}$;
- ✓ обозначения производных единиц, не имеющих специальных наименований, должны содержать минимальное число обозначений единиц СИ со специальными наименованиями и основных единиц с возможно более низкими показателями степени; правильно: $кг \cdot m^{-3}$, неправильно: $Па \cdot кг \cdot Дж^{-1}$; правильно: $кг \cdot моль^{-1}$, неправильно: $Дж \cdot с^2 \cdot m^{-2} \cdot моль^{-1}$;
- ✓ допускается обозначение единиц в пояснениях обозначений величин к формулам; не допустимо помещать обозначения единиц в одной строке с формулами, выражающими зависимости между числовыми значениями и величинами, в буквенной форме:
правильно: $M = 10^{-3} m/n$, где M – молярная масса, $кг \cdot моль^{-1}$; m – масса г; n – количество вещества моль;
неправильно: $M (кг \cdot моль^{-1}) = 10^{-3} m(г)/n(моль)$, где M – молярная масса, m – масса, г; n – количество вещества моль;

ПРАВИЛА ОБОЗНАЧЕНИЙ ЕДИНИЦ



- ✓ приставки следует писать слитно с наименованием единицы или, соответственно, с её обозначением;
- ✓ использование двух или более приставок подряд не разрешается: микромиллифарад;
- ✓ обозначения кратных и дольных единиц исходной единицы, возведённой в степень, образуют добавлением соответствующего показателя степени к обозначению кратной или дольной единицы исходной единицы, причём показатель означает возведение в степень кратной или дольной единицы вместе с приставкой: $1 \text{ км}^2 = (10^3 \text{ м})^2 = 10^6 \text{ м}^2$, а не 10^3 м^2 ; наименования таких единиц образуют, присоединяя приставку к наименованию исходной единицы: квадратный километр, а не килоквадратный метр;
- ✓ использовать приставки следует в соответствии со степенной формой представления чисел: $5320 \text{ м} = 5,32 \times 10^3 \text{ м} = 5,32 \text{ км}$;
- ✓ приставку выбирают таким образом, чтобы число, стоящее перед приставкой, находилось в диапазоне от 0,1 до 1000.



1. По каналам СМИ был передан необычный прогноз погоды:

- температура воздуха — семьдесят семь градусов по Фаренгейту;
- атмосферное давление — один бар;
- влажность воздуха — шестьдесят восемь сотых;
- направление ветра — норд-ост;
- средняя температура воды в мировом океане — двести семьдесят восемь целых пятнадцать сотых градусов Кельвина;
- скорость ветра — полтора миллиона дюймов в час;
- суточное количество осадков — два умноженное на десять в седьмой степени нанометров;
- среднесуточная потребность человека в энергии — сто девятнадцать целых шесть десятых килоджоулей на один килограмм веса.

Как, по-вашему, должен был бы звучать данный прогноз сегодня?



МАТЕМАТИКА

$$y' = (x^2 e^{3-2x} \cdot \log_2 x)' = (x^2 e^{3-2x})' \cdot \log_2 x + x^2 e^{3-2x} \cdot (\log_2 x)' =$$

$$= ((x^2)' e^{3-2x} + x^2 (e^{3-2x})') \cdot \log_2 x + x^2 e^{3-2x} \cdot \frac{1}{x \ln 2} =$$

$$= (2x e^{3-2x} - 2x^2 e^{3-2x}) \cdot \log_2 x + \frac{x e^{3-2x}}{\ln 2}$$

$$y = \log_a x$$

$$1. D(y) = (0; +\infty)$$

$$2. E(y) = \mathbb{R}$$

$$3. \emptyset.$$

$$a > 1$$



ПРИБЛИЖЁННЫЕ ЧИСЛА



приближённые числа принято записывать в стандартной форме:

$$x \times 10^n$$

где: x – десятичное число с плавающей запятой, содержащее столько же разрядов, сколько значащих цифр у приближённого числа; n – целое число, называемое порядком числа;

значащими цифрами числа являются все цифры от первой слева отличные от нуля в его десятичном представлении, при этом цифры нули множителя 10^n , стоящие впереди не учитываются; цифры нули, стоящие в середине или в конце числа, являются значащими цифрами, т.к. обозначают отсутствие единиц в соответствующем разряде:

плотность кислорода $0,00143 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3} = 1,43 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$;

скорость света в вакууме $299792458 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1} \approx 3 \times 10^8 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$;

ПРАВИЛА ОКРУГЛЕНИЯ ЧИСЕЛ



1. Если первая из отбрасываемых цифр меньше чем «5», то цифра предыдущего разряда не изменяется.
2. Если первая из отбрасываемых цифр больше чем «5», то цифра предыдущего разряда увеличивается на единицу.
3. Если отбрасываются несколько цифр и первая из отбрасываемых цифр «5», то цифра предыдущего разряда увеличивается на единицу.
4. Если отбрасывается только одна цифра «5», а за ней нет цифр, то округление производится до ближайшего чётного числа, т. е. остаётся неизменной, если она чётная, и увеличивается на единицу, если нечётная.

$6,527 \approx 6,5$; $2,195 \approx 2,2$; $0,950 \approx 1,0$; $0,850 \approx 0,8$; $0,456 \approx 0,5$; $1,45 \approx 1,4$

ПРАВИЛА ЗАПИСИ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫЧИСЛЕНИЙ

погрешности измерения должны содержать не более двух значащих цифр:
если первая значащая цифра «1», «2», «3», то в приближённом значении оставляем две значащие цифры; если первая значащая цифра «4», «5», «6», «7», «8», «9», то в приближённом значении оставляем одну значащую цифру:

Пример	Пояснение
$0,154 \approx 0,15$; $1,967 \approx 2,0$ $144,1 \approx 1,4 \times 10^2$	первая значащая цифра «1», следовательно, при округлении оставляем две значащие цифры
$0,394 \approx 0,39$; $3,94 \approx 3,9$ $0,397 \approx 0,4$; $3,97 \approx 4$	первая значащая цифра «3», следовательно, оставляем две значащие цифры; но при округлении цифра «3» превращается в цифру «4», поэтому оставляем только одну значащую цифру
$0,917 \approx 0,9$; $9,17 \approx 9$ $0,0977 \approx 0,10$; $0,956 \approx 1,0$ $956 \approx 1,0 \times 10^3$	первая значащая цифра «9», следовательно, оставляем одну значащую цифру, но если при округлении цифра «9» превращается в цифру «10», т.е. первая значащая цифра «1», значит оставляем две значащие цифры
$43,234 \pm 0,0417 \approx 43,23 \pm 0,04$ $32,3754 \pm 0,0917 \approx 32,38 \pm 0,09$	в погрешности оставляем одну значащую цифру, младший разряд — сотые, значит, в приближённом значении младший разряд — сотые

ПРАВИЛА ЗАПИСИ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫЧИСЛЕНИЙ



при сложении и вычитании приближённых чисел, в записи которых все цифры верные, результат округляется до последнего знака наименее точного из параметров, например, при вычислении значения $1,000 \text{ г} + 1,3 \text{ г} + 0,275 \text{ г}$ результат округляется до десятых грамма, т.е. до $2,6 \text{ г}$;

при умножении и делении приближённых чисел следует сохранить столько значащих цифр, сколько имеет приближенное число, данное с наименьшим числом верных значащих цифр, например, если масса газа равна $2,5 \text{ г}$, а занимаемый газом объём составляет $1,938 \text{ л}$, то при вычислении плотности газа результат должен быть округлён до $1,3 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$, т.к. одно из чисел известно с точностью до двух значащих цифр;

