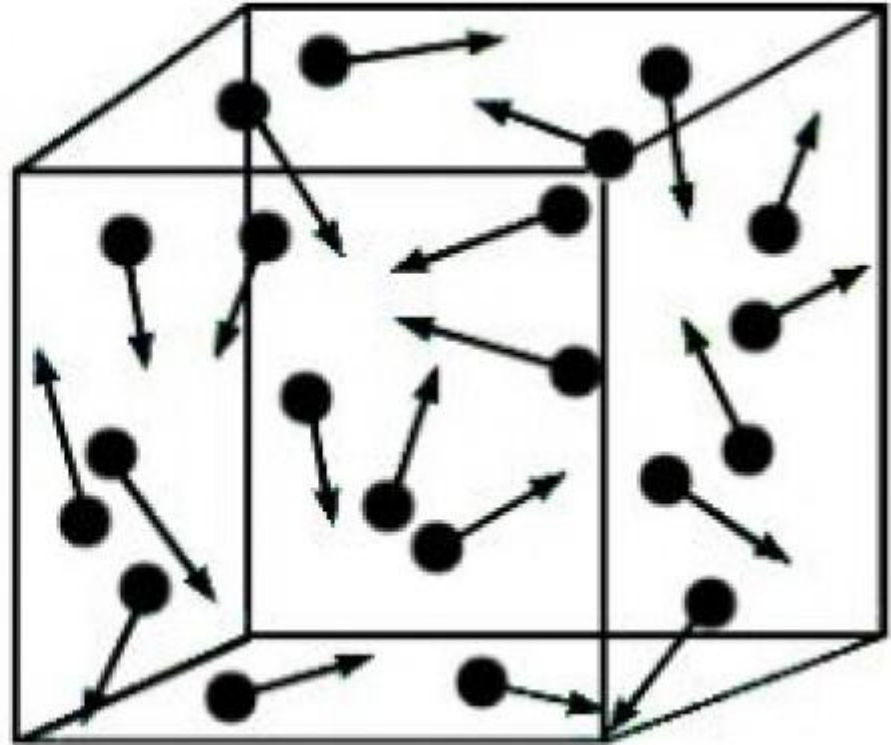
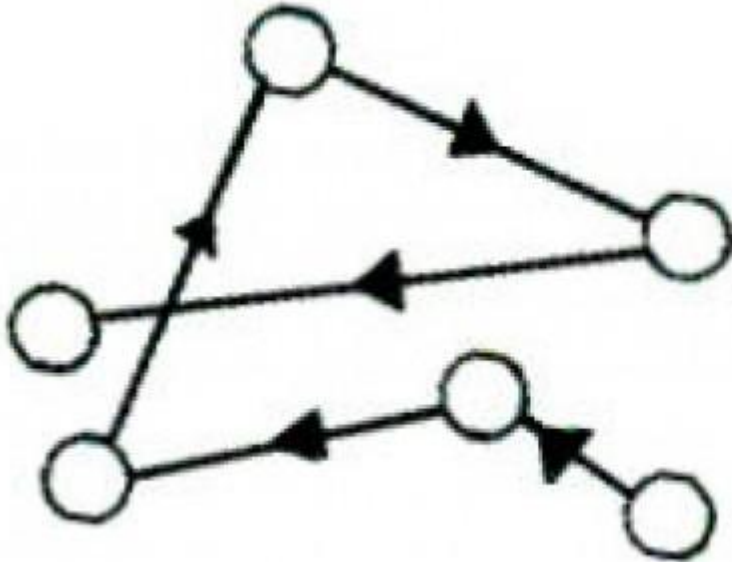


# Идеальный газ, его характеристики и уравнение состояния идеального газа

Семинар-презентация разработана  
Мамаевой Ириной Алексеевной,  
Кострома.

При подготовке презентации  
использованы слайды открытого доступа сети Интернет

## Термодинамическая система (ТС)



- объект, который состоит из большого числа частиц, находящихся в постоянном хаотичном движении, изменяющие свое состояние случайным образом.

**ЦЕЛЬ СЕМИНАРА – НАУЧИТЬСЯ ОПЕРИРОВАТЬ ПОНЯТИЯМИ (ВЕЛИЧИНАМИ),  
ХАРАКТЕРИЗУЮЩИМИ СОСТОЯНИЕ  
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ (ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА):**

ДАВЛЕНИЕ  $P$ ,  
ОБЪЕМ  $V$ ,  
ТЕМПЕРАТУРА  $T$ ,  
МАССА ГАЗА  $M$ ,  
ЧИСЛО СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ,  
ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ,  
ОТНОСИТЕЛЬНАЯ АТОМНАЯ МАССА,  
ОТНОСИТЕЛЬНАЯ МОЛЕКУЛЯРНАЯ МАССА,  
МОЛЯРНАЯ МАССА,  
КОЛИЧЕСТВО ВЕЩЕСТВА,  
ПЛОТНОСТЬ,  
КОНЦЕНТРАЦИЯ.

# РАВНОВЕСНОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ (ТС)

**Равновесное** или **состояние**  
**термодинамического** **равновесия**  
**термодинамической системы** – *если при*  
*сохранении внешних условий параметры*  
*состояния являются установившимися и не*  
*изменяются во времени, а также*  
*отсутствуют всякие потоки (энергии,*  
*вещества, импульса, частиц и т.д.).*

Будем рассматривать только  
равновесное состояние ТС.

В качестве ТС будем рассматривать идеальный газ.

