

Meno a priezvisko:

Škola:

Škola pre mimoriadne nadané deti a Gymnázium

Školský rok/blok:

Predmet:

Fyzika

Trieda:

Dátum:

Teória

1 Molekulová fyzika a termodynamika

Štruktúra a vlastnosti plynov

2.9 Kruhový dej s plynom

Na konštrukciu ideálneho motora chceme využiť skutočnosť, že plyn koná pri rozpínaní prácu.

Najjednoduchšia konštrukčná možnosť na zostrojenie motora: Pustíme nafúknutý balónik. Balónik sa vyfukuje, vytlačuje vzduch a vytlačený vzduch postrkuje balónik dopredu (koná prácu).

Problém: Balónik sa vyfúkne a tým jeho činnosť ako motora skončí → je to dosť veľká nevýhoda → kupovať si pred každou jazdou nový motor nevyzerá príliš ekonomicky.

Cieľ:

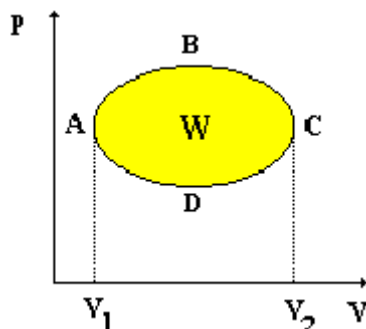
- Motor musí pracovať cyklicky (stále dookola). Vždy po vykonaní jedného cyklu sa musí vrátiť do počiatočného stavu. Nemôže teda fungovať ako jednorázovo nafúknutý balónik, ktorý po vypustení prestane pracovať. Ak by sme chceli ako motor použiť vyfukujúci sa balónik, musí činnosť nášho motora obsahovať aj nafukovanie balóniku.
- Na pozorovanie správania a funkcie motora použijeme pV diagram (z neho možno odčítateľ prácu).
- Nebudeme riešiť technické detaily, jedná sa len o kvalitatívny náhľad situácie (nebudeme počítať, len kresliť).
- Zaujímá nás energetická účinnosť motora → budeme pozorovať ako prijíma a odovzdáva teplo, ako sa mení jeho vnútorná energia, akú koná prácu.

Pripomienka:

- 1. termodynamický zákon: $\Delta U = W + Q$ (zmena vnútornej energie sa rovná práci, ktorú vykoná okolie a dodanému teplu).
- $Q = \Delta U + W'$ (dodané teplo sa spotrebuje na zmenu vnútornej energie a prácu vykonanú plynom, $W' = -W$, niekedy sa označuje aj W_p - práca plynu)

Prácu, ktorý môže vykonávať plyn uzavorený vo valci s pohyblivým piestom pri zväčšovaní objemu, má obmedzenú veľkosť. Plyn totiž nemôže stále zväčšovať svoj objem. Tepelný stroj môže pracovať len vtedy, pokiaľ sa plyn vždy po skončení expanzie vráti späť do pôvodného stavu. Dej, pri ktorom je konečný stav sústavy totožný so stavom počiatočným, sa nazýva **kruhový dej (cyklický dej)**.

Grafom vyjadrujúcim závislosť tlaku plynu p ako funkcie objemu V pri kruhovom deji je vždy uzatvorená krivka.



Simulácia Carnotovho cyklu:

http://galileoandeinstein.physics.virginia.edu/more_stuff/flashlets/carnot.htm

www.pokus.tk

Prácu, ktorú vykoná pracovná látka (tj. plyn alebo para) pri zväčšovaní objemu zo stavu A do stavu C , je možné znázorniť v pracovnom diagrame ako obsah plochy pod krivkou ABC . Pri spätnom prechode plynu zo stavu C do stavu A po krivke CDA sa objem pracovnej látky zmenší vplyvom pôsobenia vonkajších síl. Okolité telesá pritom konajú prácu, ktorú je možné znázorniť v pracovnom diagrame obsahom plochy pod krivkou CDA . Celková práca, ktorú vykoná plyn pri jednom cykle kruhového deja, je potom rovná rozdielu práce, ktorú vykonal v prvej časti cyklu plyn, a práce, ktorú vykonala okolité telesá v druhej časti cyklu. Túto výslednú prácu W je možné znázorniť v pracovnom diagrame ako obsah plochy vo vnútri krivky $ABCD$ (na obrázku je plocha označená žltou (resp. sivou)). Cyklus sa môže mnohokrát opakovať, takže tepelný stroj, v ktorom sa cyklus opakuje, môže trvale konať prácu.