при возведении в степень приближённого числа следует сохранить в результате столько значащих цифр, сколько верных значащих цифр содержит исходное число, например, $(3,4 \times 10^2)^3 \text{ г} = 39304000 \text{ г} \approx 3,9 \times 10^7 \text{ г}$; т.к. в исходном числе две значащие цифры; также точно $(2,354 \times 10^3)^{1/2} \text{ г} = 48,518037 \text{ г} \approx 48,52 \text{ г}$

ПРАВИЛА ЗАПИСИ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫЧИСЛЕНИЙ



погрешность измерительного инструмента равна половине цены деления его шкалы, погрешность табличной величины равна половине следующего разряда за последней значащей цифрой; если $\rho = 2,7 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$, то $\rho = (2,70 \pm 0,05) \times 10^3 \text{ кг/м}^3$;

если абсолютная погрешность приближенного числа не превышает единицы последнего разряда, то все значащие цифры приближенного числа называются верными, например, $\rho(\text{Hg}) = 13,5955 \text{ г/см}^3 \approx 13,60 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$; все цифры числа 13,60 верные, т.к. абсолютная погрешность $13,60 - 13,5955 = 0,004$ меньше 0,01;

если же абсолютная погрешность приближённого числа больше единицы последнего разряда, то последняя цифра является неверной или неопределённой, например, если для объёма жидкости получена величина с точностью $140 \text{ мл} \pm 5 \text{ мл}$; цифра 0 в числе 140 не является верной, т.к. абсолютная погрешность больше единицы последнего разряда;

не старайтесь выписывать в ответе много цифр, большая часть из которых сомнительна, какова бы ни была точность калькулятора, он не может превратить неопределённые цифры в верные!

БЕСКОНЕЧНЫЕ ДРОБИ



при делении натуральных чисел может получиться бесконечная десятичная дробь, в которой цифры повторяются, начиная с некоторого разряда; такая дробь называется периодической: **0,222..., 5,333..., 9,8777...** ; последовательно повторяющаяся минимальная группа цифр после запятой в десятичной записи числа называется периодом:

$$0,222... = 0,(2); 5,333... = 5,(3); 9,8777... = 9,8(7);$$

записать периодическую дробь $0,(43)$ в виде обыкновенной дроби:
обозначим искомую дробь за x , т.е. $x = 0,(43)$; умножив это равенство на 100, получим: $100x = 43,(43)$; вычитая первое равенство из последнего, находим:
 $100x - x = 43,(43) - 0,(43); 99x = 43; x = 43/99;$

запишите периодическую дробь $2,3(45)$ в виде обыкновенной дроби



1. Решите пример:

$$a) \frac{12\frac{4}{5} \times 3\frac{3}{4} - 4\frac{4}{11} \times 4\frac{1}{8}}{11\frac{2}{3} \div \frac{7}{18}} = \quad ;$$

$$б) \frac{0,75 \times 1,8 \times 1,2 \div 0,07}{0,2 \div 0,49 \times 2,625} = \quad ;$$

2. В колбе находился 10 % раствор медного купороса; когда из сосуда использовали треть содержимого, а в оставшуюся часть добавили воды, то масса раствора в колбе составила 0,83333333 её начальной массы. Определите массовое процентное содержание сульфата меди(II) в конечном растворе.

ТЕРМОДИНАМИКА





ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ ЭНЕРГИИ

Единица	Эквивалент				
	Дж	эрг	межд. кал	эВ	л.с.·с
1 Дж	1	$1,0 \times 10^7$	0,238846	$6,24142 \times 10^{18}$	$1,359 \times 10^{-3}$
1 эрг	$1,0 \times 10^{-7}$	1	$2,38846 \times 10^{-8}$	$6,24142 \times 10^{11}$	$1,359 \times 10^{-10}$
1 межд. Дж	1,0002	$1,0002 \times 10^7$	0,23889367	$6,24267 \times 10^{18}$	$1,36 \times 10^{-3}$
1 кгс·м	9,80665	$9,80665 \times 10^7$	2,34227	$6,12074 \times 10^{19}$	$1,334 \times 10^{-2}$
1 Вт·ч	$3,6 \times 10^3$	$3,6 \times 10^{10}$	$8,5985 \times 10^2$	$2,24691 \times 10^{22}$	4,89463
1 л·атм	$1,013278 \times 10^2$	$1,013278 \times 10^9$	$2,42017 \times 10^1$	$6,32429 \times 10^{20}$	$1,377 \times 10^{-1}$
1 межд. кал (cal _{IT})	4,1868	$4,1868 \times 10^7$	1	$2,61316 \times 10^{19}$	$5,692 \times 10^{-3}$
1 терм. кал (кал _{ТХ})	4,18400	$4,18400 \times 10^7$	$9,99331 \times 10^{-1}$	$2,61141 \times 10^{19}$	$5,689 \times 10^{-3}$
1 электрон-вольт (эВ)	$1,6022 \times 10^{-19}$	$1,60219 \times 10^{-12}$	$3,82679 \times 10^{-20}$	1	$2,178 \times 10^{-22}$
1 л.с.·с	$7,355 \times 10^2$	$7,355 \times 10^9$	$1,75671 \times 10^2$	$4,59056 \times 10^{21}$	1

УРАВНЕНИЯ МКТ ГАЗОВ



Постоянная Авогadro	N_A	$6,0221415(10) \times 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Постоянная Больцмана	k	$1,3806505(24) \times 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1}$
Газовая постоянная	R	$8,314472(15) \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1} \quad R = kN_A$
Число степеней свободы частицы	f	одноатомный газ — 3; двухатомный газ — 5; трёхатомный газ и твёрдое вещество — 6
Средняя кинетическая энергия отдельной частицы идеального газа		$\bar{E}_k = \frac{m_0 \sqrt{\bar{v}^2}^2}{2}; \quad \bar{E}_k = \frac{fkT}{2}$
Наиболее вероятная скорость частиц идеального газа		$v_m = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$
Средняя арифметическая скорость частиц идеального газа		$\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}; \quad \bar{v} = 1,128 \cdot v_m$
Средняя квадратичная скорость частиц идеального газа		$\sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = 158 \cdot \sqrt{\frac{T}{M}}; \quad \sqrt{\bar{v}^2} = 1,225 \cdot v_m$
Средняя длина свободного пробега частиц идеального газа		$\bar{l} = \frac{RT}{d^2 p N_A \pi \sqrt{2}} \approx 10^{-7} \text{ м}$
Среднее число соударений частиц идеального газа		$\bar{z} = \frac{d^2 \bar{v} p N_A \pi \sqrt{2}}{RT} \approx 10^9 - 10^{10} \text{ с}^{-1}$
Давление частиц идеального газа		$p = \frac{m \bar{v}^2}{3V}$



ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

	изотермический	изобарический	изохорический	адиабатический
УСЛОВИЯ ПРОЦЕССА				
условия	$T = const$ $dT = 0$	$p = const$ $dp = 0$	$V = const$ $dV = 0$	$\delta Q = 0$
СВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ				
параметры	$pV = const$ $\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$	$\frac{V}{T} = const$	$\frac{p}{T} = const$	$pV^{\frac{c_p}{c_v}} = const$
ПОДВЕДЁННАЯ ТЕПЛОТА				
δQ	$\delta Q = \delta W$ $Q = W$	$\delta Q = C_p dT = dH$ $Q = C_p(T_2 - T_1)$	$\delta Q = C_v dT = dU$ $Q = C_v(T_2 - T_1)$	$\delta Q = 0$ $Q = 0$
ИЗМЕНЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ				
dU	$dU = 0$ $\Delta U = 0$	$dU = dH - \delta W$ $\Delta U = \Delta H - p\Delta V$	$dU = \delta Q$ $\Delta U = Q$	$dU = C_v dT = -\delta W$ $\Delta U = -p\Delta V$
СОВЕРШЁННАЯ РАБОТА				
T	—	$nR\Delta T$	$\delta W = 0$ $W = 0$	$\frac{nRT_1}{\gamma - 1} \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)$
p	$nRT \ln \frac{p_1}{p_2}$	—		$\frac{p_1 V_1}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right]$
V	$nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$	$p dV$ $p(V_2 - V_1)$		$\frac{p_1 V_1}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}\right]$



УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

внутренняя энергия порции газа равна сумме энергий всех частиц:

$$U = nN_A E_k = \frac{f}{2} nN_A kT = \frac{f}{2} nRT = \frac{f}{2} pV ;$$

работа при изобарическом процессе (p — const):

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV = p \int_{V_1}^{V_2} dV = p(V_2 - V_1) = p\Delta V = nR(T_2 - T_1) = nR\Delta T ;$$

работа при изотермическом процессе (T — const) через объём:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV = nRT \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{V} dV = nRT \ln \frac{V_2}{V_1} ;$$

работа при изотермическом процессе (T — const) через давление:

$$W = \int_{p_1}^{p_2} p dV = \int_{p_1}^{p_2} p d\left(\frac{nRT}{p}\right) = nRT \int_{p_1}^{p_2} p d\left(\frac{1}{p}\right) = nRT \int_{p_1}^{p_2} p \left(-\frac{dp}{p^2}\right) = -nRT \int_{p_1}^{p_2} \frac{p dp}{p^2} = nRT \ln \frac{p_1}{p_2}$$



УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

молярная теплоёмкость идеального газа при постоянном давлении (p — const):

$$C_{M;p} = \frac{\delta Q}{ndT} = \frac{dU + \delta W}{ndT} = \frac{1}{ndT} \left(\frac{fnRdT}{2} + nRdT \right) = R \left(\frac{f+2}{2} \right) ;$$

молярная теплоёмкость идеального газа при постоянном объёме (V — const):

$$C_{M;V} = \frac{\delta Q}{ndT} = \frac{dU + \delta W}{ndT} = \frac{1}{ndT} \left(\frac{fnRdT}{2} + 0 \right) = R \frac{f}{2} ;$$

$$C_{M;p} - C_{M;V} = R \left(\frac{f+2}{2} \right) - R \frac{f}{2} = R ;$$

теплота при изобарическом процессе (p — const):

$$\delta Q_p = dU + p dV; \int_1^2 \delta Q_p = \int_1^2 dU + \int_1^2 p dV ;$$

$$Q_p = U_2 - U_1 + pV_2 - pV_1; Q_p = (U_2 + pV_2) - (U_1 + pV_1)$$



УРАВНЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИКИ

закон Гесса ($p = \text{const}$):



$$\Delta_r H^\circ = \sum \Delta_f H^\circ(D) \cdot d; \Delta_f H^\circ(C) \cdot c - \sum \Delta_f H^\circ(B) \cdot b; \Delta_f H^\circ(A) \cdot a$$

энергия Гиббса ($p = \text{const}$):

$$\Delta_r G^\circ_T = \Delta_r H^\circ_T - T \Delta_r S^\circ_T ;$$

зависимость изменения энтальпии и изменения энтропии от температуры в изобарных условиях определяется уравнениями Кирхгофа; при допущении независимости теплоёмкости от температуры:

$$\Delta H^\circ_{T_2} = \Delta H^\circ_{T_1} + \int_{T_1}^{T_2} \Delta C^\circ_p dT ;$$

$$\Delta S^\circ_{T_2} = \Delta S^\circ_{T_1} + \int_{T_1}^{T_2} \frac{\Delta C^\circ_p}{T} dT ;$$

зависимость изменения энтропии и энергии Гиббса от объёма и от давления ($T = \text{const}$):

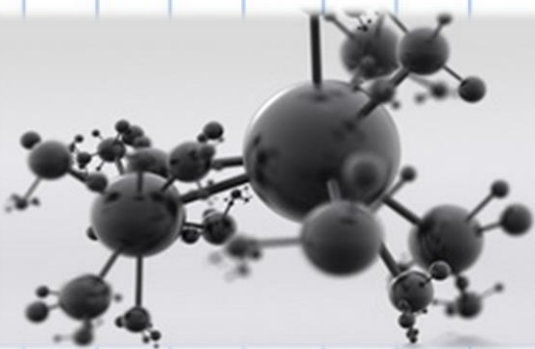
$$\Delta S^\circ_T = nR \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} ; \quad \Delta S^\circ_T = nR \cdot \ln \frac{p_1}{p_2} ;$$

$$\Delta G^\circ_T = -nRT \cdot \ln \frac{V_1}{V_2} ; \quad \Delta G^\circ_T = -nRT \cdot \ln \frac{p_2}{p_1} ;$$

3. *Определить стандартное изменение энтальпии образования метанамина при температуре 423°C , если стандартная изобарная теплоёмкость графита составляет $8,53 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$; водорода — $28,82 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$; азота — $29,13 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$; метанамина — $53,10 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$; а стандартная теплота образования метанамина равна $23,00 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$;*

4. *Определить изменение энтропии при нагревании $0,0112 \text{ м}^3$ азота от 0°C до 50°C , если давление в ходе нагревания уменьшается от 1 бар до 0,01 бар.*

5. Определить изменение энтропии образования 1 м³ смеси из азота и кислорода при температуре 298° С и стандартном давлении с содержанием газов как в воздухе.

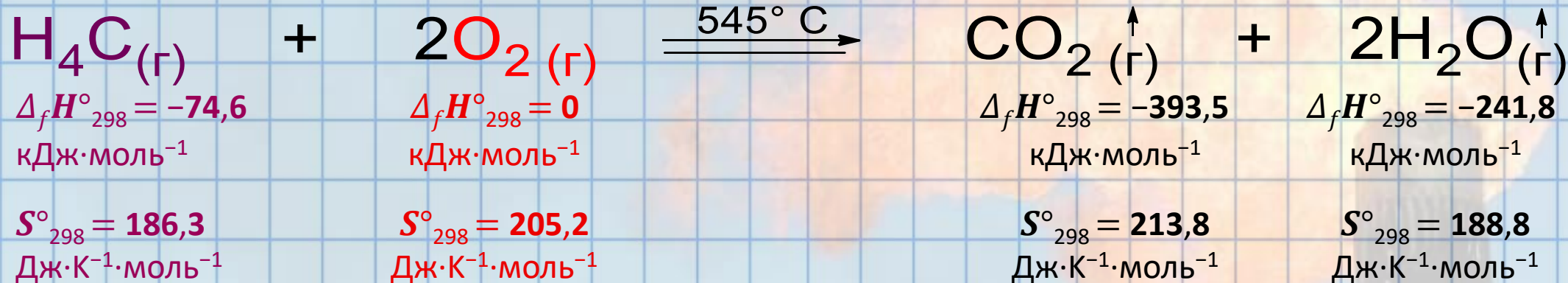


6. Определить изменение энтропии замерзания 1 кг воды при -5°C , если стандартная теплота плавления воды составляет $-6008\text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}$, а стандартная изобарная теплоёмкость жидкой воды и льда составляет: $75,3\text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ и $34,7\text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.