# Уравнение состояния идеального газа

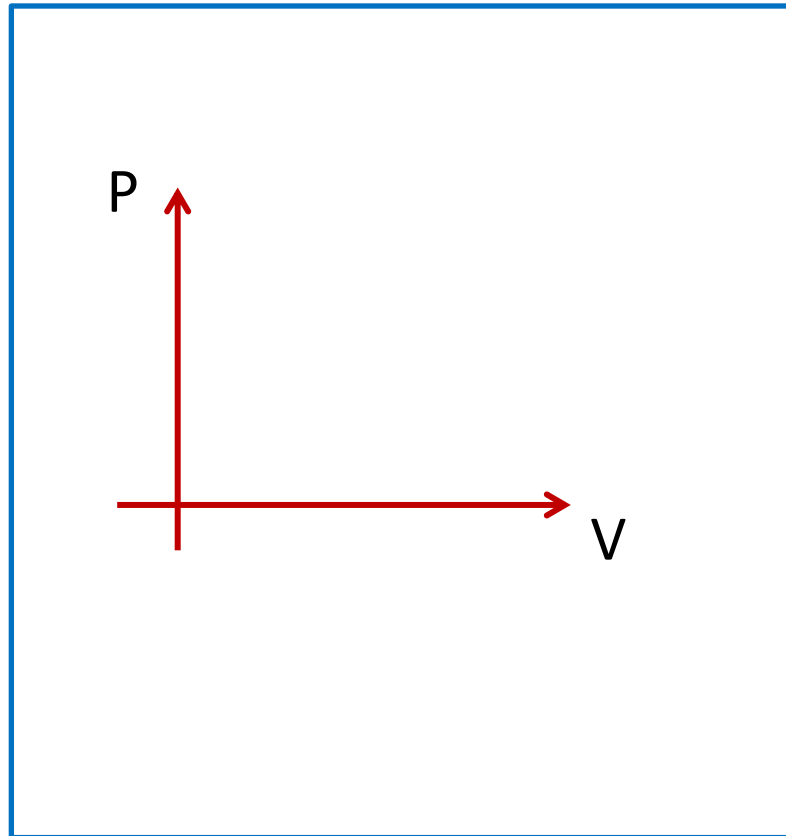
Для идеального газа выполняется уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$PV = \nu RT$$

$R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль})$  – универсальная газовая постоянная.

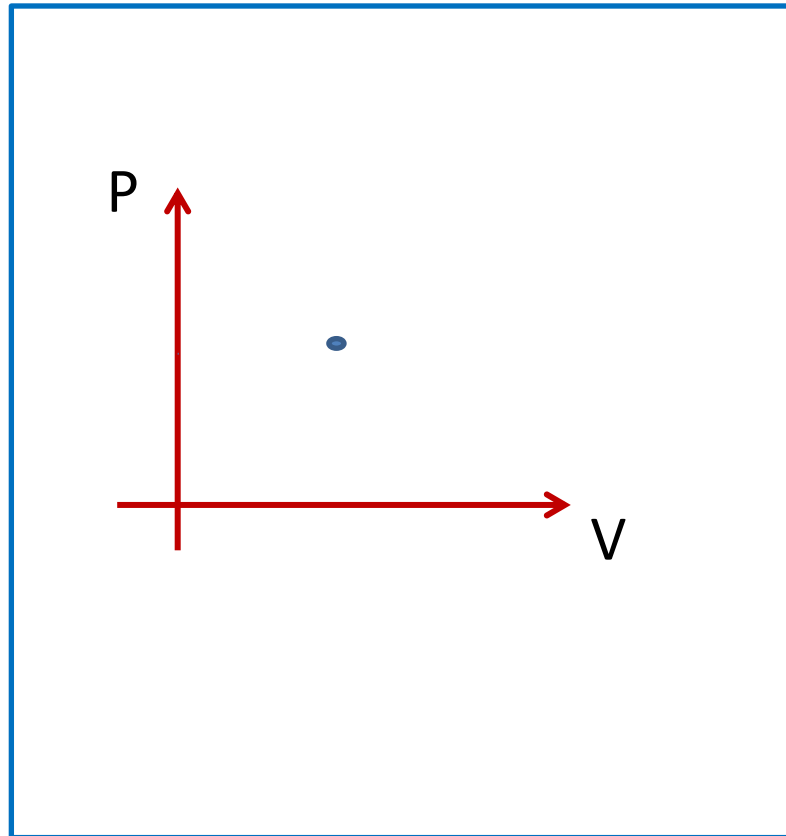
Уравнение Менделеева-Клапейрона или уравнение состояния идеального газа отражает тот факт, что все параметры газа, находящегося в одном равновесном состоянии связаны друг с другом.

Что будет на  $PV$ -диаграмме отражать уравнение состояния?

