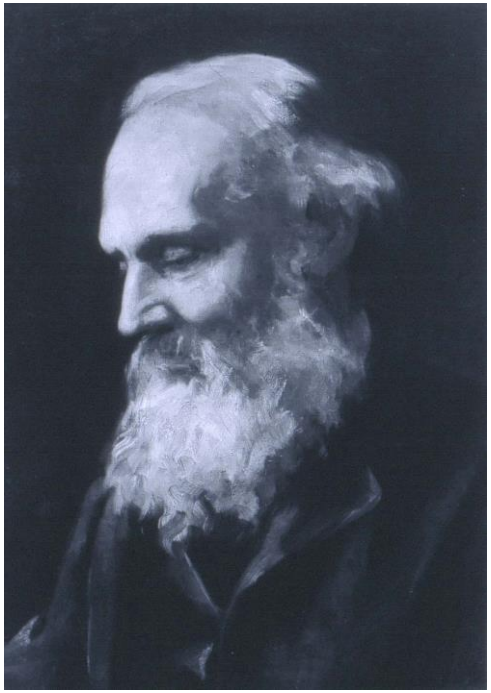
1. **Termodinamika**
   - *Thermos (grčki: topao);dinamis (sila, gibanje)*
   - Bavi se proučavanjem pretvorbi različitih vrsta energije

   (električna,mehanička,kemijska,

   toplinska, nuklearna...)

Lord Kelvin of Largs
1824 - 1907





"A theory is the more impressive the greater the simplicity of its premises is, the more different kinds of things it relates, and the more extended is its area of applicability. Therefore the deep impression which classical thermodynamics made upon me. It is the only physical theory of universal content concerning which I am convinced that, within the framework of the applicability of its basic concepts, it will never be overthrown."

Albert Einstein, Autobiographical Notes

-3(4) temeljna aksiomatska zakona

Sustav

-dio svijeta koji proučavamo (područje u kojem imamo neki posebni interes)

-reaktor (tikvica); motor, elektrokemijska ćelija, biološka stanica...

Okolina

-područje izvan sustava u kojem izvodimo mjerenja

Sustav i okolina zajedno čine SVEMIR

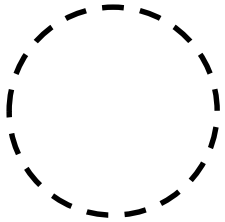
Vrste sustava

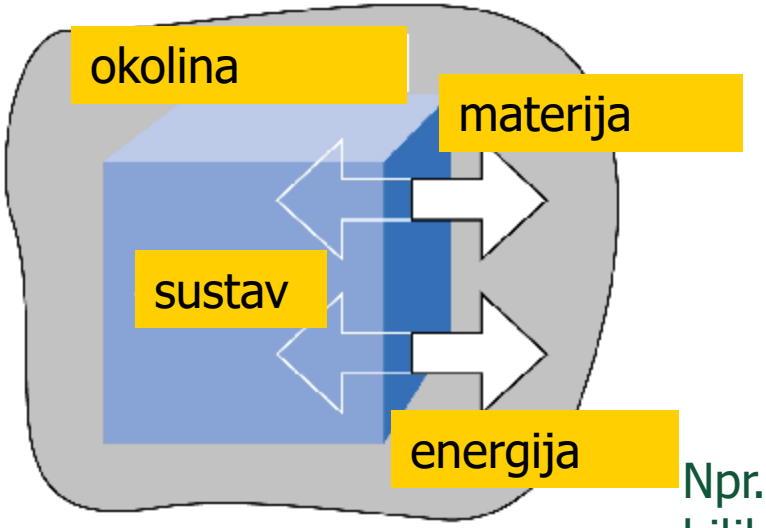
-ovisno o granici (stvarnoj ili zamišljenoj) koja ga dijeli od okoline