ТЕРМОДИНАМИКА РЕАКЦИИ

по закону Гесса:



$$\Delta_r H^\circ_{298} = -802,5 \text{ кДж·моль}^{-1}$$

$$\Delta_r S^\circ_{298} = -5,3 \text{ Дж·К}^{-1}\cdot\text{моль}^{-1}$$

$$\Delta_r G^\circ_{298} = -800,9 \text{ кДж·моль}^{-1}$$

при необратимом способе сжигания 1 моль метана в окружающую среду выделится 802,5 кДж энергии в тепловой форме; энтропия системы и окружающей среды при этом изменится на: $\Delta S = Q/T = 800,9/298,15 \approx 2686$ Дж/К; при полностью обратимом способе проведения процесса в каком либо аппарате при использовании 1 моль метана совершится 800,9 кДж полезной работы и выделится в форме тепла: $Q = T\Delta S = 5,3 \cdot 298,15 \approx 1580$ Дж; изменение энтропии системы и среды при этом равно нулю

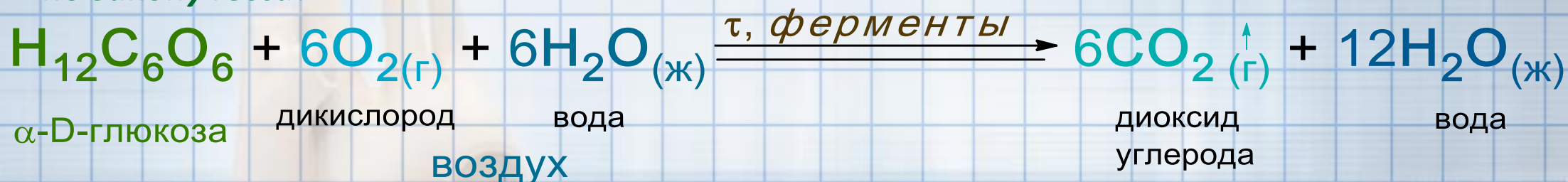
7. Определить изменение свободной энергии Гиббса полного сгорания угарного газа при температуре 773° С и давлении 3 бар, если:

	$\Delta_f H^\circ$ (кДж·моль ⁻¹)	S° (Дж·моль ⁻¹ ·К ⁻¹)	C_p° (Дж·моль ⁻¹ ·К ⁻¹)
CO _(г)	-110,5	197,6	29,14
O _{2 (г)}	0	205,0	29,40
CO _{2 (г)}	-393,5	213,7	34,57





по закону Гесса:



$$\Delta_f H^\circ_{298} = -1273,30 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$$

$$\Delta_f H^\circ_{298} = 0 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$$

$$\Delta_f H^\circ_{298} = -285,83 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$$

$$\Delta_f H^\circ_{298} = -393,51 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$$

$$\Delta_f H^\circ_{298} = -285,83 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$$

$$S^\circ_{298} = 209,50 \text{ Дж}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{моль}^{-1}$$

$$S^\circ_{298} = 205,15 \text{ Дж}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{моль}^{-1}$$

$$S^\circ_{298} = 69,94 \text{ Дж}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{моль}^{-1}$$

$$S^\circ_{298} = 213,79 \text{ Дж}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{моль}^{-1}$$

$$S^\circ_{298} = 69,94 \text{ Дж}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{моль}^{-1}$$

$$\Delta_r H^\circ_{298} = -2802,66 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$$

$$\Delta_r S^\circ_{298} = 261,98 \text{ Дж}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{моль}^{-1}$$

$$\Delta_r G^\circ_{310} = -2883,91 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$$

8. В таблице приведены стандартные энтальпии образования соединений при 298 К и энергии связи в молекулах этих соединений:

соединение	$\Delta_f H^\circ$, кДж·моль ⁻¹	$E_{\text{связи}}$, кДж·моль ⁻¹
$\text{ClF}_{(\text{г})}$	-50,3	248,9
$\text{BrF}_{(\text{г})}$	-58,5	249,4
$\text{BrCl}_{(\text{г})}$	14,6	215,9

1. Определите по приведённым данным энергии связи в молекулах фтора, хлора и брома;
2. $\Delta_f H^\circ(\text{ClF}_{3(\text{г})}) = -158,9$ кДж·моль⁻¹. Рассчитайте энергию связи Cl—F в этой молекуле и объясните, почему она отличается от энергии связи между этими элементами в бинарной молекуле;
3. Длины связей в молекулах ClF, BrF, BrCl равны 0,162 нм, 0,176 нм, 0,214 нм соответственно. Определите ковалентные радиусы атомов фтора, хлора и брома. Определите длину связи в молекуле дихлора;



9. *Теплотой сгорания вещества $\Delta_c H$, в состав которого входят С, Н, N и О, называется тепловой эффект реакции горения 1 моль этого вещества в избытке кислорода до $\text{CO}_2(\text{г})$, $\text{H}_2\text{O}(\text{ж})$ и $\text{N}_2(\text{г})$, приведённых к начальным условиям эксперимента.*

Даны стандартные теплоты сгорания аммиака и мочевины:

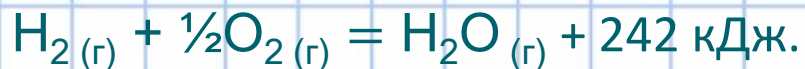
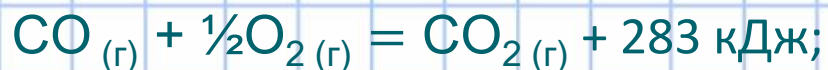
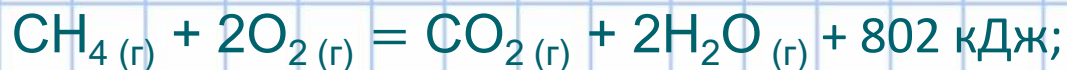
$$\Delta_c H^\circ(\text{H}_3\text{N}) = 382,5 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1} \text{ и } \Delta_c H^\circ((\text{H}_2\text{N})_2\text{CO}) = 631,9 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1} :$$

1. Запишите термохимические уравнения, тепловые эффекты которых равны соответственно теплотам сгорания мочевины и аммиака;
2. Исходя из уравнений, полученных в п. 1, определите тепловой эффект реакции образования мочевины из аммиака и углекислого газа в расчёте на 1 моль аммиака;
3. Вычислите значение стандартной теплоты образования мочевины, если теплоты сгорания водорода и графита равны, соответственно, **285,2** кДж·моль⁻¹ и **393,5** кДж·моль⁻¹;
4. Вычислите тепловой эффект полного гидролиза мочевины



10. *Наибольшее количество водорода получают в промышленности каталитической конверсией природного газа с перегретым водяным паром на никелевом катализаторе в интервале температур от 700° С до 1050° С. Исходная стехиометрическая смесь метана и паров воды имеет плотность, равную плотности аммиака, а объём в результате реакции при постоянных давлении и температуре увеличивается вдвое. Вся теплота, необходимая для осуществления этого процесса, обеспечивается за счёт другой реакции — полного сгорания метана.*

1. Определите состав стехиометрической смеси и напишите уравнение реакции получения водорода из неё.
2. Рассчитайте тепловой эффект данной реакции, если известны следующие данные:



3. Сколько всего кубометров метана необходимо для получения 1 м³ водорода с помощью описанных в условии реакций?
4. Для отделения водорода от второго продукта реакции, к смеси продуктов добавляют избыток водяного пара, при этом образуется водород и газ, который можно поглотить избытком щёлочи. Напишите уравнение этой реакции и рассчитайте её тепловой эффект

ПРИРОДНЫЙ ГАЗ



ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ





уравнение Клапейрона-Клаузиуса:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\Delta_{\text{ф.п.}} S_T}{\Delta_{\text{ф.п.}} V};$$

$$T_2 = \frac{T_1 \cdot \Delta_{\text{пл}} S^\circ_{T_1} + \left(\frac{(p_2 - p_1)}{\rho_{\text{ж}}} - \frac{(p_2 - p_1)}{\rho_{\text{тв}}} \right)}{\Delta_{\text{пл}} S^\circ_{T_1}} ;$$