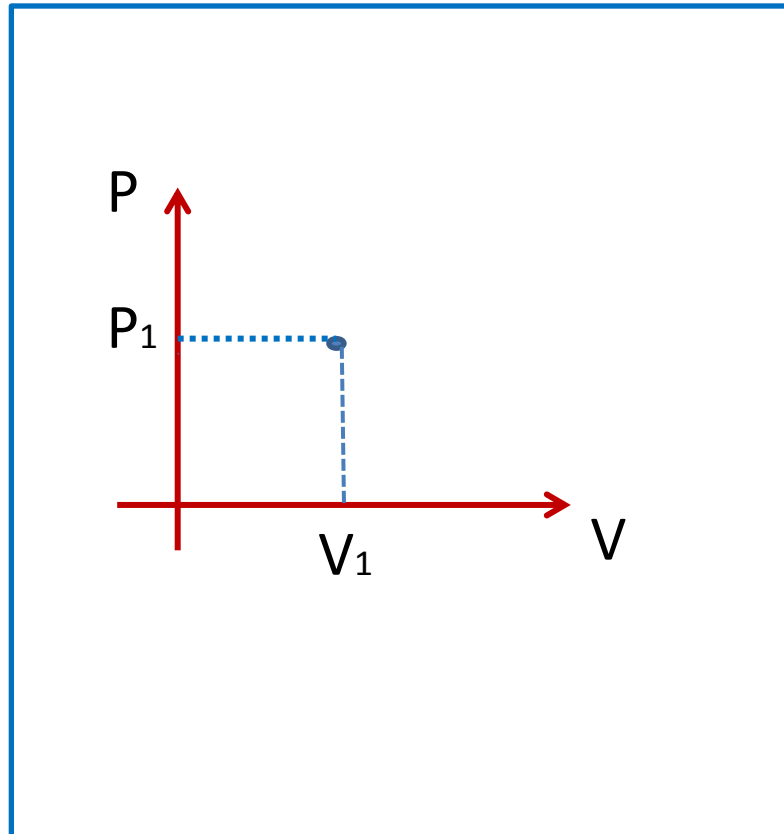


?

Что будет на  $PV$ -диаграмме отражать уравнение состояния?



Что будет на  $PV$ -диаграмме отражать уравнение состояния?





# Уравнение состояния идеального газа

Для идеального газа выполняется уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$PV = \nu RT$$

$R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль})$  – универсальная газовая постоянная.

Уравнение Менделеева-Клапейрона или уравнение состояния идеального газа отражает тот факт, что все параметры газа, находящегося в одном равновесном состоянии связаны друг с другом.

Из уравнение состояния идеального газа следует:

## Закон Авогадро

- В равных объемах различных идеальных газов при одинаковых условиях ( $T$  и  $p$ ) содержится одинаковое число молекул.
- **Следствие:** При нормальных условиях молярный объем любого идеального газа равен 22,4 л/моль.

### Нормальные условия (н.у.):

- $T = 273 \text{ К} = 0^\circ\text{С}$
- $p = 101,325 \text{ кПа} = 1 \text{ атм} = 760 \text{ мм рт. ст.}$

# Термодинамические параметры

I. Давление газа:  $p = \frac{F_{\perp}}{S} \quad [p] = \frac{H}{m^2} = Pa$

$F_{\perp}$  - суммарная сила, действующая по нормали к поверхности

$S$  - площадь поверхности

II. Объём газа:  $V [V] = m^3$

III. Абсолютная температура:  $T [T] = K$

$$T = t + 273,15K$$

$$1^{\circ}C = 1K$$

## IV. Внутренняя энергия идеального газа

	<p>Идеальный газ – можно пренебречь взаимодействием частиц, для него внутренняя энергия определяется как сумма всех кинетических энергий частиц ТС</p>
	$U = \sum_1^N \frac{m_0 v^2}{2}$

Внутренняя энергия численно равна сумме кинетических энергий молекул газа, ф.с.в, 1 Дж, характеризует полную энергию ТС.

## IV. Внутренняя энергия идеального газа и число степеней свободы

Число степеней свободы  $i$  - физическая безразмерная величина, характеризует число независимых переменных, необходимых для однозначного определения положения физического объекта в пространстве.

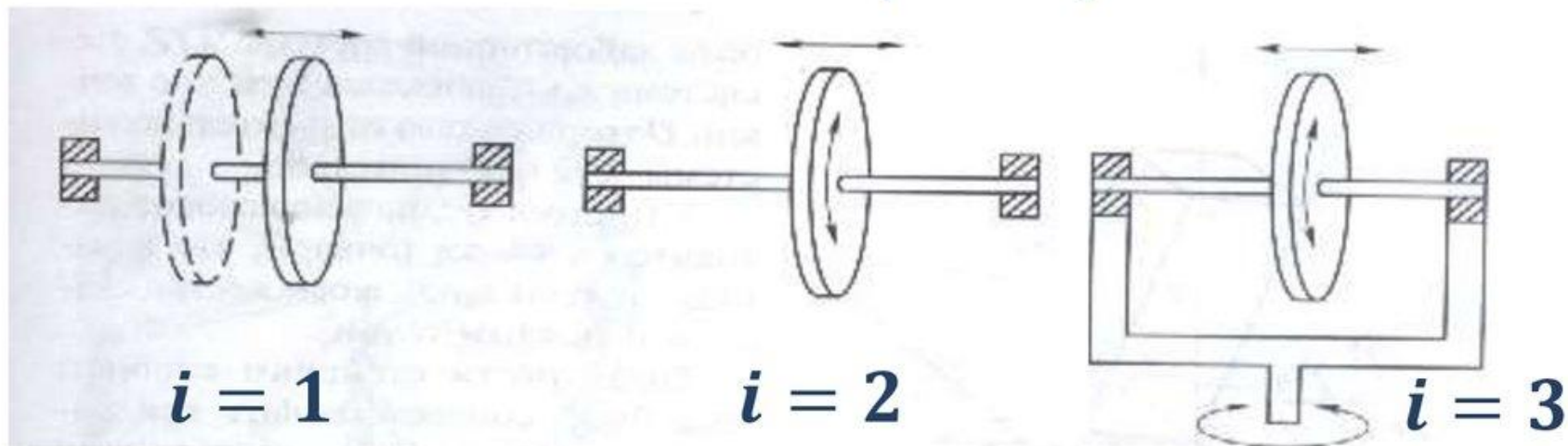
?

$$U = \sum_1^N \frac{m_0 v^2}{2}$$

Внутренняя энергия численно равна сумме кинетических энергий молекул газа, ф.с.в, 1 Дж, характеризует полную энергию ТС.

