

# ТЕРМОДИНАМИКА

Милош Адамовић

06.04.2022.

# Садржај

- 1 Увод
- 2 Молекулско-кинетичка теорија гасова
  - Кретање молекула
  - Температура
    - Идеални гас
  - Изопроееси и гасни закони
    - Изохорски процес
    - Изобарски процес
    - Изотермски процес
    - Далтонов закон и Авогадров закон
- 3 Термодинамика
  - Први принцип термодинамике
- 4 Питања и задаци
  - Прва енергија
  - Количина топлоте
  - Први принцип термодинамике
  - Топлотни капацитети
  - Топлотни капацитети гасова
  - Адијабатски процес
- 5 Одабрана литература
  - Други принцип термодинамике
    - Топлотне машине
    - Карноов циклус

# Увод

- Овом презентацијом биће дат кратак преглед градива средње школе из области **Молекулско-кинетичке теорије гасова** и **Термодинамике**
- Питања и кратки рачунски задаци из наведених области

## Кретање молекула

- Топлотно кретање, хаотично кретање
- Топлотно кретање молекула се одвија у сваком агрегатном стању
- У чврстом телу због јаких привлачних сила имамо кретање у виду слабог осциловања
- Максвелова расподела молекула по брзинама
  - Заступлење све брзине молекула од врло малих до веома великих
  - Мали је број молекула са малим и са великим брзинама
  - Највеоватња брзина

$$v_n = \sqrt{\frac{2k_B T}{\mu}}$$

где је  $\mu$  маса једног молекула,  $T$  апсолутна температура

## Кретање молекула

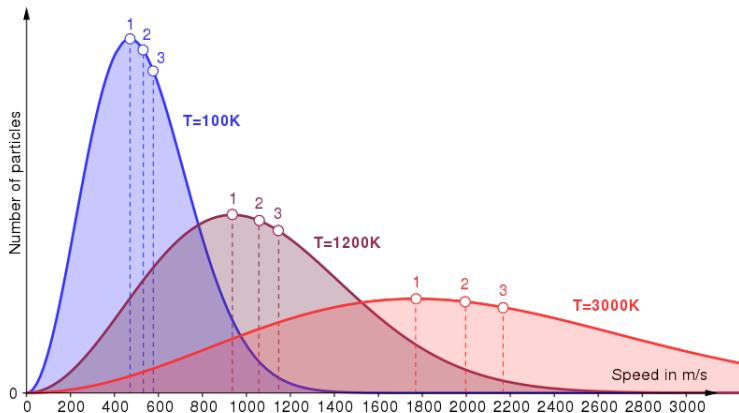
- Расподела молекула по брзинама зависи од температуре
- Средња брзина молекула

$$v_s = \sqrt{\frac{8k_B T}{\pi\mu}}$$

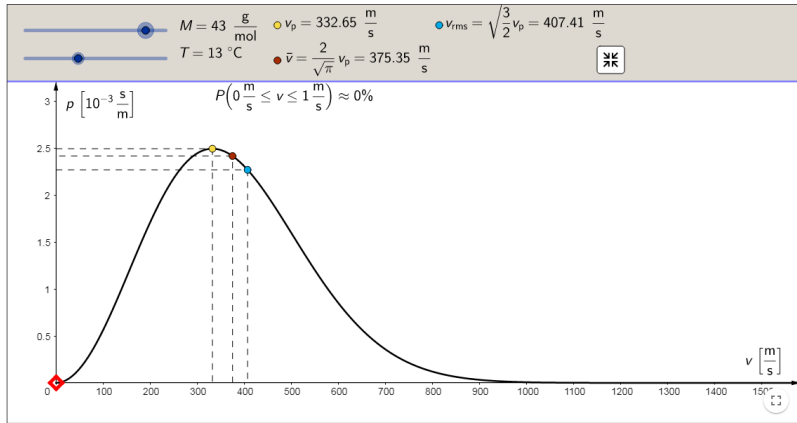
- Средња квадратна брзина

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3k_B T}{\mu}}$$

# Расподела молекула по брзинама



# Расподела молекула по брзинама



# Температура

- Појам температуре користимо да би се исказала разлика између топлијих и хладнијих тела
- Два тела различитих температура када су у међусобном контакту топлије тело ће се хладити док ће се хладније загревати
- Два тела у топлотној равнотежи имају једнаке температуре
- Температура је мера средње кинетичке енергије топлотног кретања молекула
- Термодинамичка или апсолутна температура
- Мерна јединица апсолутне температуре је КЕЛВИН (К)
- Апсолутна нула је температура на којој нема топлотног кретања молекула
- Целзијусова и Келвинова температурска скала