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\Delta_{\text{ф.п.}} H_T}{T \Delta_{\text{ф.п.}} V}; \quad T_2 = \frac{T_1 \cdot \Delta_{\text{пл}} H^\circ_{T_1} + \left(\frac{T_1 \cdot (p_2 - p_1)}{\rho_{\text{ж}}} - \frac{T_1 \cdot (p_2 - p_1)}{\rho_{\text{тв}}} \right)}{\Delta_{\text{пл}} H^\circ_{T_1}} ;$$

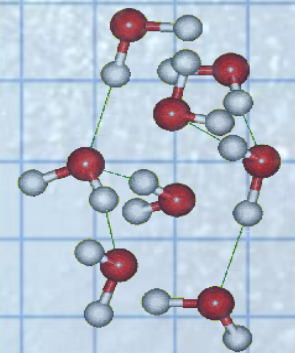
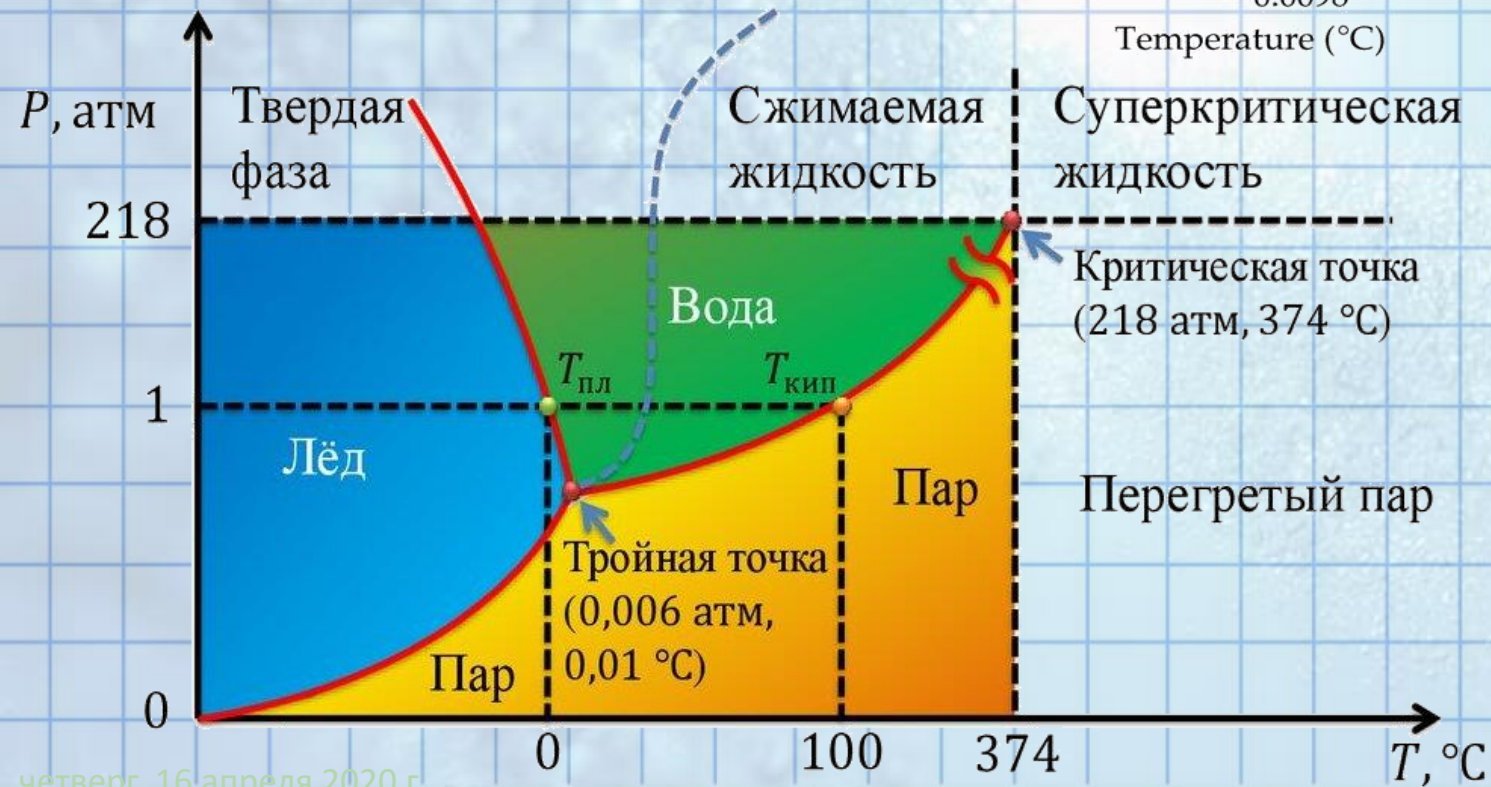
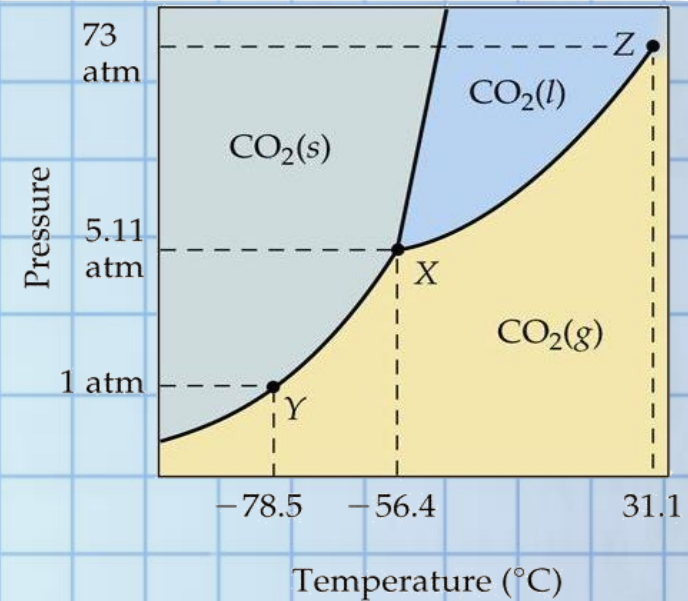
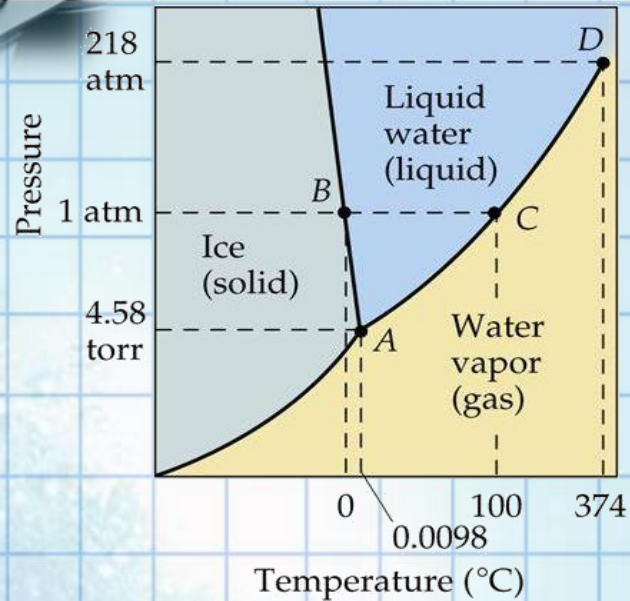
$$\frac{d \ln p}{dT} = \frac{\Delta_{\text{исп}} S^\circ_{T_1}}{RT}; \quad \ln \frac{p_2}{p_1} = \frac{\Delta_{\text{исп}} S^\circ_{T_1}}{RT} (T_2 - T_1); \quad T_2 = \frac{RT_1 \ln K_p}{\Delta_{\text{исп}} S^\circ_{T_1}} + T_1 ;$$

$$\frac{\Delta_{\text{исп}} H^\circ}{RT^2}; \quad \ln \frac{p_2}{p_1} = \frac{\Delta_{\text{исп}} H^\circ_{T_1}}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right); \quad T_2 = \frac{T_1 \cdot \Delta_{\text{исп}} H^\circ_{T_1}}{\Delta_{\text{исп}} H^\circ_{T_1} - RT_1 \ln K_p}; \quad T_2 = \frac{\Delta_{\text{исп}} H^\circ_{T_1}}{\Delta_{\text{исп}} S^\circ_{T_1} - R \cdot \ln K_p};$$