# Число степеней свободы тела

Число степеней свободы определяется количеством возможных **независимых перемещений**

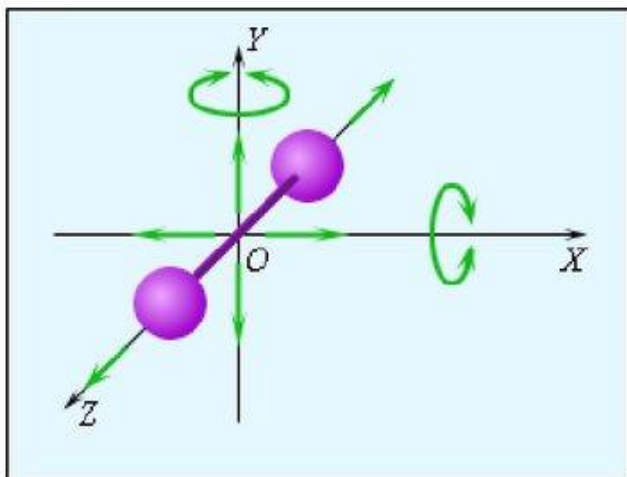


Сколько степеней свободы имеет диск:

- перемещающийся поступательно вдоль горизонтальной оси?
- перемещающийся вдоль горизонтальной оси и вращающийся вокруг этой оси?
- перемещающийся вдоль горизонтальной оси, вращающийся вокруг горизонтальной и вертикальной осей?

# Число степеней свободы $i$

- это число независимых координат однозначно определяющих положение тела в пространстве



Одноатомный газ  $i = 3$

Двухатомный газ  $i = 5$

Многоатомный газ  $i = 6$

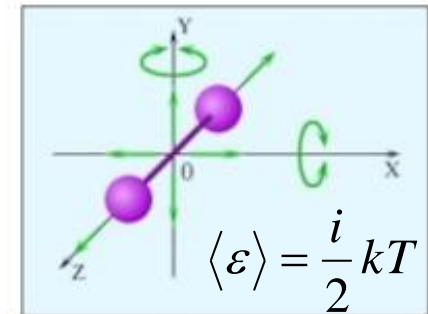
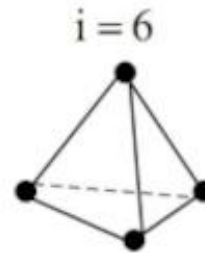
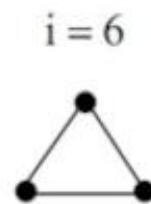
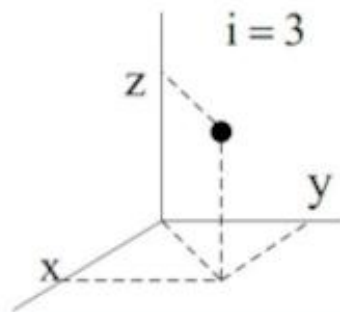
## ► Число степеней свободы

Число независимых переменных, полностью определяющих положение системы в пространстве.

Газ		одноатомный	двухатомный	многоатомный
	Модель молекулы			
Число степеней свободы	поступательных	3	3	3
	вращательных	—	2	3
	всего	3	5	6



*Число степеней свободы механической системы называется количество независимых величин, требуемых для задания положения системы в пространстве*



*Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы: энергия молекулы равномерно распределяется по степеням свободы, т.е. на каждую степень свободы, независимо от конструкции молекулы, приходится одинаковая энергия, равная  $kT/2$ .*

#### IV. Внутренняя энергия идеального газа и число степеней свободы

$$u = \frac{\sum m_i v_i^2}{2}$$

$$u = N \langle \varepsilon \rangle$$

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{i}{2} kT$$

$$u = N \frac{i}{2} kT$$

$$k = \frac{R}{N_A}$$

$$u = \frac{i}{2} \frac{N}{N_A} RT$$

$$u = \frac{i}{2} \nu RT$$

## Энергия идеального газа

$$U = \frac{i}{2} NkT$$

$i$  - число степеней свободы молекулы газа

$N$  - число молекул газа

$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1}$  - постоянная Больцмана

$T$  - абсолютная температура, К

$$U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT$$

$m$  - масса газа, кг

$M$  - молярная масса газа, кг/моль

$$U = \frac{i}{2} pV$$

$R = 8,31 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$  - газовая постоянная

$p$  - давление, Па

$V$  - объём, м<sup>3</sup>

# «Моль вещества», молярная масса и количество вещества

## 1 моль вещества

**1 Моль** – количество вещества, в котором содержится столько же молекул (атомов), сколько их содержится в **0,012 кг** углерода.