# Температура

- Веза између температуре ( $T$ ) изражене у Келвиновој скали и температуре ( $t$ ) изражене у Целзијусовој скали

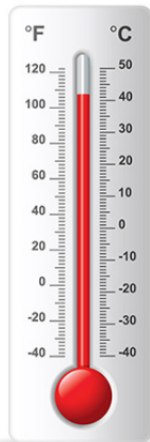
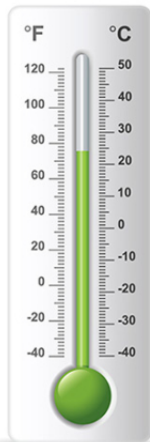
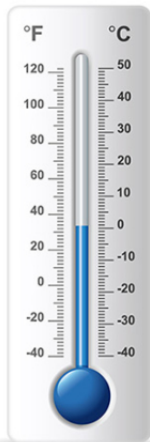
$$T = (t \cdot \frac{1}{^{\circ}\text{C}} + 273.15)\text{K}$$

односно

$$t = (T \cdot \frac{1}{\text{K}} - 273.15)^{\circ}\text{C}$$

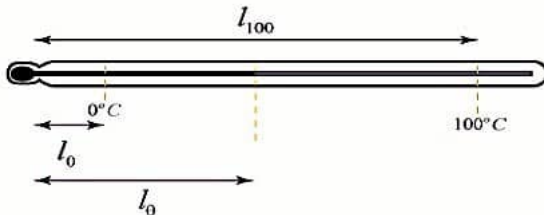
- Мерење температуре засновано је на успостављању топлотне равнотеже
- Успостављање топлотне равнотеже између термометра и тела чија се температура мери

# Температура



# Температура

$$T = \frac{l_{\theta} - l_0}{l_{100} - l_0} \times 100^{\circ}C$$



## Идеални гас

- Идеални гас је најједноставнији термодинамички систем
- Скуп великог броја честица
- Интеракције честица постоје само при непосредним сударима
- Међусобни судари честица и судари честица са зидовима суда у којем се честице налазе су еластични
- Димензије честица су занемарљиве у односу на њихова међусобна растојања
- Равнотежно стање гаса дефинисано је вредностима запремине, притиска, температуре и количине гаса као параметрима стања гаса
- Термодинамички процес је прелаз гаса из једног стања у друго

# Идеални гас

- Притисак гаса је резултат непрекидних судара молекула гаса за зидовима суда у којем се налазе
- Притисак гаса зависи од кинетичке енергије молекула

$$p = \frac{2}{3} n \overline{E_k}$$

где је  $n$  концентрација молекула у суду, а  $\overline{E_k}$  њихова средња кинетичка енергија

- Притисак већи при већој концентрацији молекула
- Притисак већи када је и температура гаса већа

# Идеални гас

- Једначина стања идеалног гаса:

$$pV = n_m RT$$

где је  $n_m$  број молова гаса,  $R$  је универзална гасна константа.

- $R = 8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$

# Идеални гас

9 K

Pressure  
0.7 atm

**Hold Constant**

- Nothing
- Volume (V)
- Temperature (T)
- Pressure  $\Delta V$
- Pressure  $\Delta T$

Width  $\leftarrow \rightarrow$

Stopwatch

Collision Counter

**Particles**

- Heavy  
◀ ◀ 211 ▶ ▶
- Light  
◀ ◀ 0 ▶ ▶

Gas Properties

Home Ideal Explore Energy Diffusion PhET

# Изопроеци и гасни закони

- Стање гаса дефинисано вредностима притиска, запремине и температуре
- Изопроеци - проеци у којима се један од параметара одржава на некој сталној (константној) вредности а други се мењају
- Изохорски, изобарски и изотермски проеци