Vzhľadom k tomu, že počiatočný a koncový stav sústavy sú totožné, je celková zmena vnútornej energie pracovnej látky po ukončení jedného cyklu nulová ($\Delta U = 0$). Teleso, od ktorého pracovná látka prijme v priebehu jedného cyklu teplo Q_1 , sa nazýva **ohrievač**, teleso, ktorému pracovná látka odovzdá teplo Q_2 sa nazýva **chladič** ($Q_2 < Q_1$). Celkové teplo, ktoré pracovná látka v priebehu jedného cyklu prijme je $Q = Q_1 - Q_2$. Pomocou prvého termodynamického zákona dostávame $Q = W'$: Celková práca vykonaná pracovnou látkou v priebehu jedného cyklu kruhového deja je rovná celkovému teplu, ktoré prijme v priebehu tohoto cyklu od okolia.

Z tepla Q_1 odobraného ohrievačom sa využije len časť na vykonanie práce W' , pretože zostávajúca časť tepla (teplo Q_2) odovzdá plyn chladiču. Pre účinnosť η kruhového deja platí:

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

Úloha 1: Pokúste sa nájsť v pV diagrame bod, z ktorého by bolo výhodné začať činnosť motora, ktorý by mal vykonávať prácu.

Úloha 2: Navrhните dej, ktorý by sme mohli nechať prebehnúť v plyne, aby plyn vykonal prácu.

Počiatočný stav sa zhoduje s konečným $\rightarrow$ cyklus sa môže neustále v kruhu opakovať. Nazývame to **kruhový dej**. Prehľad jednotlivých fáz:

- I. **Izotermická expanzia:** V rastie; p klesá; $T = \text{konšt.}$; $W_p > 0$ (plyn koná prácu); $\Delta U = 0$ (teplota sa nemení); $Q > 0$ (plyn si udržiava teplotu prijatím tepla od ohrievača).
- II. **Izochorické ochladenie roztiahnutého plynu:** $V = \text{konšt.}$; p klesá; T klesá; $W_p = 0$ (plyn nekoná prácu – objem sa nemení); $\Delta U < 0$ (teplota sa znižuje – plyn sa ochladzuje); $Q < 0$ (plyn odovzdáva teplo chladiču aby sa ochladil).
- III. **Izotermické stlačenie ochladeného plynu:** V klesá; p rastie; $T = \text{konšt.}$; $W_p < 0$ (okolie musí stlačiť plyn); $\Delta U = 0$ (teplota sa nemení); $Q < 0$ (stláčaný plyn odovzdáva teplo okoliu, aby sa nezahrial).
- IV. **Izochorické ohriatie stlačeného plynu:** $V = \text{konšt.}$; p rastie; T rastie; $W_p = 0$ (plyn nekoná prácu – objem sa nemení); $\Delta U > 0$ (plyn sa ohrieva); $Q > 0$ (plyn prijíma teplo aby sa ohrial).

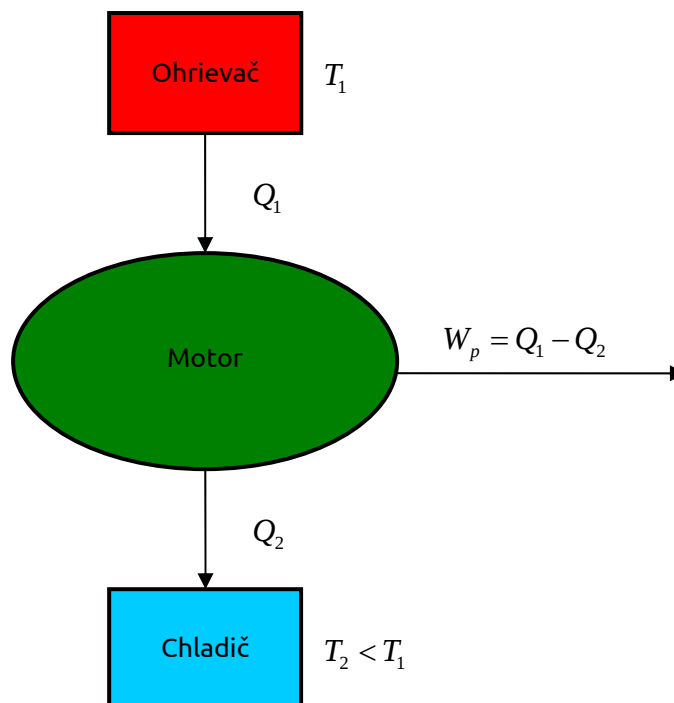
Celkovo za jeden cyklus:

- Práca vykonaná motorom (výkon): $W = W_p(I) - W_p(III)$
- Energia dodaná motoru (príkon): Q_1 je teplo prijaté vo fázach I a IV

- Energia nevyužitá motorom (straty): Q_2 je teplo odovzdané vo fázach II a III
- Platí: $Q_1 = Q_2 + W$

Zhrnutie činnosti motora: Motor odoberá teplo z ohrievača (ohrievač je zdroj tepla s vysokou teplotou), prenáša ho na chladič (prijemca tepla s nízkou teplotou) a jeho časť tepla mení na prácu.

Schéma č. 1:



Účinnosť motora: $\eta = \frac{\text{výkon}}{\text{príkon}} = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$

Môžeme zostrojiť periodicky pracujúci stroj, ktorý pomocou kruhového deja prenáša teplo z ohrievača na chladič a jeho časť mení na prácu.

2.10 Druhý termodynamický zákon

Z tepla prijatého od ohrievača je možné využiť na konanie práce len časť, zvyšok tepla odovzdáva pracovná látka chladiču. Toto vyjadruje druhý termodynamický zákon:

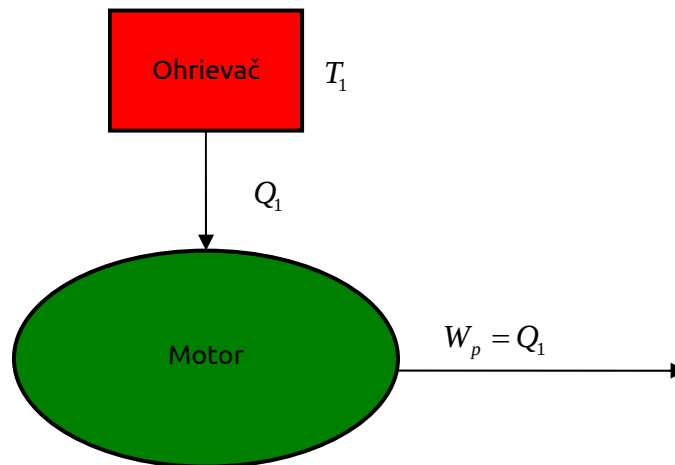
Nie je možné zostrojiť periodicky pracujúci tepelný stroj, ktorý by len prijímal teplo od určitého telesa (ohrievača) a menil by ho na ekvivalentnú prácu (vykonával by prácu ekvivalentnú dodanému teplu). (Thomsonova formulácia)

Iná, ekvivalentná formulácia druhého termodynamického zákona je Clausiova formulácia, ktorá vychádza z každodennej skúsenosti:

Teplo nemôže samovoľne (t.j. bez konania práce) prechádzať z telesa chladnejšieho na teleso teplejšie.

Periodicky pracujúci tepelný stroj môže pracovať podľa schémy č. 1. Podľa schémy č. 2 nie je možné zostrojiť periodicky pracujúci tepelný stroj. Takýto typ stroja by sme nazvali **perpetuum mobile druhého druhu**, ktoré by malo značný praktický význam: mohlo by vykonávať prácu ochladzovaním telesa (napríklad more).

Schéma č. 2:



Poznámka: Ak v Thompsonovej formulácii vynecháme slovo „periodicky“, môžeme takýto stroj zostrojiť. Rovnako ak vynecháme aj v Clausiovej formulácii slovo „samovoľne“, budeme môcť teplo prenášať z telesa chladnejšieho na teleso teplejšie napríklad konaním práce.

Presne to sa odohráva v chladničke: Teplo je odoberané už relatívne chladnejšiemu telesu vo vnútri chladničky a je odovzdávané do okolia, ktoré má (najmä v lete) výrazne vyššiu teplotu ako je teplota vo vnútri chladničky.

Ak chceme „vyrábať“ veľa práce, musíme mať výkonný a čo najteplejší ohrievač a obrovský a čo najstudenší chladič, ktorý prijme veľa tepla a nezahreje sa.

