

## Obsah

<b>10 Struktura a vlastnosti plynného skupenství</b>	<b>1</b>
10.1 Mechanické vlastnosti	1
10.1.1 Ideální plyn	1
10.2 Stav plynu	1
10.2.1 Stavové veličiny	1
10.2.2 Stavová rovnice	1
10.3 Děje v ideálním plynu	1
10.3.1 Izotermický	1
10.3.2 Izochorický	2
10.3.3 Izobarický	2
10.3.4 Adiabatický	2
10.3.5 Kruhový	3
10.4 Druhý termodynamický zákon	4
10.5 Plyn při nízkém a vysokém tlaku	4
10.5.1 Nízký tlak	4
10.5.2 Vysoký tlak	5
10.6 Tepelné motory	5
10.6.1 Parní stroj	5
10.6.2 Turbíny	5
10.6.3 Zážehové motory	5

## 10 Struktura a vlastnosti plynného skupenství

### 10.1 Mechanické vlastnosti

- snadno stlačitelné
- zaobírají objem a tvar nádoby
- tekuté
- neuspořádaný pohyb částic

#### 10.1.1 Ideální plyn

- ideální model plynu použitý pro modely, v reálu neexistuje, blíží se za velké teploty a nízkého tlaku
- rozměry molekul vzhledem ke vzdálenosti molekul zanedbatelně malé
- molekuly na sebe kromě srážek nepůsobí silami → potenciální energie soustavy nulová → vnitřní energie dána pouze kinetickou  $e$ .
- dokonale pružné srážky se stěnami nádoby

### 10.2 Stav plynu

#### 10.2.1 Stavové veličiny

- vyjadřující stav plynu
- objem  $V$ ,  $[V] = \text{m}^3$  – prostor zabrán plynem
- tlak  $p$ ,  $[p] = \text{Pa} = \text{F} \cdot \text{m}^{-3}$  – síla plynu působící na jednotku plochy stěny
- teplota  $T$ ,  $[T] = \text{K}$  – tepelný stav plynu
- látkové množství  $n$ ,  $[n] = \text{mol}$  – počet elementárních jedinců specifikovaných Avogadrovou konstantou

### 10.2.2 Stavová rovnice

- vztah mezi stavovými veličinami při rovnovážném stavu

$$pV = nRT$$

- $R \doteq 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$  – molární plynová konstanta
- při neměnném množství plynu

$$\frac{pV}{T} = nR = \text{konst}$$

### 10.3 Děje v ideálním plynu

#### 10.3.1 Izotermický

- děj, kdy zůstává teplota konstantní – mění se pouze tlak a objem
  - součin tlaku a objemu konstantní

$$T_1 = T_2 \Rightarrow nRT = \text{konst}$$

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

- grafem izoterma
- teplota konstantní  $\rightarrow$  vnitřní energie zůstává stejná
- teplo přijaté plynem koná práci

#### 10.3.2 Izochorický

- děj za konstantního objemu

$$\frac{p}{T} = \frac{nR}{V} = \text{konst}$$

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

- grafem izochora
- tlak přímo úměrný teplotě
- stálý objem  $\rightarrow$  nekoná práci
- přijaté teplo přeměněno na vnitřní energii