## Изохорски процес

- Процес у којем је запремина гаса константна зове се изохорски
- Шарлов закон (једначина изохоре):

$$p = p_0(1 + \alpha t)$$

где је  $\alpha = \frac{1}{273.15^\circ\text{C}}$

- Други облик закона:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

или

$$\frac{p}{T} = \text{const}$$

## Изобарски процес

- Процес у којем је притисак константан назива се изобарски процес
- Геј-Лисаков закон:

$$V = V_0(1 + \alpha t)$$

где је  $\alpha = \frac{1}{273.15^\circ\text{C}}$

- Други облик закона:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

или

$$\frac{V}{T} = \text{const}$$

## Изотермски процес

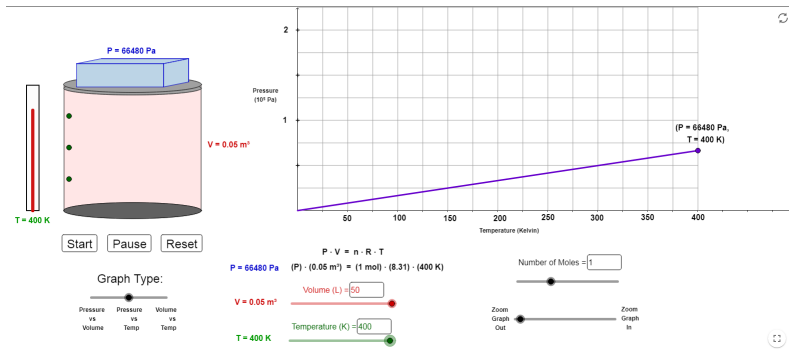
- Процес у којем се одржава константна температура назива се изотермски
- Бојл-Мариотов закон:

$$pV = \text{const}$$

односно:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

# Гасни закони



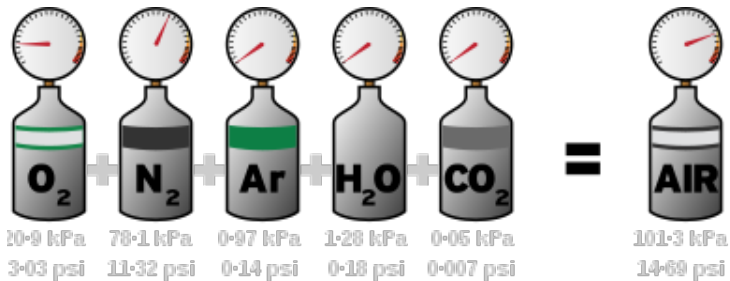
## Далтонов закон и Авогадров закон

- **Далтонов закон:** Ако се у истој посуди налази два или више гасова, укупан притисак је једнак суми парцијалних притисака свих компоненти смеше:

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_j$$

- **Авогадров закон:** У једнаким запреминама гасова, при једнаким притисцима и једнаким температурама, налази се исти број молекула

# Гасни закони



# Термодинамика

- Топлотне појаве и својства супстанције
- Енергијске трансформације у топлотним појавама
- Величине од интереса: количина топлоте, рад, унутрашња енергија
- Претварање топлоте у механички рад

# Унутрашња енергија

- Унутрашња енергија система који се састоји од великог броја честица које се крећу и међусобно интерагују је једнака збиру кинетичких и потенцијалних енергија свих честица које чине систем
- Промена унутрашње енергије неког система у неком процесу зависи од почетног и крајњег стања система
- Са повећањем температуре повећава се и унутрашња енергија система док се хлађењем смањује
- Јединица за унутрашњу енергију је ЏУЛ ( $J$ )



# Унутрашња енергија идеалног гаса

- Идеални гас је систем неинтерагујућих честица
- За идеални гас од  $N$  молекула унутрашња енергија је једнака  $U = N\overline{E_k}$
- Унутрашња енергија једноатомског идеалног гаса је једнака  $U = \frac{3}{2}Nk_B T$
- Унутрашња енергија  $n$  молова једноатомског идеалног гаса износи  $U = \frac{3}{2}nRT$
- Унутрашња енергија двоатомског идеалног гаса је  $U = \frac{5}{2}Nk_B T$  и  $U = \frac{5}{2}nRT$