Preto je samotný princíp motora nevýhodný – prácu vykoná len vďaka tomu, že ho postavíme do cesty tepla, ktoré chce prechádzať z ohrievača na chladič.

Predsalen – nešlo by postaviť motor, ktorý by len odoberal teplo z ohrievača a menil ho na prácu (perpetuum mobile druhého druhu) podľa schémy č. 2 ?

Príklad č.1:

Jadrová elektráreň Mochovce má výkon 2000MW . Určte o koľko stupňov by poklesla teplota vody v blízkom Hrone, ak by elektráreň získavala vyrábanú energiu z tepla vody. Prietok vody v Hrone pri

Tlmačoch je približne $40 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$.

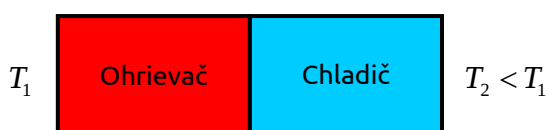
(Poznámka: Objemový prietok, resp. prietok, resp. prietokové množstvo, resp. prietokový objem sa zvykne označovať rovnako ako teplo Q . Vyjadruje objem kvapaliny (plynu, prachu, ...), ktoré prejde daným prierezom

(korytom rieky) za istý čas. $Q = S \cdot v = \frac{V}{t} \rightarrow V = Q \cdot t$; jednotka je $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$.)

Aj keď predošlý príklad neodporuje zákonu zachovania energie, nie je fyzikálne možný. Venujme pozornosť pV diagramu kruhového deja.

Celá prvá fáza I je presne to, čo potrebujeme. Motor odoberá teplo z ohrievača a koná prácu. Lenže plyn nemôžeme rozpínať donekonečna a pokiaľ chceme, aby motor pracoval trvalo (periodicky), musíme plyn zase stlačiť. Pokiaľ pri tom nechceme „minúť“ všetku získanú prácu, musíme ho ochladiť (a preto potrebujeme chladič a sme naspäť pri výmene tepla z teplejšieho telesa na chladnejšie).

Prečo nechce teplo prechádzať zo studenšieho telesa na teplejšie ? Nakreslíme si dve telesá – jedno horúce, druhé studené:



V ohrievači sa vyskytuje veľa rýchlych, ale málo pomalých molekúl. V chladiči sa nachádza málo rýchlych, ale veľa pomalých molekúl.

Čo by sa muselo stať, aby teplo prechádzalo z chladiča na ohrievač ?

- Rýchle molekuly z chladiča by sa museli zrážať s pomalými molekulami (oboch je málo).
- Pomalé molekuly z chladiča a rýchle molekuly z ohrievača by sa nesmeli zrážať navzájom (oboch je veľa).

Stať sa to môže, ale je to veľmi málo pravdepodobné (asi ako to, aby sa všetky molekuly z jednej polovice triedy náhodne premiestnili do druhej polovice).

Ďalšie formulácie druhého termodynamického zákona:

- Nie je možné zostrojiť periodicky pracujúci stroj, ktorý by len prijímal teplo od ohrievača a menil ho na ekvivalentnú prácu.
- Nie je možné zostrojiť perpetuum mobile druhého druhu.
- Teplo vždy prechádza z teplejšieho telesa k chladnejšiemu.

Problematika druhého termodynamického zákona je jednou z najlepších ukážok pomeru síl medzi prírodnými zákonmi a technikou. Technika nemôže ani o sebamenší kúsok pohnúť s prírodnými zákonmi (porušiť ich, nahradiť ich, prekonať ich). Technika musí všetky prírodné zákony dodržiavať a využívať ich k tomu, aby všetko dopadlo tak, ako človek potrebuje.

2.11 Tepelné stroje

Parná turbína je stroj, ktorý roztáča generátory striedavého prúdu v tepelných a jadrových elektrárnach.

