sTUDIJNÍ OPORY 13 - 14

struktura a vlastnosti plynů

13) ideální plyn

Plyny se vyznačují nejjednodušší strukturou, kterou tvoří jednoatomové či dvouatomové izolované molekuly vzdálené na velkou vzdálenost vzhledem  ke své velikosti. Tepelný pohyb je téměř bez vzájemného působení, energie plynu je tedy tvořena převážně kinetickou energií pohybujících se molekul.

Situace u skutečného – **REÁLNÉHO** – plynu je složitější než si představujeme, proto je nutné ve fyzice tento problém eliminovat zavedením **FYZIKÁLNÍHO MODELU – IDEÁLNÍHO PLYNU**.

**ROZMĚRY MOLEKUL IDEÁLNÍHO PLYNU JSOU VE SROVNÁNÍ SE STŘEDNÍ VZDÁLENOSTÍ MOLEKUL OD SEBE ZANEDBATELNĚ MALÉ**

Při dostatečně vysokých teplotách a nízkých tlacích lze opravdu téměř ideální plyn získat z reálného plynu.

**MOLEKULY IDEÁLNÍHO PLYNU MIMO VZÁJEMNÉ SRÁŽKY NA SEBE NAVZÁJEM SILOVĚ NEPŮSOBÍ**

Vnitřní energie plynu je tedy pouhým součtem kinetických energií pohybujících se molekul (rotace, translace, vibrace).

**VZÁJEMNÉ SRÁŽKY JSOU DOKONALE PRUŽNÉ**

Doba trvání srážky je ve srovnání s přímočarým pohybem v prostoru krátká, navíc se celková energie molekul nemění.

rozdělení molekul plynu dle rychlostí

Molekuly plynu se pohybují prostorem, vzájemně **na sebe naráží**, což ovlivňuje jejich směr pohybu a také rychlost. Rychlost se tedy mění stále a neuspořádaně. V plynu budou tedy **různé molekuly** mít v určitém okamžiku **různé rychlosti**.

**LAMMERTŮV POKUS**



Dva kotouče (K1,K2) mají na svém obvodu štěrbinu (Š1,Š2), které jsou vzájemně otočeny o úhel . Kotouče jsou spojeny tyčí (spojnice) a rotují s úhlovou rychlostí . Do štěrbiny Š1 namíříme proud molekul, sledujeme stínítko S.

**CO SE DĚJE?** Štěrbinou Š1 proletí všechny molekuly, které zde vyzáříme. Ale štěrbinou Š2 proletí už pouze některé molekuly, což nám dokazuje stínítko.

**PROČ?** Druhou štěrbinou totiž proletěly pouze ty molekuly, které měly takovou rychlost, aby stihly štěrbinou proletět, ostatní narazily na kotouč a na stínítku se neobjevily.

*JAKÁ JE RYCHLOST MOLEKUL, KTERÉ PROLETĚLY?* 

CO ZE VŠEHO PLYNE? Pokud budeme měnit rychlost rotace kotoučů za konstantní TEPLOTY, tak můžeme na stínítku S sledovat, jaký počet molekul má jakou velikost rychlosti a pečlivě zapisovat do tabulky.

**EXPERIMENTÁLNĚ TAK ZJISTÍME ROZDĚLENÍ MOLEKUL PODLE RYCHLOSTI**

TABULKA A HISTOGRAM

**TABULKA ČETNOSTÍ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| v, v+v / m.s-1 | N / N | N / N . 100% |
| 0 – 100 | 0,1 | 10 |
| 100 – 200 | 0,7 | 70 |
| 200 – 300 | 0,2 | 20 |
| SOUČET | 1 | 100 |

**HISTOGRAM**



Rozdělením molekul studoval **J.C.MAXWELL** (1831/1879), věnoval se propojení statistiky s fyzikou velkého množství částic.

14) rozdělovací zákon

Zákon je důsledkem Maxwellovy statistické fyziky a Lammertova pokusu. Z nich víme, že se vždy určitý počet molekul plynu (N) pohybuje s určitou rychlostí ve stanoveném rozmezí (v až v + v). Jiné molekuly se mohou pohybovat v odlišném rozmezí. Molekuly lze dělit podle rychlostí.

nejpravděpodobnější rychlost MOLEKUL (vp)

Pokud **rozdělíme** molekuly plynu podle jejich rychlostí, tak není problém najít skupinu molekul, kterých je **nejvíce** a mají stejnou rychlost. Tato rychlost je **nejpravděpodobnější** rychlostí. Makroskopicky tedy popisujeme rychlost pohybu molekul pomocí jediné rychlosti vp, která nám charakterizuje látku z hlediska statistiky. V histogramu odpovídá vždy nejvyššímu bodu.