## Унутрашња енергија и рад

- Унутрашња енергија тела се може променити вршењем рада.
- Ако тело врши рад његова унутрашња енергија се смањује
- Ако се на телу врши рад његова унутрашња енергија се повећава
- Промена унутрашње енергије повезана са променом температуре
- Процес промене унутрашње енергије без вршења рада се назива топлотна размена

## Рад при ширењу и сабијању гаса

- Рад гаса при константном притиску одређује се преко формуле

$$A = p\Delta V$$

где је  $\Delta V$  промена запремине гаса

- Рад гаса је позитиван при ширењу гаса а негативан при сабијању гаса
- Рад гаса је једнак нули када је запремина константна
- Рад гаса у цикличном процесу, позитиван и негативан у зависности од положаја криве ширења у односу на криву сабијања

## Количина топлоте

- Енергија коју неко тело или систем размени са другим у процесу топлотне размене називамо количином топлоте
- Јединица за количину топлоте је ЏУЛ (J)
- Договор: Количина топлоте коју систем прими је позитивна док је количина топлоте коју систем преда окоolini негативна
- Појам везан за процес преношења енергије са тела на тело

# Први принцип термодинамике

- Унутрашња енергија се може мењати вршењем рада и разменом топлоте
- Унутрашња енергија се повећава ако систем прима топлоту а смањује ако систем врши рад
- Количина топлоте коју систем у неком процесу размени са околином једнака је збиру рада система и промене његове унутрашње енергије у том процесу

$$\Delta U = Q - A$$

односно  $Q = A + \Delta U$

## Први принцип термодинамике

- У изохорском процесу рад гаса једнак је нули

$$Q = \Delta U$$

- У изохорском процесу ако гас прима топлоту повећава му се унутрашња енергија, док ако гас предаје топлоту њему се унутрашња енергија смањује
- У изобарском процесу део топлоте које гас размени са околином троши се на вршење рада, а део на промену унутрашње енергије гаса:

$$Q = p(V_2 - V_1) + \Delta U$$

## Први принцип термодинамике

- У изотермском процесу гас сву топлоту размењену са околином троши на вршење рада

$$Q = A$$

- Ако гас у изотермском процесу прима топлоту, он се шири и врши рад
- При изотермском сабијању гас отпушта топлоту

# Топлотни капацитети

- Топлотни капацитет тела је бројно једнак количини топлоте коју тело треба да прими или преда да би му се температура променила за један степен ( $K$ ).

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

- Јединица за топлотни капацитет је ЏУЛ по КЕЛВИНУ ( $J/K$ )
- Топлотни капацитет је карактеристика тела
- Специфични топлотни капацитет бројно је једнак количини топлоте коју треба да прими или отпусти количина  $1kg$  супстанције да би јој се температура променила за један степен ( $K$ )

$$c = \frac{Q}{m\Delta T}$$

- Јединица за специфични топлотни капацитет је ЏУЛ по КИЛОГРАМ КЕЛВИНУ ( $J/(kg \cdot K)$ )



# Топлотни капацитети

- Моларни топлотни капацитет гаса је једнак количини топлоте коју треба да прими или отпусти један мол гаса да би му се температура променила за један степен (К).

$$c_m = \frac{Q}{n_m \Delta T}$$

- Веза специфичног и моларног топлотног капацитета

$$c_m = c \cdot M$$

## Топлотни капацитети гасова

- У изохорском процесу за једноатомски гас

$$C_V = \frac{3}{2}R$$

- У изохорском процесу за двоатомски гас

$$C_V = \frac{5}{2}R$$

- Специфични топлотни капацитет у изохорском процесу за једноатомски гас

$$c_V = \frac{3R}{2M}$$

док је за двоатомски гас:

$$c_V = \frac{5R}{2M}$$

- Унутрашња енергија  $\Delta U = n_m C_V \Delta T$

## Топлотни капацитети гасова

- У изобарском процесу за једноатомски гас

$$C_p = \frac{5}{2}R$$

- У изобарском процесу за двоатомски гас

$$C_V = \frac{7}{2}R$$

- Специфични топлотни капацитет у изобарском процесу за једноатомски гас

$$c_p = \frac{5R}{2M}$$

док је за двоатомски гас:

$$c_p = \frac{7R}{2M}$$

- Величина  $\gamma = \frac{C_p}{C_V}$  као важна карактеристика гаса

## Адијабатски процес

- Адијабатски процес је процес у току којег систем не размењује топлоту са околином
- Процеси у топлотно изолованим системима
- При адијабатском ширењу гас се хлади
- При адијабатском сабијању гас се загрева
- Једначина адијабатског процеса

$$pV^\gamma = \text{const}$$

односно

$$p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma$$

## Други принцип термодинамике

- Немогућ је процес преласка топлоте са тела ниже температуре на тело више температуре.
- Немогућ је циклични процес чији је једини резултат узимање топлоте од једног топлотног резервоара и њено потпуно претварање у рад
- Немогуће је направити уређај који би само узимао топлоту од околине и у потпуности је претварао у рад
- Смер одвијања процеса
- Ентропија као величина мере неуређености система

$$\Delta S \geq 0$$

## Топлотне машине

- У топлотним моторима рад се врши на рачун топлоте која се ослободи сагоревањем горива
- Топлотни мотор је уређај којим се топлота претвара у механички рад
- Степен корисног дејства топлотног мотора једнак је количнику рада који изврши гас у једном циклусу и количине топлоте коју при томе апсорбује од грејача:

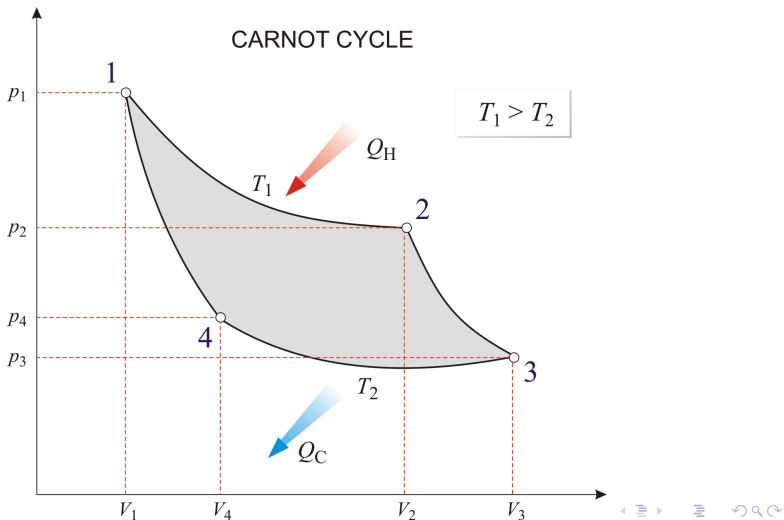
$$\eta = \frac{A}{Q_{abs}}$$

# Карноов циклус

- Кружни процес који се састоји од две изотерме и две адијабате назива се Карноов циклус
- Ефикасност Карноовог циклуса:

$$\eta_C = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

# Карноов циклус





## Питање 1.

Процес промене стања гаса при сталној запремини назива се:

- (а) Изобарски
- (б) Изохорски
- (в) Изотермски

## Питање 1.

Процес промене стања гаса при сталној запремини назива се:

- (а) Изобарски **X**
- (б) Изохорски **✓**
- (в) Изотермски **X**

## Питање 2.

Према основној једначини молекулско-кинетичке теорије притисак идеалног гаса сразмеран је:

- (а) средњој вредности квадрата кинетичке енергије молекула
- (б) квадрату средње вредности кинетичке енергије молекула
- (в) средњој вредности кинетичке енергије молекула
- (г) квадратном корену средње вредности кинетичке енергије молекула

## Питање 2.

Према основној једначини молекулско-кинетичке теорије притисак идеалног гаса сразмеран је:

- (а) средњој вредности квадрата кинетичке енергије молекула **X**
- (б) квадрату средње вредности кинетичке енергије молекула **X**
- (в) средњој вредности кинетичке енергије молекула ✓
- (г) квадратном корену средње вредности кинетичке енергије молекула **X**

## Задатак 1.

Ако се температура гаса од  $20^{\circ}\text{C}$  повиси за  $293^{\circ}\text{C}$  при константном притиску запремина гаса се промени приближно:

