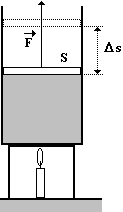
Kruhový děj s ideálním plynem, 2. Termodynamický zákon

**Práce vykonaná při stálém a proměnném tlaku**

Pokud plyn uzavřený ve válcové nádobě s pohyblivým pístem působí na píst tlakovou

silou F, pak při zvětšování objemu koná práci. Pokud zvětšování objemu plynu

probíhá při stálém tlaku (izobarický děj), pak tlaková síla o velikosti F = pS působící na

píst, je stálá. Při posunutí pístu o délku ∆s vykoná plyn práci W = F∆s = pS∆s

neboli W = p∆V

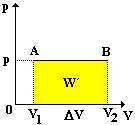
kde ∆V je změna objemu plynu.

Práce vykonaná plynem při izobarickém ději je rovna součinu tlaku plynu a

přírůstku jeho objemu.

Při zvětšení objemu plynu je ∆V > 0 a práce vykonaná plynem je kladná;

při zmenšení objemu plynu je ∆V< 0 a práce vykonaná plynem je záporná.



Práci plynu lze znázornit v diagramu p-V, který vyjadřuje tlak

plynu jako funkci jeho objemu. Izobarický děj je v diagramu p-V

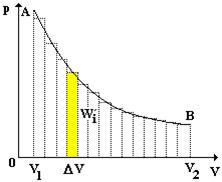
znázorněn izobarou AB. Z obrázku vyplývá, že práce vykonaná při

izobarickém ději, při němž plyn přejde ze stavu A do stavu B, je

znázorněna obsahem obdélníku ležícího v diagramu p-V pod

izobarou AB. Proto se tento diagram nazývá též pracovní

diagram.



Práce vykonaná plynem při proměnném tlaku

Při izotermickém nebo adiabatickém ději není tlaková síla působící

na píst stálá. Předpokládáme však, že objem plynu se postupně

zvětšuje z počátečního V1 o tak malé přírůstky objemu ∆V, že tlak

plynu p1, p2, p3, …, pn

lze při každé z těchto změn považovat za stálý.

Poněvadž děj, při němž se zvětší objem plynu o velmi malý přírůstek

objemu ∆V, lze považovat za izobarický, je práce vykonaná při

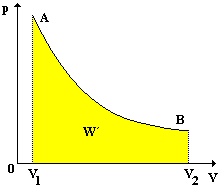
každém z těchto elementárních dějů určena vztahem

W = pí ∆V

Celková práce W vykonaná plynem při zvětšení objemu z počáteční

hodnoty V1 na konečnou hodnotu V2 je pak rovna součtu

W = p1∆V+p2∆V+ … +pí∆V



Práci při proměnném tlaku lze opět znázornit v diagramu p-V.

Celková práce vykonaná při celkové změně objemu je

znázorněna součtem obsahů všech obdélníků. Jsou-li změny

objemu ∆V dostatečně malé, rovná se součet obsahů všech

obdélníků obsahu barevné plochy na obrázku.

Práce vykonaná plynem při zvětšení objemu je v diagramu p-V je

znázorněna obsahem plochy, která leží pod příslušným obsahem

plochy, která leží pod příslušným úsekem křivky p = f(V).

**Kruhový děj**

[Práce](http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/46-mechanicka-prace), kterou může vykonávat plyn uzavřený ve válci s pohyblivým pístem při zvětšování objemu, má omezenou velikost. Plyn totiž nemůže stále zvětšovat svůj objem. Tepelný stroj může trvale pracovat jen tehdy, pokud se plyn vždy po ukončení expanze vrátí zpět do původního stavu. Děj, při němž je konečný [stav soustavy](http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/569-rovnovazny-stav-soustavy) totožný se stavem počátečním, se nazývá kruhový děj (cyklický děj). Grafem vyjadřujícím závislost [tlaku](http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/111-tlak-tekutin) *p* plynu jako funkci objemu *V* při kruhovém ději je tedy vždy uzavřená křivka.

Práci, kterou vykoná pracovní látka (tj. plyn nebo pára) při zvětšování objemu ze stavu *A* do stavu *C* ), lze znázornit v [pracovním diagramu](http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/46-mechanicka-prace) jako obsah plochy pod křivkou *ABC*. Při zpětném přechodu plynu ze stavu *C* do stavu *A* po křivce *CDA* se objem pracovní látky zmenší vlivem působení vnějších [sil](http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/26-sila-a-jeji-ucinky-na-teleso). Okolní tělesa přitom konají práci, kterou je možno znázornit v pracovním diagramu obsahem plochy pod křivkou *CDA*. Celková práce, kterou vykoná plyn při jednom cyklu kruhového děje, je pak rovna rozdílu práce, kterou vykonal v první části cyklu plyn, a práce, kterou vykonala okolní tělesa v druhé části cyklu. Tuto výslednou práci *W* lze znázornit v pracovním diagramu jako obsah plochy uvnitř křivky *ABCDA*. Cyklus se může mnohokrát opakovat, takže tepelný stroj, v němž se cyklus opakuje, může trvale konat práci.