#### 10.3.3 Izobarický

- děj za konstantního tlaku

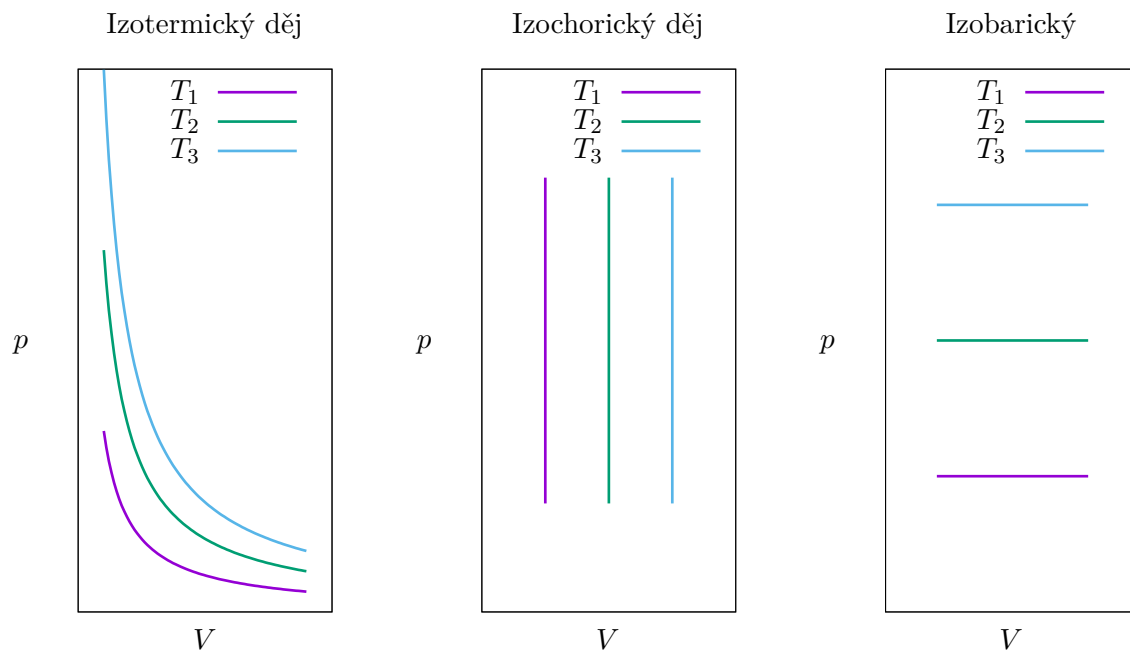
$$\frac{V}{T} = \frac{nR}{p} = \text{konst}$$

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

- grafem izobara
- přijaté teplo rovno součtu změny vnitřní energie a vykonané práce

#### 10.3.4 Adiabatický

- neprobíhá tepelná výměna s okolím ( $Q = 0$ )  $\Rightarrow$  změna vnitřní energie způsobena prací ( $\Delta U = W$ )
- většinou velmi rychlé děje – nestihne dojít k výměně tepla
- působení síly na píst  $\rightarrow$  konání práce silou  $\rightarrow$  zvýšení vnitřní energie  $\rightarrow$  zvýšení teploty
- rozpínání plynu / roztahování pístu  $\rightarrow$  plyn koná práci  $\rightarrow$  snížení vnitřní energie  $\rightarrow$  snížení teploty



Obr. 10.1: pV diagramy dějů

- grafem adiabata
- platí Poissonův zákon

$$pV^\kappa = \text{konst}$$

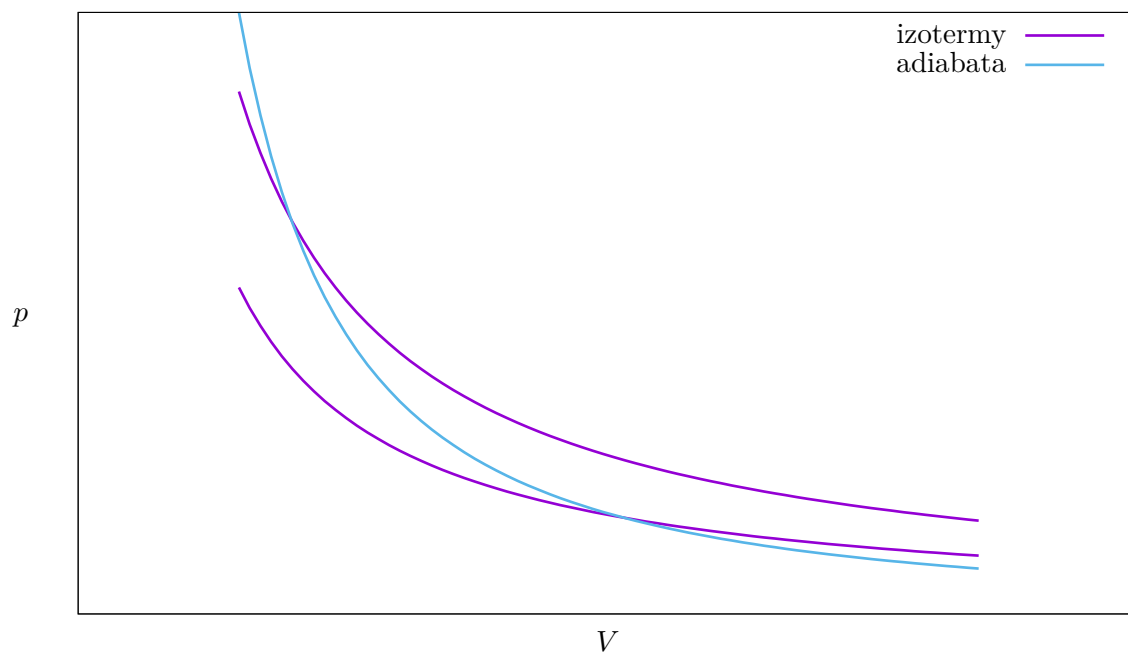
$$\kappa = \frac{c_p}{c_V}$$

- $\kappa$  – Poissonova konstanta
- $c_p, c_V$  – měrná tepelná kapacita plynu při stálém tlaku a objemu
- $c_p > c_V \Rightarrow \kappa > 1$
- jednoatomární plyn –  $\kappa = 5/3$ ; dvouatomární plyn –  $\kappa = 7/5$
- izoterma –  $pV^1 = \text{konst}$ ; adiabata –  $pV^\kappa = \text{konst}, \kappa > 1$