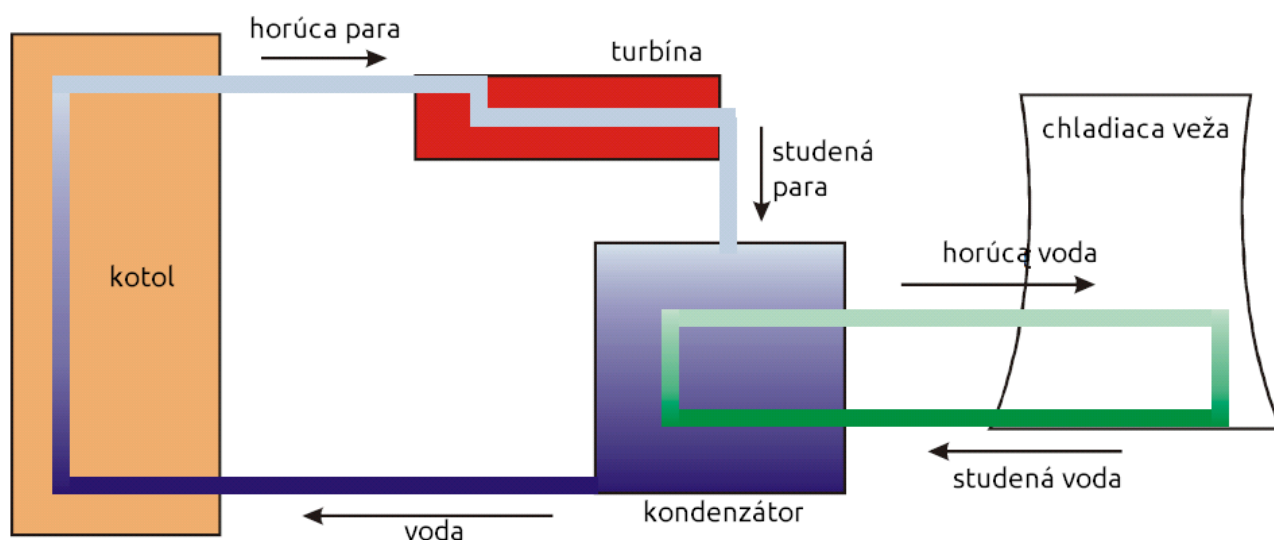
<http://www.youtube.com/watch?v=MulWTBx3szc> (čas 07:15).

Principiálne jednoduché zariadenie funguje rovnako ako detské „vrtuľky“. Do turbíny vháňame horúcu paru, ktorá fúka na lopatky turbíny a tým ju roztáča (ako vietor vrtuľky).

Technická realizácia je zložitejšia, turbíny majú zložitý systém lopatiek, ktoré sú určené pre paru rôznych tlakov. Každá turbína má dve časti:

- stator (stojaca časť) – lopatky smerujúce paru,
- rotor (točiacia sa časť) – obežné lopatky (naráža do nich para a tým sa rotor roztáča)

Schéma tepelnej elektrárne:



Na prvý pohľad vyzerá elektráreň ako dielo šialeného inžiniera, ktorý sa zameriava na plytvanie energiou: studenú paru, ktorá prešla (a točila turbínou), v kondenzátore pomocou vody z chladiaceho okruhu nechávame skvapalniť. Tým jej odoberáme energiu, ktorú jej potom musíme práčne dodávať v kotli.

Táto, na prvý pohľad nezmyselná činnosť musí mať svoj význam (inak by sa pri stavbe elektrární ušetrilo za chladiace veže). Vráťme sa k turbíne, kvôli ktorej sa elektrárne stavajú: K jej roztočeniu nestačí len veľký tlak horúcej pary na jej začiatku. Aby para turbínu roztočila, musí cez turbínu prúdiť na druhú stranu → na

druhej strane turbíny však musí byť tlak čo najmenší → kondenzátor mení paru na vodu a tým znižuje tlak na druhej strane turbíny.

Elektrárň je krásnou ukážkou tepelného stroja: teplo z ohrievača (kotel) prechádza na chladič (chladiacu vežu) a po ceste sa čiastočne mení na prácu (turbína).

Príklad č.2:

Para sa v kotli zahrieva na teplotu 500°C . V kondenzátore sa ochladzuje na 50°C . Urči maximálnu možnú účinnosť elektrárne.

Príklad č.3:

Vysvetlite, prečo je pre elektrárň výhodné studené počasie. Prečo elektrárň za studenej zimy vyrobí z rovnakého množstva uhlia viac elektriny?

Parný stroj je prvý hromadne používaný tepelný stroj.

<http://www.youtube.com/watch?v=yda4STR1Pe4> (čas 01:00).

Príklad č.4:

Odhadni, čo môžeme považovať v parnom stroji za teplotu ohrievača a čo za teplotu chladiča.