střední kvadratická rychlost molekul (vK)

Lammertův pokus nám ukázal, že N1 částic se pohybuje s rychlostí v1, N2 částic se pohybuje s rychlostí v2 a tak dále. Částice jsou všechny stejné a mají hmotnost mo. Pro celkovou energii částic plynu platí:



Uděláme matematický trik vystihující statistický popis látky



Kde nově vytvořenou veličinu vK nazýváme **STŘEDNÍ KVADRATICKÁ RYCHLOST**. Makroskopicky tedy popisujeme rychlost pohybu molekul s rychlostí vK.

střední rychlost molekul (vs)

Získáme ji tak, že sečteme všechny rychlosti, které mají molekuly a vydělíme počtem molekul.



Kde nově vytvořenou veličinu vS nazýváme **STŘEDNÍ RYCHLOST**. Makroskopicky tedy popisujeme rychlost pohybu molekul s rychlostí vS.

STATISTICKÝ POPIS

Molekula plynu se pohybuje přímočaře až do srážky. Dráze, kterou opíše mezi dvěma srážkami říkáme **VOLNÁ DRÁHA (l).** Molekula však projde velkým množstvím srážek, volná dráha je tedy různá. Proto určujeme aritmetický průměr volných drah, kterému říkáme **STŘEDNÍ VOLNÁ DRÁHA** (v tabulkách MFChT. Pokud ale v kompresoru zvětším tlak plynu, tak umožním molekulám, aby byly blíže u sebe, množství srážek se zvýší, tudíž klesá délka . Naopak ve vývěvě snížím tlak plynu a molekuly do sebe naráží méně a  se prodlužuje. Je vidět, že : 

Z hlediska **MIKROSKOPICKÉHO** se neustále mění u molekul plynu po srážce velikost i směr rychlosti. Z hlediska **makroskopického** se nám ale zdá, že u plynu k žádným změnám nedochází – to je proto, že veličiny jako tlak, teplota, objem jsou závislé **JEN NA STŘEDNÍ HODNOTĚ** změn, ke kterým dochází (pokud se u jedné molekuly zvýší rychlost o stejnou hodnotu, jako se u druhé sníží, tak střední hodnota se nezmění, pak je systém stále v rovnováze a ke změně tudíž makroskopicky nedošlo). Díky obrovskému počtu molekul, však toto vzájemné vyrovnání změn nemůžeme pozorovat a užíváme **STATISTIKY**, ta říká:

**POKUD V PLYNU PROBĚHNE ZMĚNA V JEDNOM SMĚRU JE TÉMĚŘ 100% PRAVDĚPODOBNOST, ŽE PROBĚHNE I VE SMĚRU OPAČNÉM**

Pokud je však částic **malé množství**, tak může docházet k výrazným odchylkám, ty se projeví i změnou střední hodnoty makroskopické veličiny. Říkám, že dochází k **FLUKTUACI** veličiny kolem střední hodnoty.

popis teploty z hlediska molekulové fyziky

Molekuly plynu konají tepelný pohyb, který je závislý na teplotě vnějšího okolí. S teplotou rychlost pohybu roste a tím i vnitřní energie plynu. Opět dle statistického popisu sledujeme **STŘEDNÍ HODNOTU ZMĚNY TÉTO ENERGIE**.



Ovšem Maxwell teoreticky a Boltzmann prakticky stanovili



„T“ je termodynamická teplota, „mo“ je hmotnost molekuly, „k“  je **BOLTZMANNOVA KONSTANTA**: 

sTUDIJNÍ OPORY 15 – 19

15–16) stavová rovnice pro ideální plyn

stav

Plyn se vždy po určitém čase za stálých vnějších podmínek dostane do stavu termodynamické rovnováhy. Každý stav lze charakterizovat konstantními stavovými veličinami. U plynu popisujeme stavové veličiny:

1. TERMODYNAMICKÁ TEPLOTA - T
2. TLAK - p
3. OBJEM -V
4. Počet molekul – N

Lze najít fyzikální vztah, který spojuje všechny popsané stavové veličiny do jedné závislosti – říkáme mu **STAVOVÁ ROVNICE**.