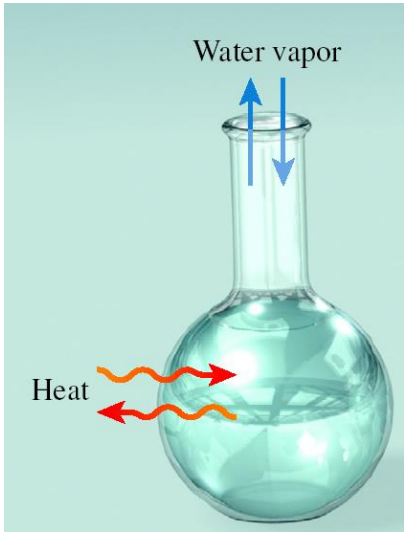
OTVORENI

-moguća razmjena materije i energije s okolinom







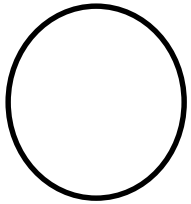


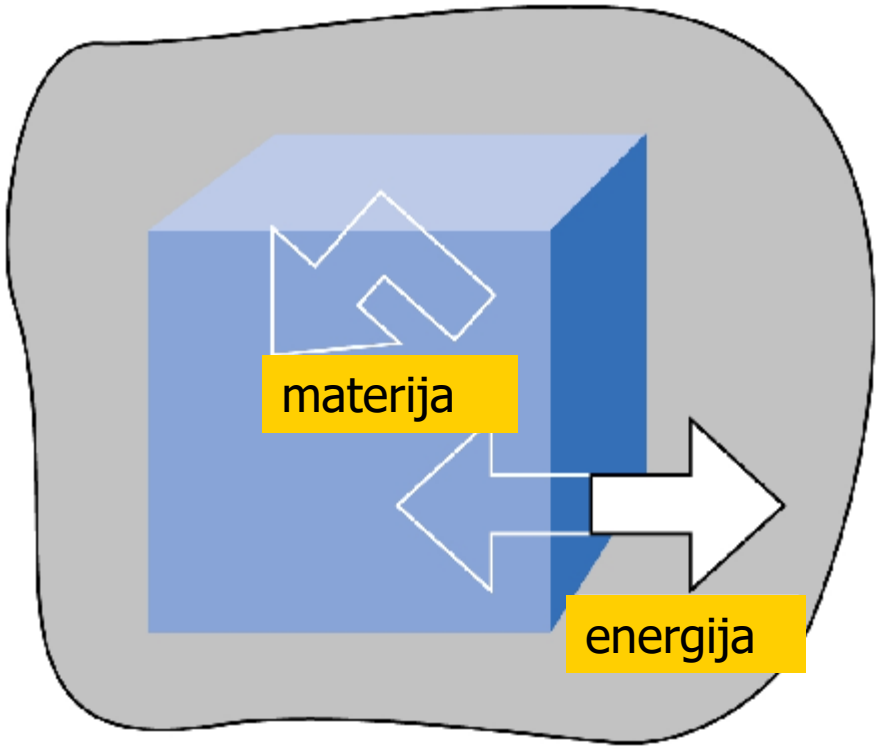
Npr. živa stanica,
biljka,
otvoreni kemijski reaktor

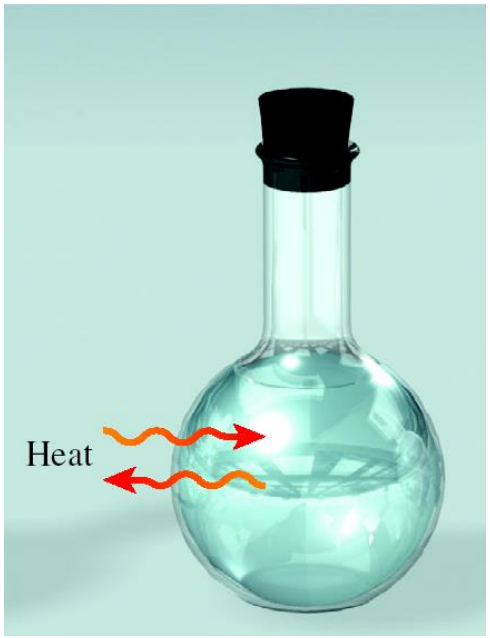
ZATVORENI

-nema razmjene materije s okolinom dok je razmjena svih oblika energije s okolinom moguća