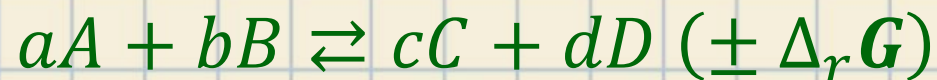
уравнение Кирхгофа:

$$\Delta_{\text{ф.п.}} H^\circ_{T_2} = \Delta_{\text{ф.п.}} H^\circ_{298} + \Delta C^\circ_p (T_2 - 298); \quad \Delta_{\text{ф.п.}} S^\circ_{T_2} = \Delta_{\text{ф.п.}} S^\circ_{298} + \Delta C^\circ_p (\ln T_2 - \ln 298);$$

ФАЗОВАЯ ДИАГРАММА



УРАВНЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ



$$K_\chi = \frac{\chi(C)^c \cdot \chi(D)^d}{\chi(A)^a \cdot \chi(B)^b}; \quad K_p = \frac{p(C)^c \cdot p(D)^d}{p(A)^a \cdot p(B)^b}; \quad K_c = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b};$$

$$p(A) = C(A) \cdot RT = \chi(A) \cdot p_{\text{общ}}; \quad K_p = K_c \cdot (RT)^{\Delta n_{\text{газ}}} = K_\chi \cdot p_{\text{общ}}^{\Delta n_{\text{газ}}};$$

изменение изобарно-изотермического потенциала:

$$\Delta G_{T,p} = \Delta H - T\Delta S + RT \ln \frac{p_2}{p_1};$$

при $\Delta G_{T,p} = 0$; изменение стандартного изобарно-изотермического потенциала:

$$\Delta G^\circ_T = -RT \ln K_p; \quad \ln K_p = -\frac{\Delta G^\circ_T}{RT}; \quad K_p = e^{-\frac{\Delta G^\circ_T}{RT}};$$

при парциальных давлениях вещества, отличающихся от давления $p = 1$ бар:

$$\Delta G_{T,p} = \Delta G^\circ_T + RT \ln \frac{p_2}{p_1}; \quad \Delta G_{T,p} = RT \ln \frac{p_2}{p_1} - RT \ln K_p;$$

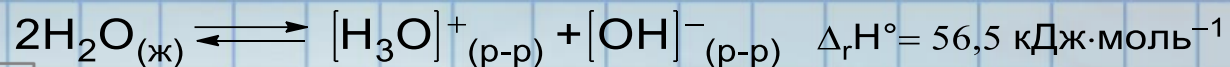
изотерма Вант-Гоффа, $T = \text{const}$:

$$\Delta G_T = RT \left(\ln \frac{p_2}{p_1} - \ln K_p \right); \quad \Delta G_T = RT \ln \left(\frac{p_2/p_1}{K_p} \right);$$

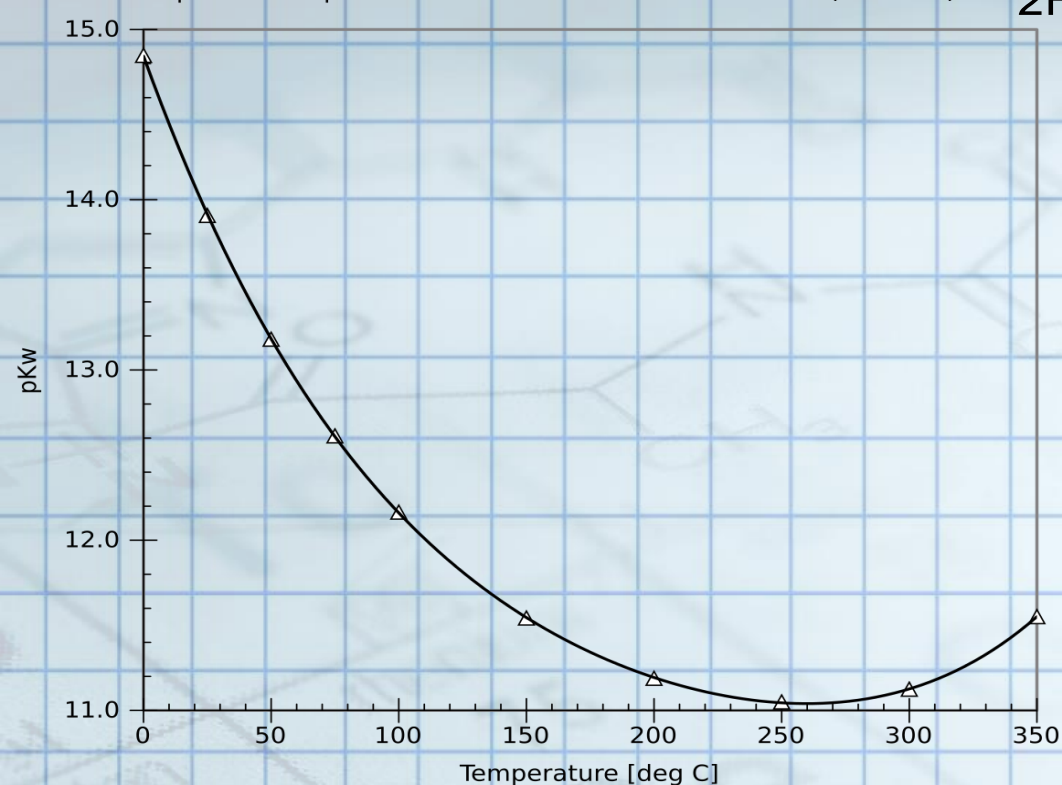
изобара Вант-Гоффа, $p = \text{const}$:

$$\Delta H^\circ_T = R \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{K_2}{K_1}; \quad \ln \frac{K_2}{K_1} = -\frac{\Delta H^\circ_T}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right);$$