### 10.3.5 Kruhový

- schopnost práce tepelného stroje pouze při vrácení plynu do původního stavu
- pV diagram uzavřená křivka (např. graf 10.3)
  - $A \rightarrow B$  – izotermické expanze
  - $B \rightarrow C$  – adiabatická expanze
  - $C \rightarrow D$  – izotermické komprese
  - $D \rightarrow A$  – adiabatická komprese
- vykonaná práce plynu – plocha uzavřené křivky
  - 1, 2 – plyn koná práci
  - 3, 4 – okolí koná práci
  - výsledná práce rovna rozdílu práce plynu a prostředí (plochy pod křivkou  $A \rightarrow B \rightarrow C$  a  $C \rightarrow D \rightarrow A$ )
- počáteční a koncový stav stejný – mezi vnitřní energie mezi cykly nulová ( $\Delta U = 0$ )
- přijímání tepla  $Q_1$  od ohřívače, předávání tepla  $Q_2$  chladiči
  - celkové teplo  $Q = Q_1 - Q_2$
  - 1. termodynamický zákon –  $Q = W'$  dodaný rozdíl tepla roven vykonané práci
- účinnost  $\eta$  – podíl vykonané práce a dodaného tepla

$$\eta = \frac{W'}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$



Obr. 10.2: pV diagram adiabatického děje

## 10.4 Druhý termodynamický zákon

- „Není možné sestavit periodicky pracující tepelný stroj, který by jen přijímal teplo od určitého tělesa (ohřívače) a měnil by je v ekvivalentní práci (tj. vykonával stejně velkou práci).“
- tepelný stroj vždy musí ochlazovat jedno těleso a zároveň ohřívat druhé
- nelze všechno přijaté teplo přeměnit na práci
- účinnost stroje nikdy nedosáhne  $\eta = 100\%$

## 10.5 Plyn při nízkém a vysokém tlaku

### 10.5.1 Nízký tlak

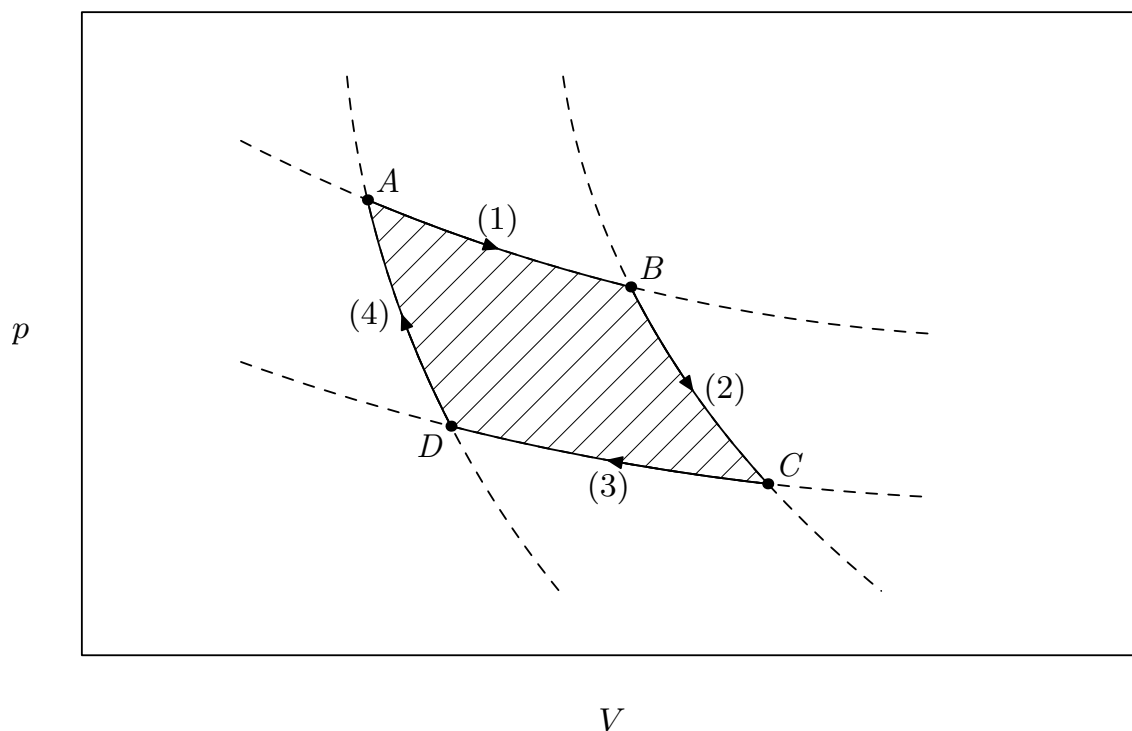
- zmenšení hustoty molekul  $\rightarrow$  zvětšení střední volné dráhy  $l$ 
  - délka přímočarého úseku mezi dvěma srážkami
- střední volná dráha molekuly  $\lambda$ 
  - aritmetický průměr středních volných drah všech molekul
  - statistická veličina
  - nepřímo úměrná tlaku
- pokles střední srážkové frekvence  $z$ 
  - počet srážek za jednotku času
- velmi nízké tlaky ( $10^{-5}$  Pa) – střední volná dráha větší než rozměry nádoby – téměř nedochází ke srážkám