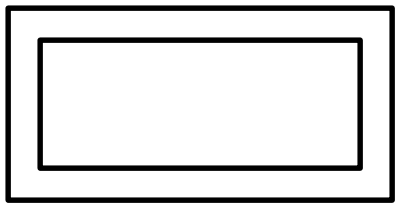


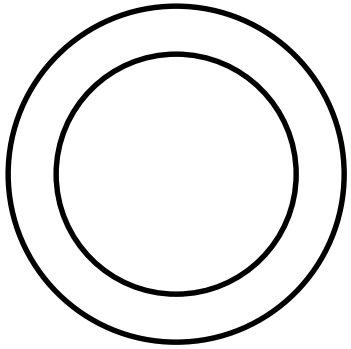


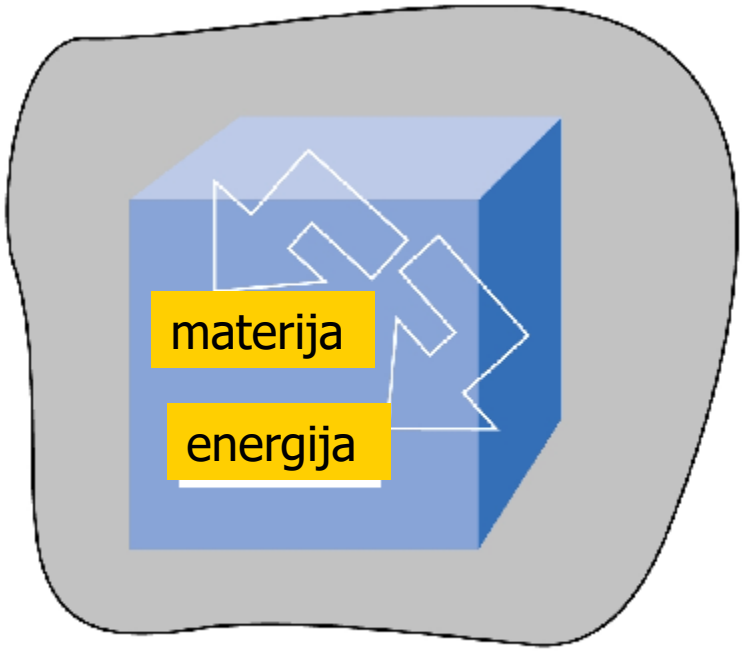


IZOLIRANI

-nema razmjene ni materije
niti energije s okolinom









Idealizacija!
(npr. tekućina u zatvorenoj Dewarovoj posudi)