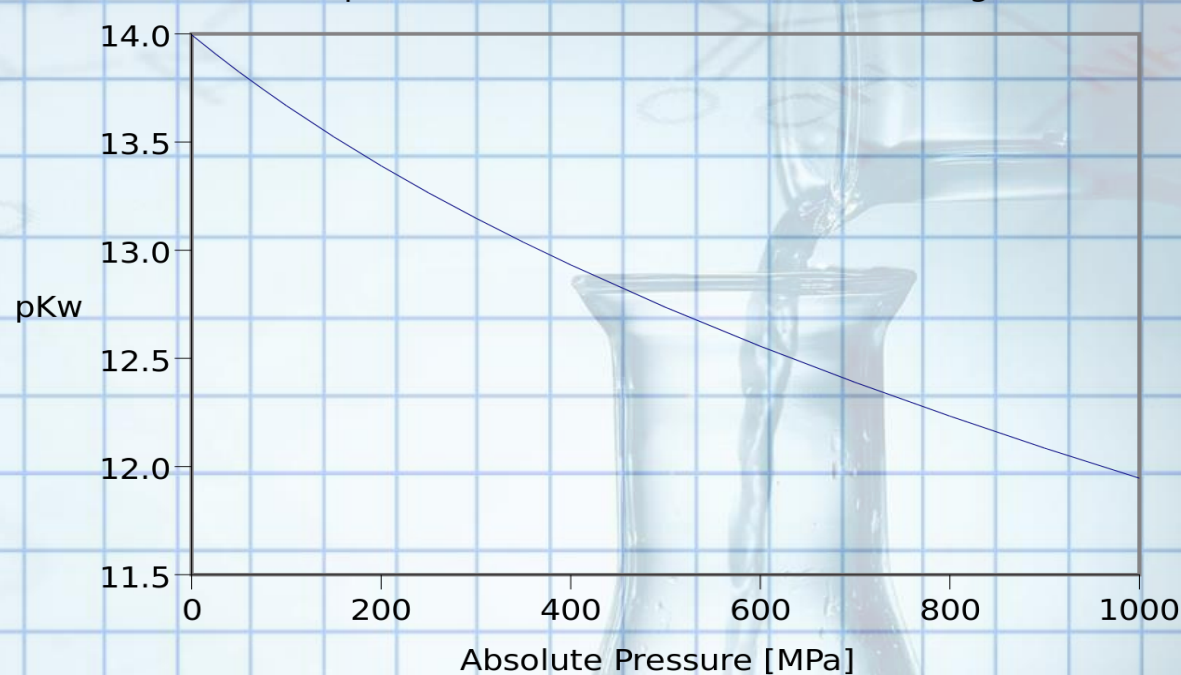
ДИССОЦИАЦИЯ ВОДЫ



Temperature dependence of water ionization at 25 MPa (absolute)



Pressure dependence of water ionization at 25 deg C



$T, ^\circ\text{C}$	$K_{W,T} \times 10^{14}$	$\Delta_r G^\circ_T, \text{кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$	$\Delta_r H^\circ_T, \text{кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$	$\Delta_r S^\circ_T, \text{кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$
0	0,1154	78,1	61,8	-0,0596
10	0,2970	78,7	59,4	-0,0683
25	1,008	79,9	56,3	-0,0770
50	5,312	82,1	50,8	-0,0970
90	37,11	86,4	43,9	-0,1171

11. Боливийский город Ла-Пас является самой "высокой" столицей в мире, т.к. город расположен на высоте 3600 метров над уровнем моря, оцените температуру кипения воды в Ла-Пасе при 20° С если:

$$\Delta_f H^\circ_{298}(\text{H}_2\text{O}_{(ж)}) = -285,8 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}; \Delta_f H^\circ_{298}(\text{H}_2\text{O}_{(г)}) = -241,8 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1};$$

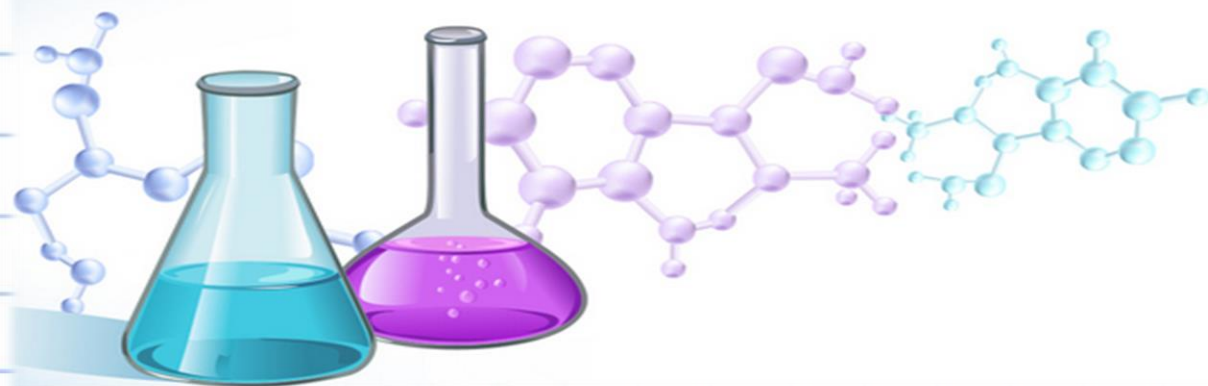
$$S^\circ_{298}(\text{H}_2\text{O}_{(ж)}) = 70,0 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}; S^\circ_{298}(\text{H}_2\text{O}_{(г)}) = 188,8 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{K}^{-1};$$

$$C_{p,298}(\text{H}_2\text{O}_{(ж)}) = 75,3 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}; C_{p,298}(\text{H}_2\text{O}_{(г)}) = 33,6 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{K}^{-1};$$



ДИССОЦИАЦИЯ В ВОДЕ

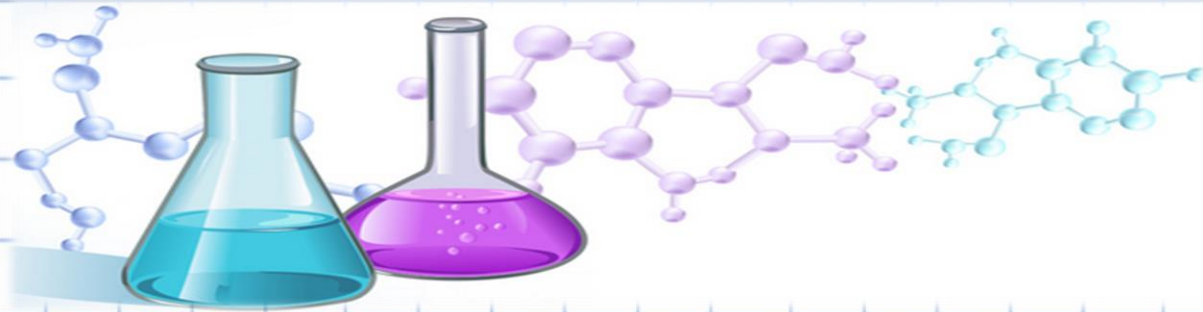
12. Определите степень диссоциации раствора аммиака с концентрацией $1,5 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$ если $K_B(\text{H}_3\text{N} \cdot \text{H}_2\text{O}) = 1,8 \times 10^{-5} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$.



13. Определите, возможна ли кислая или щелочная среда водного раствора при $\text{pH} = 7$.



14. В газовой смеси 1,2 моль водорода и 0,7 моль иода при 800°С установилось химическое равновесие и выделилось 8,4 кДж теплоты; рассчитайте константу равновесия при этой температуре, если $\text{H}_{2(\text{г})} + \text{I}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons 2\text{HI}_{(\text{г})} + 15 \text{ кДж}$;



15. В кварцевый сосуд объёмом 1 л поместили 5 г кристаллического хлорида аммония. Из сосуда откачали воздух и запаяли. При нагревании сосуда до 160° С давление пара в сосуде составило 0,00132 бар, а увеличение температуры до 320° С ведёт к росту давления пара в сосуде до 0,95245 бар.

1. Рассчитайте константы равновесия процесса при 160° С и при 320° С;
2. Рассчитайте термодинамические величины $\Delta_r G^\circ$, $\Delta_r H^\circ$ и $\Delta_r S^\circ$ для реакции разложения хлорида аммония при 160° С. При расчётах примите, что $\Delta_r H^\circ$ и $\Delta_r S^\circ$ не зависят от температуры и пар ведёт себя как идеальный газ;
3. Как изменится давление пара в сосуде при данных температурах, если в сосуд изначально поместили 0,1 г нашатыря?