|  |
| --- |
| http://fyzika.jreichl.com/data/Termo_2_plyny_soubory/image141.png |
|  |

Vzhledem k tomu, že počáteční a koncový stav soustavy jsou totožné, je celková změna vnitřní [energie](http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/50-zakon-zachovani-energie) pracovní látky po ukončení jednoho cyklu nulová (∆U = 0). Těleso, od něhož pracovní látka přijme během jednoho cyklu teplo Q1, se nazývá ohřívač, těleso, kterému pracovní látka předá teploQ2 (Q1> Q2), se nazývá chladič. Celkové teplo, které pracovní látka během jednoho cyklu přijme je tedy Q = Q1 – Q2. Pomocí [prvního termodynamického zákona](http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/581-prvni-termodynamicky-zakon) pak dostáváme Q = W: Celková práce vykonaná pracovní látkou během jednoho cyklu kruhového děje je rovna celkovému teplu, které přijme během tohoto cyklu od okolí.

Z tepla Q1 odebraného ohřívači se využije jen část k vykonání práce W, neboť zbývající část tepla (teplo Q2) odevzdá plyn chladiči. Pro [účinnost](http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/51-vykon-prikon-ucinnost) http://fyzika.jreichl.com/data/Termo_2_plyny_soubory/image148.png kruhového děje tedy platí:  http://fyzika.jreichl.com/data/Termo_2_plyny_soubory/image149.png.

**Druhý termodynamický zákon**

Z tepla přijatého od [ohřívače](http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/609-kruhovy-dej) lze využít ke konání [práce](http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/46-mechanicka-prace) jen část, zbytek tepla odevzdává pracovní látka [chladiči](http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/609-kruhovy-dej). Tuto zkušenost vyjadřuje právě druhý termodynamický zákon:

*Není možné sestrojit 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).*

Toto byla formulace [zákona](http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/136-obsah-a-metody-fyziky) v podobě, v jaké ji vyslovil Thomson.

|  |  |
| --- | --- |
| http://fyzika.jreichl.com/data/Termo_2_plyny_soubory/image150.png | http://fyzika.jreichl.com/data/Termo_2_plyny_soubory/image151.png |
|  |  |

Jiná, ekvivalentní formulace druhého termodynamického zákona je formulace Clausiova, která vychází z každodenní zkušenosti:

*Teplo nemůže samovolně (tj. Bez konání práce) přecházet z tělesa chladnějšího na těleso teplejší*.

Periodicky pracující tepelný stroj tedy může pracovat pouze podle obr. 27. Podle obr. 28 není možné sestrojit periodicky pracující tepelný stroj. Takový typ stroje se nazývá [perpetum mobile](http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/51-vykon-prikon-ucinnost) druhého druhu, které by mělo značný praktický význam: mohlo by vykonávat práci pouhým ochlazováním jednoho tělesa (např. moře).

**Tepelné motory**

Tepelné motory jsou stroje, které přeměňují část [vnitřní energie](http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/575-vnitrni-energie) [paliva](http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/821-jaderny-reaktor) uvolněné hořením na [energii](http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/50-zakon-zachovani-energie) mechanickou. Dělí se na:

1. parní motory ([parní stroj](http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/612-parni-stroj), [parní turbína](http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/613-parni-a-plynova-turbina)) - pracovní látkou je vodní pára, která se získává v parním kotli mimo vlastní motor

2. spalovací motory ([plynová turbína](http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/613-parni-a-plynova-turbina), [zážehový motor](http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/614-zazehovy-motor), [vznětový motor](http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/617-vznetovy-motor), [proudový motor](http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/618-proudovy-motor) a [raketový motor](http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/619-raketovy-motor)) - pracovní látkou je plyn, vznikající hořením paliva uvnitř motoru

V roce 1824 francouzský fyzik S. Carnot dokázal, že pro [účinnost](http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/51-vykon-prikon-ucinnost) http://fyzika.jreichl.com/data/Termo_2_plyny_soubory/image148.png tepelného motoru pracujícího s [ohřívačem](http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/609-kruhovy-dej) o [teplotě](http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/570-teplota-a-jeji-mereni) T1 a [chladičem](http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/609-kruhovy-dej" \o "Odkazuje na: Kruhový děj)o teplotě T2, platí: http://fyzika.jreichl.com/data/Termo_2_plyny_soubory/image154.png. U parních motorů je T1 teplota páry do motoru vstupující, u spalovacích motorů je to teplota plynů vzniklých spalováním paliva. T2 je teplota vycházející páry resp. výfukových plynů. Uvedený vztah definuje horní hranici účinnosti http://fyzika.jreichl.com/data/Termo_2_plyny_soubory/image155.png tepelných motorů. Podle něj je účinnost tepelného motoru tím vyšší, čím vyšší je teplota ohřívače a čím nižší je teplota chladiče. Skutečná účinnost je ovlivňována různými ztrátami a je tedy podstatně menší než účinnost maximální.