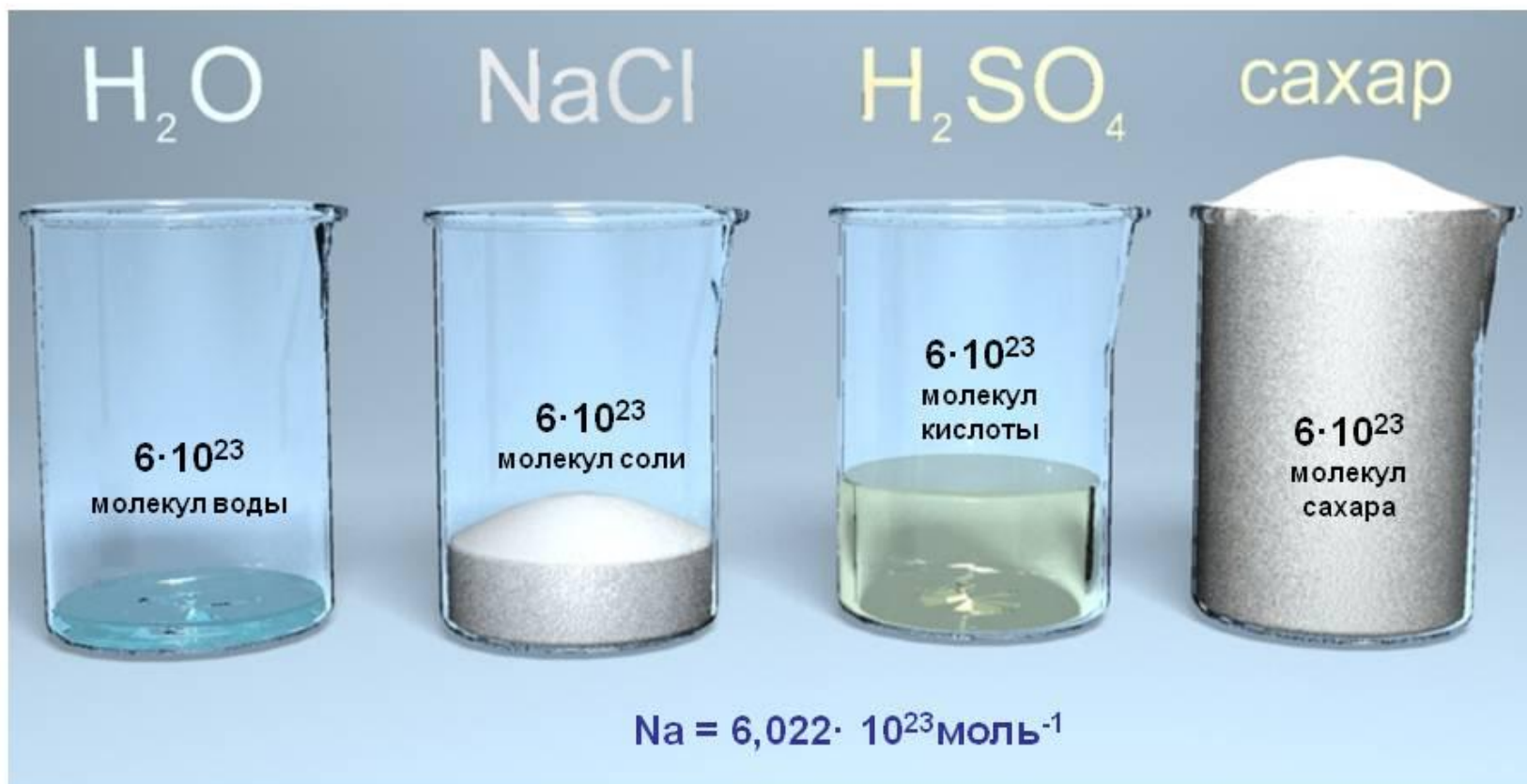
$$N_A = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

Моль любого вещества содержит одно и то же число молекул – **число Авогадро**

(Единица измерения относительного количества молекул.

1 моль – это молекулярная «упаковка» содержащая определенное количество молекул)

# 1 моль вещества



$M$  – молярная масса вещества  $M = m_0 N_A$

$m_0$  – масса одной молекуры,  $N_A$  – число Авогадро.

# V. Молярная масса

Это масса 1 моля вещества

$$M = m_o N_A$$

$$M = M_r \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$m_o = \frac{M}{N_A}$$

**!** Значение  $M_r$  можно  
узнать по таблице  
Менделеева

Молярная масса – это ф.в., она показывает массу одного моля вещества, 1 кг/моль, численно равная (см.первую формулу), где  $m_o$  – масса одной молекулы,  $N_A$  – число Авогадро.

Что такое  $M_r$ ?

Чтобы выяснить это - надо разобраться  
с относительной атомной массой  $A_r$  ,  
а затем перейти  
к относительной молекулярной массе  $M_r$ .

# VI. Относительная атомная масса (для атома)

$$A_r = \frac{m_{\text{атома}}}{\frac{1}{12} m(^{12}\text{C})}$$

Ф.В, безразмерная, показывает, во сколько раз масса атома больше  $1/12$  массы атома изотопа С-12.  
Определяется по таблице Менделеева.