- (а) 0.2 пута
- (б) 1.2 пута
- (в) 2.0 пута
- (г) 10.0 пута
- (д) 20.0 пута
- (е) 273.0 пута

# Задатак 1.

Ако се температура гаса од  $20^{\circ}\text{C}$  повиси за  $293^{\circ}\text{C}$  при константном притиску запремина гаса се промени приближно:

- (а) 0.2 пута ✗
- (б) 1.2 пута ✗
- (в) 2.0 пута ✓
- (г) 10.0 пута ✗
- (д) 20.0 пута ✗
- (е) 273.0 пута ✗

Важи да је  $\frac{V}{T} = \text{const.}$  Познато је:  $T_1 = 20^{\circ}\text{C} = 293.15\text{K}$ ,  $T_2 = 313^{\circ}\text{C} = 586.15\text{K}$  Мора да важи додатно:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

одакле добијамо:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{(313 + 273.15)\text{K}}{(20 + 273.15)\text{K}} = 1.99948831656 \cong 2$$

## Задатак 2.

Разматрамо молекуле неког гаса на температури  $T = 300\text{ K}$ . Највероватнија брзина молекула износи  $v_n = 1130\text{ m/s}$ . Моларна маса молекула гаса износи:

- (a)  $4\text{ g/mol}$
- (б)  $10\text{ g/mol}$
- (в)  $1\text{ g/mol}$

## Задатак 2.

Разматрамо молекуле неког гаса на температури  $T = 300\text{K}$ . Највероватнија брзина молекула износи  $v_n = 1130\text{m/s}$ . Моларна маса молекула гаса износи:

- (а)  $4\text{ g/mol}$  ✓
- (б)  $10\text{ g/mol}$  ✗
- (в)  $1\text{ g/mol}$  ✗

Користимо израз за највероватнију брзину:

$$v_n = \sqrt{\frac{2k_B T}{\mu}}$$

и уводимо моларну масу  $M$  :

$$v_n = \sqrt{\frac{2k_B T N_{AV}}{M}}$$

где је  $N_{AV}$  Авогадров број. Добија се:

$$M = \frac{2k_B T N_{AV}}{v_n^2} \cong 4\text{g/mol}$$



## Питање 3.

Као резултат прорачуна добијено је да је разлика топлотних капацитета неког система  $C_p - C_V = \frac{3}{2}RT$ . Да ли је овај резултат коректан?

- (а) Да
- (б) Не

## Питање 3.

Као резултат прорачуна добијено је да је разлика топлотних капацитета неког система  $C_p - C_v = \frac{3}{2}RT$ . Да ли је овај резултат коректан?

- (a) Да ✗
- (b) Не ✓

Израз није димензионо коректан!

## Задатак 4.

При пуњењу металног балона гасом до притиска  $16.5 \text{ MPa}$  гас се загреје до  $50^\circ \text{C}$ . Колики ће бити притисак гаса у балону када се он касније охлади до  $20^\circ \text{C}$ :

- (a)  $15 \text{ MPa}$
- (б)  $20 \text{ MPa}$
- (в)  $10 \text{ MPa}$

## Задатак 4.

При пуњењу металног балона гасом до притиска  $16.5 \text{ MPa}$  гас се загреје до  $50^\circ \text{C}$ . Колики ће бити притисак гаса у балону када се он касније охлади до  $20^\circ \text{C}$ :

- (a)  $15 \text{ MPa}$  ✓
- (б)  $20 \text{ MPa}$  ✗
- (в)  $10 \text{ MPa}$  ✗

Пошто имамо метални балон можемо претпоставити да се његова запремина неће мењати  $V = \text{const}$ . Имамо да је  $T_1 = 50^\circ \text{C} = 323.15 \text{ K}$ ,  $T_2 = 20^\circ \text{C} = 293.15 \text{ K}$  и  $p_1 = 16.5 \text{ MPa}$ . Када је запремина константна важи:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

одакле се добија:

$$p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1} = 14.96 \text{ MPa} \cong 15 \text{ MPa}$$

## Задатак 5.

У балону се налази смеша  $8g$  водоника и  $16g$  кисеоника. Температура у балону је  $20^{\circ}C$ , а притисак  $150kPa$ . Одредити запремину балона.