Ovšem molární veličina má i jiná vyjádření:

,

kde „NA“ i „k“ jsou konstanty, můžeme tedy ze dvou konstant udělat jedinou: NA . k = (6,022 . 1023) . (1,38 . 10-23) J.K-1.mol-1 = 8,31 J.K-1.mol-1 = R

Konstantě R říkáme MOLÁRNÍ PLYNOVÁ KONSTANTA.

,

kde m je hmotnost látky a M je molární hmotnost látky uvedená v tabulkách MFChT.

stavová změna

Budeme mít stejnou látku, která bude přecházet v rovnovážném ději ze stavu A do stavu B:



reálný plyn

Stavová rovnice byla upravena **VAN DER WAALSEM** (1837-1923) na tvar, který lépe vystihoval reálný plyn:

 , kde „a“ a „b“ jsou konstanty závislé na druhu plynu

1) V nádobě o objemu 3,0 l je dusík N2 o hmotnosti 56 g a teplotě 300,16 K. Jaký je jeho tlak.

2) Jak se změní objem plynu, pokud jeho T vzroste dvakrát a p vzroste o 25%.

17) IZOTERMICKÝ DĚJ S IDEÁLNÍM PLYNEM

Děj v ideálním plynu, který probíhá při STÁLÉ TEPLOTĚ. Plyn o neměnné hmotnosti mezi dvěma stavy mění svůj objem a tlak. Ze stavové rovnice vyplývá: 



**BOYLŮV – MARIOTTŮV ZÁKON**: Při izotermickém ději je součin tlaku a objemu plynu stálý (jde-li o ideální plyn neměnné hmotnosti)

**Grafické znázornění** se provádí do grafu závislosti tlaku na objemu - graf (hyperbolu) nazýváme IZOTERMA:



energetické hledisko



Pokud je neměnná teplota, pak se nemůže ani měnit kinetická energie molekul a tudíž ani vnitřní energie ⇒ U = 0. Co platí pro I.termodynamický zákon?



**TEPLO PŘIJATÉ PŘI IZOTERMICKÉM DĚJI SE ROVNÁ PRÁCI, KTEROU PLYN PŘI TOMTO DĚJI VYKONÁ**

1) V nádobě o objemu 30 l je uzavřen plyn při tlaku 10 MPa. Jaký je jeho objem při normálním tlaku pokud se teplota plynu nezmění a plyn je ideální.



2) Jak se změní tlak plynu, pokud se jeho objem zvětší o 30%.



3) Jaké teplo musí předat ideální plyn při izotermickém ději, pokud je stlačován působením práce 60 kJ.



18a) izochorický DĚJ S IDEÁLNÍM PLYNEM

Děj v ideálním plynu, který probíhá při STÁLÉM OBJEMU. Plyn o neměnné hmotnosti mezi dvěma stavy mění svůj tlak a teplotu. Ze stavové rovnice vyplývá: 



**CHARLESŮV ZÁKON**: Při izochorickém ději je tlak plynu přímo úměrný jeho termodynamické teplotě (jde-li o ideální plyn neměnné hmotnosti)

**Grafické znázornění** se provádí do grafu závislosti tlaku na objemu – graf (úsečku) nazýváme IZOCHORA:



PRAXE – plynový teploměr (závislost tlaku na teplotě za neměnného objemu)

energetické hledisko

Při zvýšení teploty z T1 na T2 musí plyn přijmout teplo Q, aniž by se ale změnil jeho objem. Plyn nemění objem a tedy nemůže ani konat práci ⇒ W = 0. Co platí pro 1. termodynamický zákon





**TEPLO PŘIJATÉ PŘI IZOCHORICKÉM DĚJI SE ROVNÁ PŘÍRŮSTKU VNITŘNÍ ENERGIE PLYNU**

úlohy

1) Plyn uzavřený v nádobě má při teplotě 110C tlak 189 kPa. Při jaké teplotě bude mít tlak 1 MPa.



2) Určete měrnou tepelnou kapacitu tělesa o m=1kg při izochorickém ději, pokud se zvýšila vnitřní energie o 1500 J zahřáním z 150C na 650C.