## Пример (см.таблицу Менделеева)

Относительная  
**атомная** масса  
кислорода:

$$M_r(O) = 16 \text{ а. е. м}$$

Молярная масса кислорода,  
если бы он находился  
**в атомарном состоянии**:

$$M(O) = 16 \frac{\text{Г}}{\text{МОЛЬ}} = 0,016 \frac{\text{КГ}}{\text{МОЛЬ}}$$



# Относительная атомная масса элементов – в таблице Менделеева

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА										VII (H)		VIII																																																																																																																												
I	II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX																																																																																																																									
1 1 <b>H</b> <sup>1</sup> ВОДОРОД	2 2 <b>Li</b> <sup>3</sup> ЛИТИЙ		3 3 <b>Na</b> <sup>11</sup> НАТРИЙ		4 4 <b>K</b> <sup>19</sup> КАЛИЙ		5 5 <b>Rb</b> <sup>37</sup> РУБИДИЙ		6 6 <b>Cs</b> <sup>55</sup> ЦЕЗИЙ		7 7 <b>Fr</b> <sup>87</sup> ФРАНЦИЙ		8 8 <b>Be</b> <sup>4</sup> БЕРИЛЛИЙ		9 9 <b>Mg</b> <sup>12</sup> МАГНИЙ		10 10 <b>Ca</b> <sup>20</sup> КАЛЬЦИЙ		11 11 <b>Sr</b> <sup>38</sup> СТРОНЦИЙ		12 12 <b>Ba</b> <sup>56</sup> БАРИЙ		13 13 <b>Ra</b> <sup>88</sup> РАДИЙ		14 14 <b>B</b> <sup>10,81</sup> БОР		15 15 <b>Al</b> <sup>26,98</sup> АЛЮМИНИЙ		16 16 <b>Sc</b> <sup>44,96</sup> СКАНДИЙ		17 17 <b>Y</b> <sup>88,91</sup> ИТРИЙ		18 18 <b>La</b> <sup>138,91</sup> ЛАНТАН		19 19 <b>Ac</b> <sup>89</sup> АКТИНИЙ		20 20 <b>C</b> <sup>12,01</sup> УГЛЕРОД		21 21 <b>N</b> <sup>14,01</sup> АЗОТ		22 22 <b>O</b> <sup>16,00</sup> КИСЛОРОД		23 23 <b>F</b> <sup>19,00</sup> ФТОР		24 24 <b>Ne</b> <sup>20,18</sup> НЕОН		25 25 <b>Si</b> <sup>28,09</sup> КРЕМНИЙ		26 26 <b>P</b> <sup>30,97</sup> ФОСФОР		27 27 <b>S</b> <sup>32,06</sup> СЕРА		28 28 <b>Cl</b> <sup>35,45</sup> ХЛОР		29 29 <b>Ar</b> <sup>39,95</sup> АРГОН		30 30 <b>Ti</b> <sup>47,90</sup> ТИТАН		31 31 <b>V</b> <sup>50,94</sup> ВАНАДИЙ		32 32 <b>Cr</b> <sup>52,00</sup> ХРОМ		33 33 <b>Mn</b> <sup>54,94</sup> МАРГАНЕЦ		34 34 <b>Fe</b> <sup>55,85</sup> ЖЕЛЕЗО		35 35 <b>Co</b> <sup>58,93</sup> КОБАЛЬТ		36 36 <b>Ni</b> <sup>58,70</sup> НИКЕЛЬ		37 37 <b>Zn</b> <sup>65,38</sup> ЦИНК		38 38 <b>Ga</b> <sup>69,72</sup> ГАЛЛИЙ		39 39 <b>Ge</b> <sup>72,59</sup> ГЕРМАНИЙ		40 40 <b>As</b> <sup>74,92</sup> МЫШЬЯК		41 41 <b>Se</b> <sup>78,96</sup> СЕЛЕН		42 42 <b>Br</b> <sup>79,90</sup> БРОМ		43 43 <b>Kr</b> <sup>83,80</sup> КРИПТОН		44 44 <b>Ru</b> <sup>101,07</sup> РУТЕНИЙ		45 45 <b>Rh</b> <sup>102,91</sup> РОДИЙ		46 46 <b>Pd</b> <sup>106,42</sup> ПАЛЛАДИЙ		47 47 <b>Cd</b> <sup>112,41</sup> КАДМИЙ		48 48 <b>In</b> <sup>114,82</sup> ИНДИЙ		49 49 <b>Sn</b> <sup>118,69</sup> ОЛОВО		50 50 <b>Sb</b> <sup>121,75</sup> СУРЬМА		51 51 <b>Te</b> <sup>127,60</sup> ТЕЛЛУР		52 52 <b>I</b> <sup>126,90</sup> ИОД		53 53 <b>Xe</b> <sup>131,30</sup> КСЕНОН		54 54 <b>Os</b> <sup>190,20</sup> ОСМИЙ		55 55 <b>Ir</b> <sup>192,22</sup> ИРИДИЙ		56 56 <b>Pt</b> <sup>195,09</sup> ПЛАТИНА		57 57 <b>Au</b> <sup>196,97</sup> ЗОЛОТО		58 58 <b>Hg</b> <sup>200,59</sup> РТУТЬ		59 59 <b>Tl</b> <sup>204,37</sup> ТАЛЛИЙ		60 60 <b>Pb</b> <sup>207,20</sup> СВИНЕЦ		61 61 <b>Bi</b> <sup>208,98</sup> ВИСМУТ		62 62 <b>Po</b> <sup>[209]</sup> ПОЛОНИЙ		63 63 <b>At</b> <sup>[210]</sup> АСТАТ		64 64 <b>Rn</b> <sup>[222]</sup> РАДОН		65 65 <b>W</b> <sup>183,85</sup> ВОЛЬФРАМ		66 66 <b>Re</b> <sup>186,21</sup> РЕНИЙ		67 67 <b>Hs</b> <sup>108</sup> ХАССИЙ		68 68 <b>Mt</b> <sup>109</sup> МЕЙТНЕРИЙ		69 69 <b>Ds</b> <sup>110</sup> ДАРМШТАДИЙ	