РАЗЛОЖЕНИЕ



16. Сосуд объёмом 4,00 л, содержащий 4,60 г N_2O_4 , нагрели до 310 К; после достижения равновесия давление в сосуде оказалось равно 0,445 атм; считая газы идеальными, рассчитайте константу равновесия K_p , выраженную через парциальные давления участников реакции, при 310 К для реакции: $\text{N}_2\text{O}_{4(g)} \xrightleftharpoons{T} 2\text{NO}_{2(g)}$



17. При крекинге газообразного при нормальных условиях насыщенного углеводорода X с целью получения газа Y образуется нежелательная в этом процессе смесь изомеров Z_1 и Z_2 (иногда её называют MAPD по названиям её составляющих). Такую же смесь также можно получить при растворении бинарного вещества A , содержащего в своём составе магний, в соляной кислоте. Из 1 г вещества A можно получить 267 мл н.у. смеси. В присутствии других катализаторов также наблюдается равновесие в смеси Z_1 и Z_2 . Выделили два состава смеси при 5°C и 270°C , и определили массы осадков, образующихся при пропускании 100 мл н.у. каждой смеси через избыток раствора $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$: при 5°C масса осадка составила 0,5978 г; при 270°C масса осадка составила 0,5376 г; непрореагировавший газ — Z_2 .

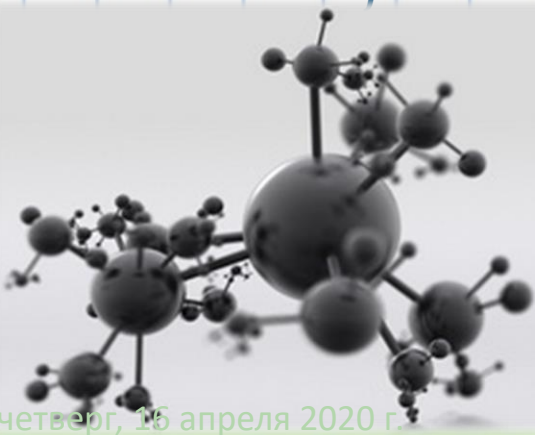
1. Изобразите структурные формулы веществ X , Y , Z_1 и Z_2 (все они изологичны, т. е. содержат одинаковое число атомов углерода). Напишите формулу вещества A . Ответ обоснуйте.
2. Рассчитайте константы равновесия в смеси MAPD при 5°C и 270°C .
3. Не производя расчётов, укажите и обоснуйте знаки $\Delta_r H^\circ$ и $\Delta_r S^\circ$ для реакции $Z_1 \rightleftharpoons Z_2$.
4. Рассчитайте термодинамические величины $\Delta_r G^\circ$ для прямой реакции при 5°C и 270°C .
5. Найдите значения $\Delta_r H^\circ$ и $\Delta_r S^\circ$; при расчётах примите $\Delta_r H^\circ$ и $\Delta_r S^\circ$ не зависящими от температуры.



18. При 1000°C из 1 моль водорода и 1 моль иода синтезируется 1,36 моль иодоводорода, и система переходит в состояние равновесия; как следует изменить температуру реакционной смеси, чтобы выход продукта реакции: $\text{H}_{2(\text{г})} + \text{I}_{2(\text{г})} \rightleftharpoons 2\text{HI}_{(\text{г})}$ увеличился в 1,3 раза, если: $\Delta_f H^{\circ}_{298}(\text{HI}_{(\text{г})}) = 26558 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}$; $\Delta_f H^{\circ}_{298}(\text{I}_{2(\text{г})}) = 62417 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}$.

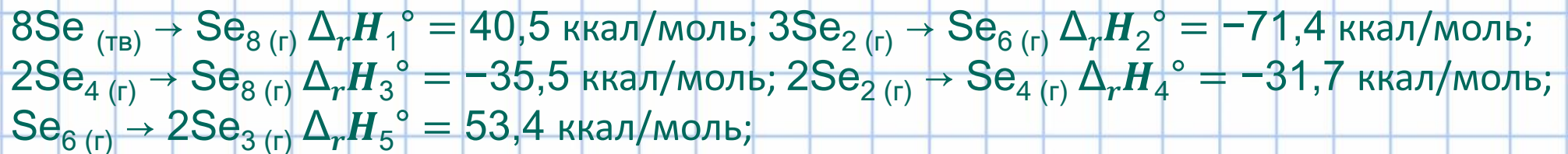


19. Рассчитайте мольные доли всех веществ в равновесной смеси, содержащей пентан, изопентан и неопентан при $326,85^{\circ}\text{C}$, если стандартные свободные энергии при этой температуре составляют: $\Delta_f G^{\circ}(\text{н-пентан}) = 141 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$; $\Delta_f G^{\circ}(\text{2-метилбутан}) = 138 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$; $\Delta_f G^{\circ}(\text{2,2-диметилпропан}) = 145 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$.



20. При испарении селена в газовой фазе устанавливается сложное равновесие между различными циклическими молекулами Se_n , $n = 3, 4, \dots, 8$ и Se_2 .

Известны энтальпии реакций, которые частично описывают эту систему:



1. Определите энтальпии образования Se_6 и Se_3 из твёрдого Se. Объясните с точки зрения строения соотношение между энтальпиями образования (какая из них больше и почему?).
2. Средняя энергия связи в молекуле Se_6 равна 49,4 ккал/моль. Определите среднюю энергию связи в молекуле Se_2 . Объясните соотношение между энергиями связей в Se_6 и Se_2 .
3. При некоторых условиях парциальные давления форм селена в равновесной смеси составляют: $p(\text{Se}_8) = 12,0$ кПа; $p(\text{Se}_7) = 10,0$ кПа; $p(\text{Se}_6) = 9,8$ кПа; $p(\text{Se}_5) = 8,7$ кПа; $p(\text{Se}_4) = 6,1$ кПа; $p(\text{Se}_3) = 2,0$ кПа; $p(\text{Se}_2) = 1,5$ кПа. Определите среднее количество атомов селена в молекуле для такой смеси.
4. Как изменится среднее число атомов в молекуле при повышении давления при постоянной температуре?
5. При дальнейшем повышении температуры газообразного селена плотность смеси оказывается ниже предсказанной на основании термодинамических расчётов для реакций образования Se_n , $n = 2, 3, \dots, 8$. Объясните, каким процессом это обусловлено.



ПАРЫ СЕЛЕНА



21. **Ксилолы (диметилбензолы) — углеводороды, получаемые при нефтепереработке. Нагревание в присутствии катализаторов (кислот Льюиса: AlCl_3) приводит к смеси различных изомерных форм ксилолов. В равновесной смеси при 500 К, на каждые 3 моль ксилолов 0,5 моль имеют орто-расположение метильных групп, 0,6 – пара-расположение метильных групп, остальные — мета-расположение метильных групп.**

1. Рассчитайте константы равновесия реакций: K_c (1) орто-ксилол $\rightleftharpoons$ пара-ксилол и K_c (2) мета-ксилол $\rightleftharpoons$ пара-ксилол;
в таблице приведены теплоты образования газообразных ксилолов (при допущении, что они практически не зависят от температуры).

ксилол	орто-	пара-	мета-
$\Delta_f H^\circ$ кДж·моль ⁻¹	11,8	11,3	10,3

2. Какой из ксилолов обладает наибольшей, а какой — наименьшей энергией Гиббса?
3. Выразите мольную долю каждого изомера в смеси в общем виде через K_c (1) и K_c (2).
4. Рассчитайте процентное соотношение изомеров в равновесной смеси при 700 К.



СПАСИБО ЗА РАБОТУ

УДАЧИ НА ОЛИМПИАДАХ !