## Задатак 5.

У балону се налази смеша 8g водоника и 16g кисеоника. Температура у балону је  $20^{\circ}\text{C}$ , а притисак  $150\text{kPa}$ . Одредити запремину балона.

Нека је  $V$  запремина балона,  $p_1$  парцијални притисак гаса молекула водоника а  $p_2$  парцијални притисак гаса молекула кисеоника. Моларна маса молекула водоника је  $M_1 = 2\text{g/mol}$  а молекула кисеоника  $M_2 = 32\text{g/mol}$ . Притисак у балону је  $p = p_1 + p_2 = 150\text{kPa}$ . Важи да је:

$$p_1 = \frac{m_1 RT}{M_1 V}, p_2 = \frac{m_2 RT}{M_2 V}$$

где су  $m_1 = 8\text{g}$  и  $m_2 = 16\text{g}$ . На основу тога се добија:

$$p = p_1 + p_2 = \frac{RT}{V} \left( \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right)$$

На основу тога запремина је:

$$V = \frac{RT}{p} \left( \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right) = 0.073\text{m}^3$$

## Задатак 6.

Колика је унутрашња енергија једног мола хелијума температуре  $27^{\circ}\text{C}$ ? Колика је маса кисеоника који има толику унутрашњу енергију при истој температури?

## Задатак 6.

Колика је унутрашња енергија једног мола хелијума температуре  $27^{\circ}\text{C}$ ? Колика је маса кисеоника који има толику унутрашњу енергију при истој температури?

Хелијум је једноатомски гас па је његова унутрашња енергија:

$$U_1 = \frac{3}{2} n_1 RT, n_1 = 1 \text{ mol}, U_1 = 3735 \text{ J}$$

Кисеоник је двоатомски гас па за њега важи:

$$U_2 = \frac{5}{2} n_2 RT, n_2 = ?$$

Број молова кисеоника  $n_2$  одређујемо из услова да је  $U_1 = U_2$ :

$$\frac{3}{2} n_1 RT = \frac{5}{2} n_2 RT$$

одакле се добија да је  $n_2 = \frac{3}{5} n_1 = 0.6 \text{ mol}$ . Маса кисеоника износи  $m = n_2 M = 0.6 \text{ mol} \cdot 32 \text{ g/mol} = 19.2 \text{ g}$



## Задатак 7.

У цилиндричном суду, под лаким клипом, налази се 58g ваздуха. Колики је рад ваздуха у изобарском процесу ако се његова температура повећа за  $100^{\circ}\text{C}$ ? Узети да је моларна маса ваздуха  $29\text{g/mol}$ .

## Задатак 7.

У цилиндричном суду, под лаким клипом, налази се 58g ваздуха. Колики је рад ваздуха у изобарском процесу ако се његова температура повећа за  $100^{\circ}\text{C}$ ? Узети да је моларна маса ваздуха  $29\text{g/mol}$ .

Нека је  $p$  притисак ваздуха под клипом, маса ваздуха је  $m = 58\text{g}$ , његова моларна маса је  $M = 29\text{g/mol}$ . Рад гаса дат је са  $A = p(V_2 - V_1)$ . Почетна температура  $T_1$  и запремина  $V_1$  док су крајња температура и запремина  $T_2$  и  $V_2$  респективно. Знамо да је  $T_2 - T_1 = 100^{\circ}\text{C}$ . Пошо важи:

$$pV_1 = \frac{m}{M}RT_1, pV_2 = \frac{m}{M}RT_2$$

имамо да је рад:

$$A = pV_2 - pV_1 = \frac{m}{M}RT_2 - \frac{m}{M}RT_1 = \frac{m}{M}R(T_2 - T_1) = \frac{m}{M}R\Delta T = 1660\text{J}$$

## Задатак 8.

Доказати да за једначину адијабатског процеса такође важи да је  $TV^{\gamma-1} = \text{const.}$

## Задатак 8.

Доказати да за једначину адијабатског процеса такође важи да је  $TV^{\gamma-1} = \text{const}$ .