18b) izoBArický DĚJ S IDEÁLNÍM PLYNEM

Děj v ideálním plynu, který probíhá při STÁLÉM TLAKU. Plyn o neměnné hmotnosti mezi dvěmi stavy mění svůj objem a teplotu. Ze stavové rovnice vyplývá: 



**GAY-LUSSACŮV ZÁKON**: Při izobarickém ději je objem plynu přímo úměrný jeho termodynamické teplotě (ideální plyn neměnné hmotnosti)

**Grafické znázornění** se provádí do grafu závislosti tlaku na objemu – graf (úsečku) nazýváme IZOBARA:



energetické hledisko

Při zvýšení teploty z T1 na T2 musí plyn přijmout teplo Q, aniž by se ale změnil jeho tlak. Plyn nemění tlak, ale může měnit objem a vykonat práci. Co platí pro 1. termodynamický zákon





**TEPLO PŘIJATÉ PŘI ADIABATICKÉM DĚJI SE ROVNÁ SOUČTU PŘÍRŮSTKU VNITŘNÍ ENERGIE A PRÁCE, KTEROU PLYN VYKONÁ**

SROVNÁNÍ

IZOCHORICKÝ DĚJ: teplo dodané plynu se mění na změnu vnitřní energie

IZOBARICKÝ DĚJ: část tepla dodaného plynu se mění na změnu vnitřní energie a část na práci, kterou plyn vykoná při svém rozepnutí

Abychom zahřáli plyn při IZOBARICKÉM DĚJI na stejnou teplotu jako při ději IZOCHORICKÉM, je nutno dodat plynu více tepla (protože část energie se ztratí na vykonání práce)

**MĚRNÁ TEPELNÁ KAPACITA PŘI STÁLÉM TLAKU JE VĚTŠÍ NEŽ CV**



19a) ADIABATICKÝ DĚJ S IDEÁLNÍM PLYNEM

Děj v ideálním plynu, který probíhá bez TEPELNÉ VÝMĚNY mezi plynem a okolím. Co tedy platí z 1. termodynamického zákona? 

a) Při adiabatickém stlačení (kontrakci) plynu se koná práce okolí a vnitřní energie plynu se nutně zvětšuje (částice více narážejí na stěnu nádoby), teplota plynu tedy stoupá.

b) Při adiabatickém rozpínání (expanzi) koná práci plyn a vnitřní energie plynu se nutně snižuje (částice jsou dále od sebe a méně narážejí na stěnu nádoby), teplota plynu tedy klesá.

DĚJ

**POISSONŮV ZÁKON**: Při adiabatickém ději je součin tlaku a objemu plynu umocněného na koeficient KAPPA stálý (jde-li o ideální plyn neměnné hmotnosti) , kde cP/cV….>1 (tab. MFChT)

**Grafické znázornění** se provádí do grafu závislosti tlaku na objemu (PROČ? dovíme se dále v učivu) – graf (hyperbola) nazýváme ADIABATA, která se liší od izotermy stejného plynu o stejných vlastnostech tím, že klesá STRMĚJI:



**Hasicí přístroj**: Silně stlačený oxid uhličitý po otevření ventilu probíhá velmi rychlou a drastickou EXPANZÍ ,doba expanze je tak rychlá, že se nestačí vyměňovat teplo s okolím a plyn sníží svou vnitřní energii (ochladí se natolik), že se plynná fáze mění až na pevnou látku a vytváří se vločky CO2.

**VZNĚTOVÉ MOTORY**: Při velmi rychlé kompresi plynu v pístu se nestačí vyměnit teplo s okolím a dochází k velmi silnému zahřátí plynu, do kterého je vstříknuta nafta, která se díky velké teploty okamžitě vznítí.

**HROM**: při průchodu leaderu blesku dochází k velmi rychlému a drastickému zahřátí plynu, ten nestačí teplo předat dál a silně se rozepne – vnímáme jako zvuk – hrom

19B) práce vykonaná plynem

děj izobarický

Plyn se roztahuje za konstantního tlaku, působí tedy tlakem na píst o obsahu S do vzdálenosti Δs. Jakou práci tímto přesunem vykoná?





a) rozpínání: ΔV=Vk - Vz  ⇒ ΔV > O , pak je tedy práce plynu kladná – plyn vykonal práci

b) stlačování: ΔV=Vk - Vz  ⇒ ΔV < O , pak je tedy práce plynu záporná – okolní soustava vykonala práci

Popišme práci plynu při izobarickém ději pomocí pV diagramu ⇒



**PRÁCE ROZTAHUJÍCÍHO SE PLYNU JE DÁNA OBSAHEM PLOCHY POD IZOBAROU**

(pV diagram je tudíž také nazýván pracovní diagram)

izotermický, adiabatický děj

Se změnou objemu plynu při těchto dějích se mění i tlak plynu. Vztah odvozený výše tedy nelze užít. ALE! můžeme změnu objemu plynu rozdělit na obrovské množství malinkých úseků změn objemu, kdy můžeme považovat tlak plynu za konstantní. Pokud celková změna objemu je : ΔV = ΔV1 + ΔV2 + ……+ ΔVn pak lze psát pro práci plynu: W´= p1 ΔV1 + p2 ΔV2 + …….+ pn ΔVn