## \* ЛАНТАНОИДЫ

58 <b>Ce</b> <sup>140,12</sup> ЦЕРИЙ	59 <b>Pr</b> <sup>140,91</sup> ПРАЗЕОДИМ	60 <b>Nd</b> <sup>144,24</sup> НЕОДИМ	61 <b>Pm</b> <sup>[145]</sup>	62 <b>Sm</b> <sup>150,40</sup> САМАРИЙ	63 <b>Eu</b> <sup>151,96</sup> ЕВРОПИЙ	64 <b>Gd</b> <sup>157,25</sup> ГАДОЛИНИЙ	65 <b>Tb</b> <sup>158,93</sup> ТЕРБИЙ	66 <b>Dy</b> <sup>162,50</sup> ДИСПРОЗИЙ	67 <b>Ho</b> <sup>164,93</sup> ГОЛЬМИЙ	68 <b>Er</b> <sup>167,26</sup> ЭРБИЙ	69 <b>Tm</b> <sup>168,93</sup> ТУЛИЙ	70 <b>Yb</b> <sup>173,04</sup> ИТТЕРБИЙ	71 <b>Lu</b> <sup>174,97</sup> ЛЮТЕЦИЙ
-----------------------------------------	---------------------------------------------	------------------------------------------	-------------------------------	-------------------------------------------	-------------------------------------------	---------------------------------------------	------------------------------------------	---------------------------------------------	-------------------------------------------	-----------------------------------------	-----------------------------------------	--------------------------------------------	-------------------------------------------

## \*\* АКТИНОИДЫ

90 <b>Th</b> <sup>232,04</sup> ТОРИЙ	91 <b>Pa</b> <sup>231,04</sup> ПРОТОАКТИНИЙ	92 <b>U</b> <sup>238,03</sup> УРАН	93 <b>Np</b> <sup>237,05</sup> НЕПТУНИЙ	94 <b>Pu</b> <sup>[244]</sup> ПЛУТОНИЙ	95 <b>Am</b> <sup>[243]</sup> АМЕРИЦИЙ	96 <b>Cm</b> <sup>[247]</sup> КУРИЙ	97 <b>Bk</b> <sup>[247]</sup> БЕРКЛИЙ	98 <b>Cf</b> <sup>[251]</sup> КАЛИФОРНИЙ	99 <b>Es</b> <sup>[254]</sup> ЭЙНШТЕЙНИЙ	100 <b>Fm</b> <sup>[257]</sup> ФЕРМИЙ	101 <b>Md</b> <sup>[258]</sup> МЕНДЕЛЕВИЙ	102 <b>(No)</b> <sup>[255]</sup> НОБЕЛИЙ	103 <b>(Lr)</b> <sup>[256]</sup> ЛОУРЕНСИЙ
-----------------------------------------	------------------------------------------------	---------------------------------------	--------------------------------------------	-------------------------------------------	-------------------------------------------	----------------------------------------	------------------------------------------	---------------------------------------------	---------------------------------------------	------------------------------------------	----------------------------------------------	---------------------------------------------	-----------------------------------------------

## VII. Относительная молекулярная масса (для молекулы)

$$M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m(^{12}\text{C})}$$

Здесь  $m_0$  - масса молекулы, а  $M_r$  – Ф.В., безразмерная, показывает, во сколько раз масса молекулы больше  $1/12$  массы атома изотопа С-12.

*Рассчитывается часто как сумма относительных атомных масс атомов, составляющих данную молекулу (см. пример далее).*

# Пример расчета относительной молекулярной массы углекислого газа



– молекула CO<sub>2</sub> (углекислый газ)



– атом углерода (C)



– 2 атома кислорода (O)