### 10.5.2 Vysoký tlak

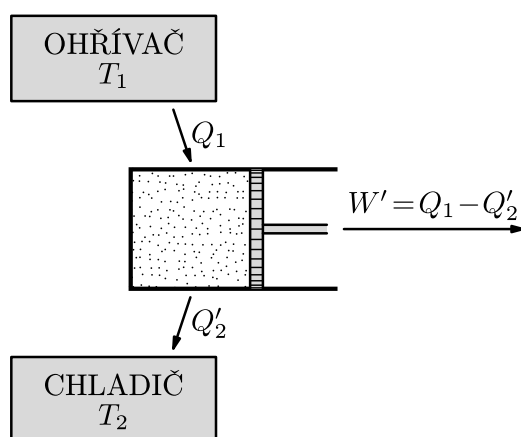
- zvýšení hustoty molekul  $\rightarrow$  zmenšení střední volné dráhy  $\lambda$
- nelze zanedbat přitažlivé síly a vlastní objem molekul
- dostatečně vysoký tlak a dostatečně nízká teplota – vazby mezi molekulami; zkapalnění

## 10.6 Tepelné motory

- stroje přeměňující vnitřní energii na mechanickou energii
- typy



Obr. 10.3: Diagram kruhového děje (Carnotův cyklus)



Obr. 10.4: Schéma tepelného stroje

- parní motory – pára, získání mimo vlastní motor
- spalovací motory – plyn vzniklý při hoření paliva, vznik uvnitř motoru

Tepelný motor	$\eta_{\max}$	$\eta$	Poznámka
parní stroj lokomotivy	0,35	0,09 - 0,15	účinnost parních motorů lze zvýšit užitím přehřáté páry
parní turbína	0,60	0,25 - 0,35	
plynová turbína	0,55	0,22 - 0,37	
čtyřdobý zážehový motor	0,65	0,20 - 0,33	vzduch se zahřívá již kompresí a poté spalováním nafty
vznětový motor	0,73	0,30 - 0,42	
raketový motor	0,75	0,50	vysoká účinnost je dána tím, že $T_1 = 4\,000\text{ K}$

Tab. 10.1: Porovnání typů tepelných motorů

### 10.6.1 Parní stroj

- historický význam
- vznik 1769 – James Watt → prudký rozvoj techniky
- používán do 60. let 20. stol.
- pálení uhlí → ohřívání vodní páry → pohyb pístu

### 10.6.2 Turbíny

- roztáčení vícestupňové turbíny pomocí par nebo plynů pod vysokým tlakem
- roztočení turbíny → ochlazení plynu

### 10.6.3 Zážehové motory

- spalování benzínových par a vzduchu uvnitř komor → expanze plynu → pohyb pístu
- převod posuvného pohybu na rotační

#### Čtyřdobý zážehový motor

- 4 fáze – sání, komprese, výbuch, výfuk plynů
- auta, letadla, generátory...
- možnost regulace přívodu paliva

#### Dvoudobý motor

- pouze 2 fáze; sání a komprese dohromady a výbuch a výfuk dohromady
- jednodušší, ale méně efektivní
- menší vozidla, malé přenosné zařízení (sekačky, pily...)