Popišme práci plynu při izotermickém ději pomocí pracovního diagramu ⇒



**PRÁCE ROZTAHUJÍCÍHO SE PLYNU JE ZNÁZORNĚNA OBSAHEM PLOCHY POD KŘIVKOU (IZOTERMA, ADIABATA, POLYTROPA)**

STUDIJNÍ OPORA 20 - 22

20-21) KRUHOVÝ (CYKLICKÝ) DĚJ

děj

Je děj, kdy je konečný a počáteční stav plynu totožný. Křivka v pV diagramu musí být tedy **nutně uzavřená**. *Obsah plochy* uvnitř křivky kruhového děje znázorňuje **celkovou práci** vykonanou během jednoho cyklu.

**TEPELNÝ STROJ** (zážehové motory, vznětové motory, turbíny,aj.)

**Plyn přijme teplo Q1** a koná práci ⇒ rozepne se ze stavu A do B (horní část křivky). Následně vykonáním práce okolní soustavy přechází zpět do původního stavu po spodní křivce spojující body B a A, při této kompresi **odevzdává teplo** **Q2**. Je zřejmé, že Q2 < Q1.



**PLYN VYKONAL PRÁCI**: W´= Q1 – Q2 > 0

(zisk energie pro funkci motoru)

**CHLADÍCÍ STROJ** (ledničky, mrazničky,….)

**Plyn přijme teplo Q1** a koná práci ⇒ rozepne se ze stavu A do B (dolní část křivky). Následně vykonáním práce okolní soustavy přechází zpět do původního stavu po horní křivce spojující body B a A, při této kompresi **odevzdává teplo Q2**. Je zřejmé, že Q2 > Q1



**OKOLÍ VYKONALO PRÁCI**: W´= Q1 – Q2 < 0 ⇒ W > 0 (pokud vnější okolí musí vykonat práci, tak se ochladí : ΔU = Q + W )

účinnost

Ohřívač je těleso, které poskytuje plynu teplo a chladič je těleso, které pohlcuje teplo od plynu. V práci plynu se může přeměnit jen určitá část tepla ohřívače, pak platí:





Pomocí účinnosti lze vzájemně porovnat motory a jejich výhody a spořivost.

carnotův cyklus

V roce 1824 francouz Sardi Carnot teoreticky sestavil **kruhový děj s největší dosažitelnou energií**. Dějbyl složen s 2 dějů izotermických a 2 dějů adiabatických. Navíc Carnot definoval účinnost strojů jako:

,

kde T1 je teplota plynů při výbuchu paliva a T2 je teplota výfukových plynů.

22) druhý termodynamický zákon

Při styku látek s odlišnou teplotou dochází k výměně energie, k předání tepla. Teplo určíme: Q = c . m . ∆T. Voda v mořích a oceánech tedy skrývá obrovskou energii, pokud bychom dokázali využili energii z těchto vodních ploch, tak bychom vyřešili energetický problém planety. Jedná se však o **PERPETUM MOBILE 2. DRUHU**, což definuje 2.termodynamický zákon.

a) **CLAUSIOVA FORMULACE**: teplo samovolně přechází z tělesa teplejšího na chladnější, ale nikdy ne naopak (rychlejší molekuly předávají Ek pomalejším)

b) **BOLTZMANNOVA FORMULACE**: izolovaná soustava přechází od stavu méně pravděpodobného ke stavu pravděpodobnějšímu, konečný stav je tedy stavem s největší pravděpodobností – nikdy tomu nemůže být naopak. Tento popis dává vztah pro ENTROPII (S): S = k . ln (Pk / Pp) ⇒ každá soustava chce dosáhnout maximální entropie.

c) **PLANCKOVA FORMULACE**: Není možné sestrojit periodicky pracující stroj, který by jen přijímal teplo od určitého tělesa (ohřívače) a vykonával stejně velkou práci.



třetí termodynamický zákon

**Není možné žádným procesem ochladit látku na teplotu 0K**

Při absolutní nule by totiž energie molekul byla nulová, ustal by neuspořádaný pohyb molekul a došlo by k „tepelné“ smrti látky. Tento jev fyzika neumí popsat a nikdy se ještě nepodařilo absolutní nuly dosáhnout. Znamenalo by to popření druhého termodynamického zákona, pokud bychom za chladič užili těleso o 0K pak by platilo, že veškeré teplo lze přeměnit na práci plynu.