$$M(\text{CO}_2) = M(\text{C}) + 2M(\text{O}) =$$

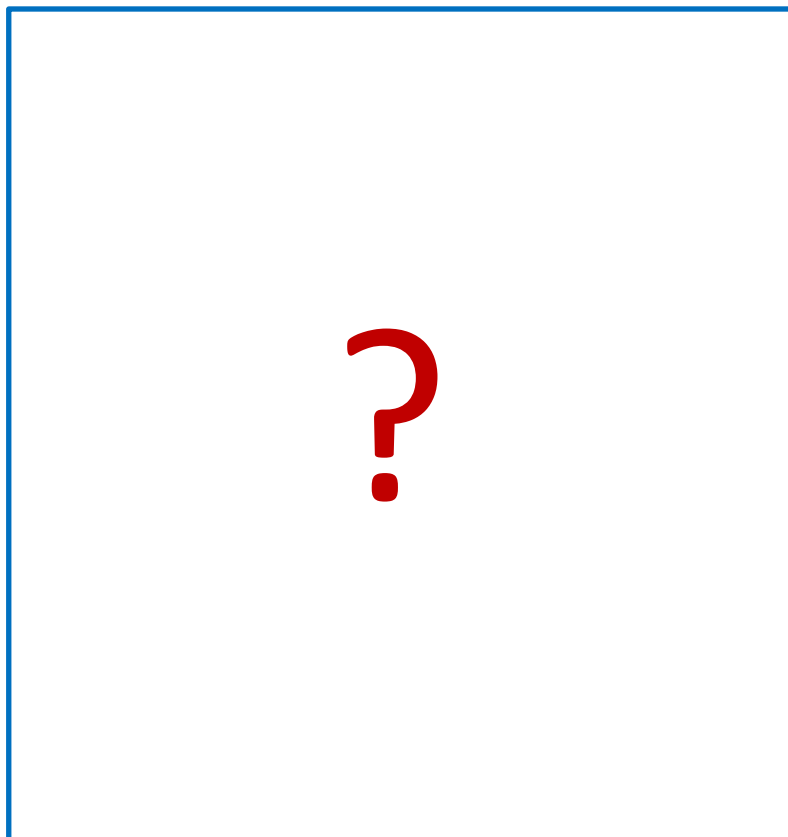
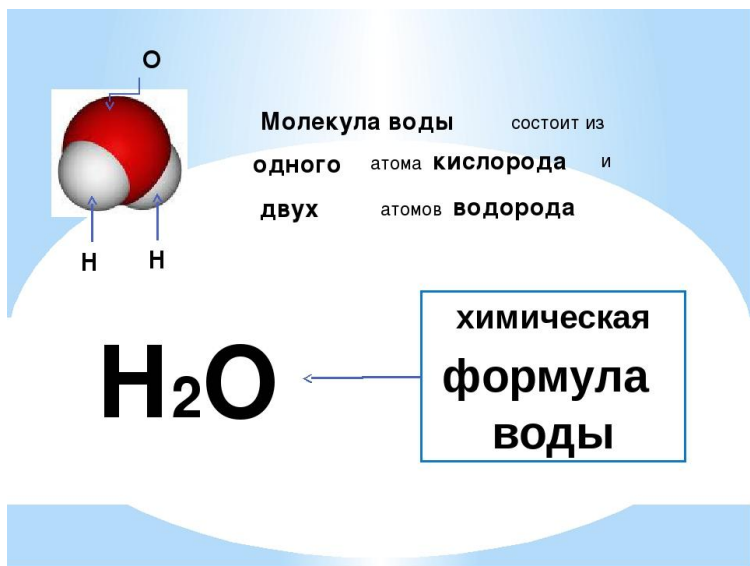
$$= 12 + 16 \cdot 2 = 44$$

Относительная молекулярная масса углекислого газа  
рассчитана как сумма относительных атомных масс атомов  
углерода (12) и кислорода (16). Получено 44.

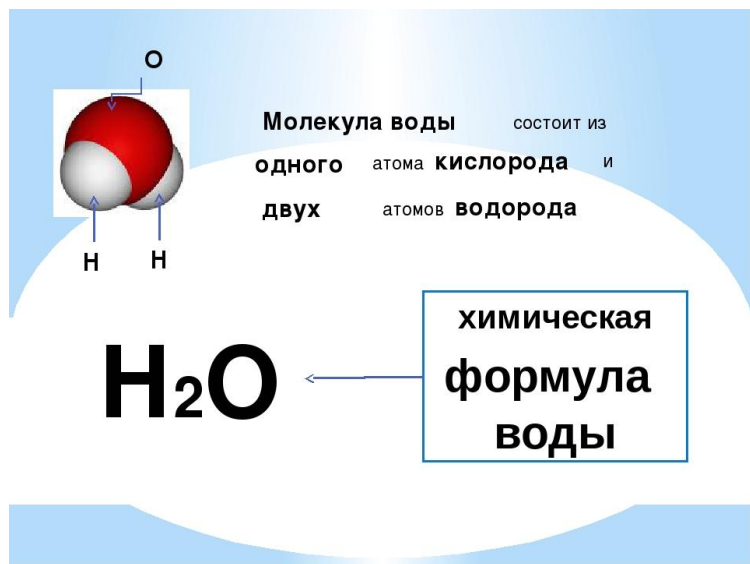
Для перевода ее в молярную массу углекислого газа  
необходимо просто добавить единицу измерения: 44 г/моль.

*В расчетах необходимо будет граммы перевести  
в килограммы (основные единицы в СИ - кг, м, с, моль, К).*

# Самостоятельно рассчитайте относительную молекулярную массы воды и молярную массу воды



# Самостоятельно рассчитайте относительную молекулярную массы воды и молярную массу воды



Если получилось 18 и 18 г/моль, то ответ верен. Что из этого определяет относительную молекулярную массу, а что определяет молярную массу воды?

# VIII. Количество вещества

## ФОРМУЛЫ

$$\nu = \frac{N}{N_A}$$

$$\nu = \frac{m}{M}$$

$N$  – число частиц вещества

$N_A$  – число Авогадро

$\nu$  – количество вещества

$m$  – масса вещества

$M$  – молярная масса вещества

# IX - X. Плотность и концентрация вещества (ТС)

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad n = \frac{N}{V}$$

Плотность показывает массу  
единицы объема вещества,  
1 кг/м<sup>3</sup>

Концентрация показывает  
количество молекул в единице  
объема вещества, 1 1/м<sup>3</sup>



# Выводы:

«По формуле газа можно определить его:

- ✓ относительную молекулярную массу,
- ✓ молярную массу,
- ✓ число степеней свободы,
- ✓ молярную теплоемкость при  $V=\text{const}$ ,
- ✓ молярную теплоемкость при  $P=\text{const}$ »

«Внутренняя энергия и температура связаны»

«Если, при известной/м массе или количестве вещества газа, известны две из трех величин  $P$ ,  $V$ ,  $T$ , то третью из них можно найти из уравнения состояния идеального газа»



УСПЕШНОГО  
ВЫПОЛНЕНИЯ  
ИДЗ  
«ПАСПОРТ ГАЗА»!