Знамо да за адијабатски процес важи:

$$p_1 V_1^{\gamma} = p_2 V_2^{\gamma}$$

што можемо записати и као:

$$p_1 V_1 V_1^{\gamma-1} = p_2 V_2 V_2^{\gamma-1}$$

па је на основу једначине стања:

$$nRT_1 V_1^{\gamma-1} = nRT_2 V_2^{\gamma-1}$$

Закључујемо да додатно важи:

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$$

односно:

$$TV^{\gamma-1} = \text{const}$$

што је и требало доказати.

## Задатак 9.

У суду запремине  $3l$  налази се гас под притиском  $200kPa$ . У другом суду запремине  $4l$  налази се исти такав гас под притиском  $100kPa$ . Температура у оба суда је иста. Колики ће бити притисак у оба суда ако се они споје цевчицом занемарљиве запремине?

## Задатак 9.

У суду запремине 3l налази се гас под притиском 200kPa. У другом суду запремине 4l налази се исти такав гас под притиском 100kPa. Температура у оба суда је иста. Колики ће бити притисак у оба суда ако се они споје цевчицом занемарљиве запремине?

За први суд важи  $p_1 V_1 = n_1 RT$  док за други важи  $p_2 V_2 = n_2 RT$ . Када се судови споје запремина ће бити  $V_1 + V_2$  а број молова  $n_1 + n_2$  па ће важити  $p(V_1 + V_2) = (n_1 + n_2)RT$ . Из наведених једначина следи:

$$p(V_1 + V_2) = p_1 V_1 + p_2 V_2$$

одакле је:

$$p = \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{V_1 + V_2}$$

За вредности  $p_1 = 200kPa$ ,  $V_1 = 3l$ ,  $p_2 = 100kPa$ ,  $V_2 = 4l$  се добија:

$$p = 142.8kPa$$

## Задатак 10.

Параметри почетног стања гаса су  $p_1 = 100\text{kPa}$ ,  $V_1 = 12\text{l}$  и  $T_1 = 300\text{K}$ . Колики рад изврши гас ако се изобарски загрева до температуре  $T_2 = 400\text{K}$ ?

## Задатак 10.

Параметри почетног стања гаса су  $p_1 = 100\text{kPa}$ ,  $V_1 = 12\text{l}$  и  $T_1 = 300\text{K}$ . Колики рад изврши гас ако се изобарски загрева до температуре  $T_2 = 400\text{K}$ ?

У изобарском процесу важи:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

одакле је:

$$V_2 = \frac{V_1}{T_1} T_2$$

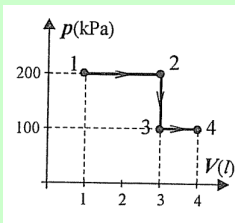
Рад гаса је дат са:

$$A = p_1(V_2 - V_1) = p_1\left(\frac{V_1}{T_1} T_2 - V_1\right) = p_1 V_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right) = 400\text{J}$$



## Задатак 11.

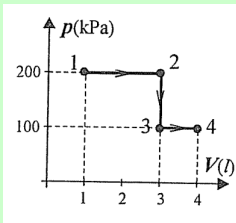
Колики рад изврши гас при преласку из стања 1 у стање 4 на начин приказан на слици?



Слика уз Задатак 11.

## Задатак 11.

Колики рад изврши гас при преласку из стања 1 у стање 4 на начин приказан на слици?







Слика уз Задатак 11.

Рад гаса је једнак збиру површина испод две изобаре (изобара 1-2 и изобара 3-4). Рад износи:

$$A = (200 \text{ kPa} \cdot 2 \text{ l}) + (100 \text{ kPa} \cdot 1 \text{ l}) = (200 \cdot 2) \text{ J} + (100 \cdot 1) \text{ J} = 500 \text{ J}$$

## Одабрана литература

-  *Наташа Чалуковић, Физика 2, уџбеник за 2. разред гимназије природно-математичког смера, Круг, Београд 2015. године*
-  *Наташа Чалуковић, Наташа Каделбург, Физика 2, збирка задатака и тестова за 2. разред гимназије, Круг, Београд 1999. године*
-  *Наташа Чалуковић, Физика 2, уџбеник за 2. разред Математичке гимназије, Круг, Београд 2011. године*
-  *Наташа Чалуковић, Милан Распоповић, Физика 2М, збирка решених задатака за други разред Математичке гимназије и за припремање такмичења, Круг, Београд 2003. године*