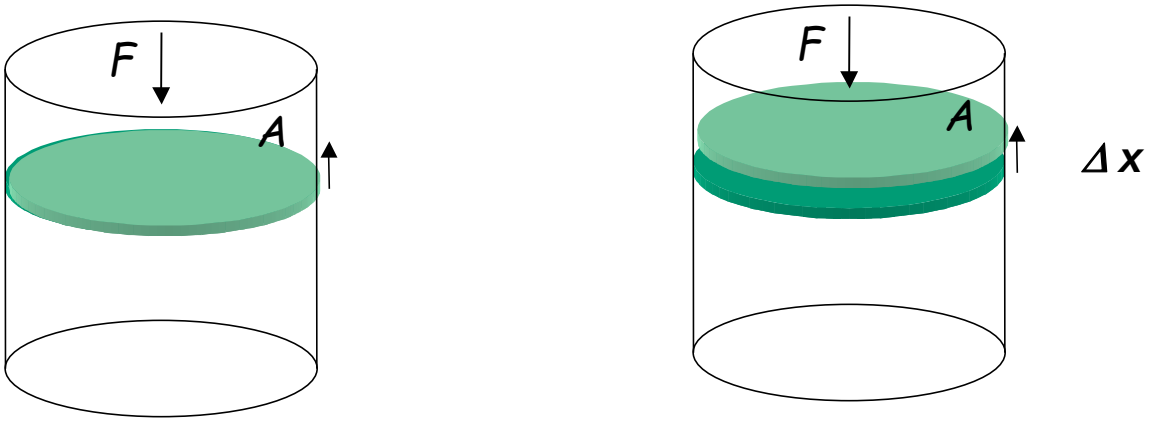
ENERGIJA SUSTAVA

-kapacitet sustava da izvodi rad i/ili razmjenjuje toplinu s okolinom

RAD

-savladavanje sile na putu

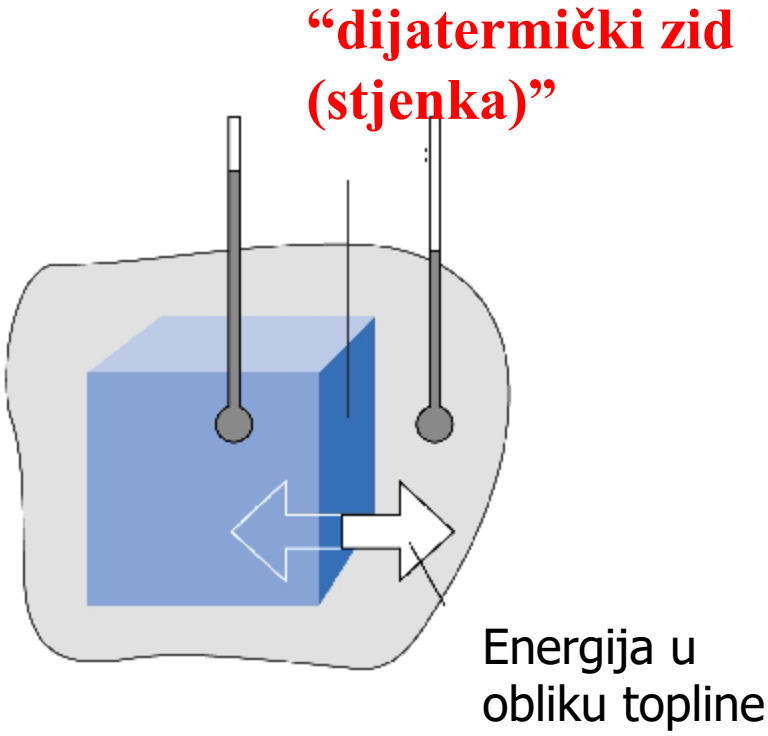
Npr. ekspanzija plina koji pomiče klip



TOPLINA

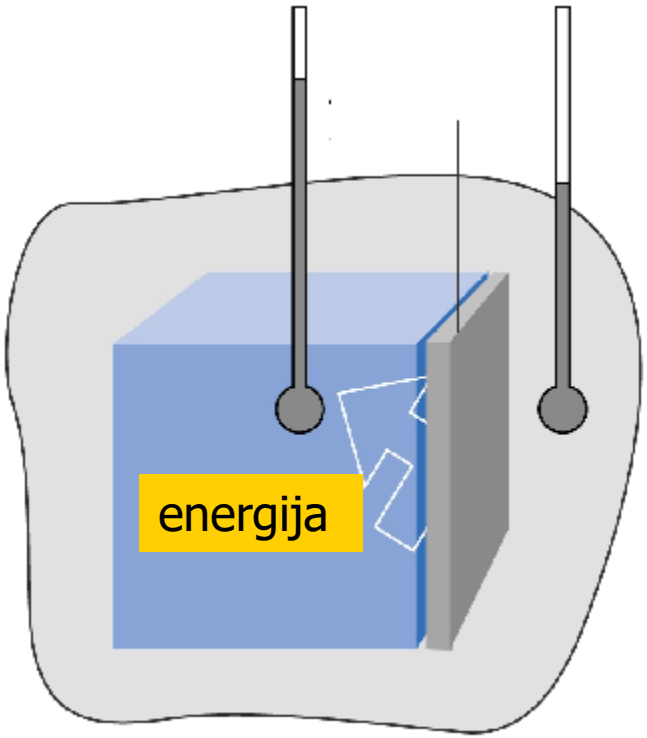
-energija koja se razmjenjuje zbog temperaturnih razlika između sustava i okoline

Ako granica sustav/okolina dozvoljava prijenos energije u obliku topline imamo



Ako granica sustav/okolina ne dozvoljava prijenos energije u obliku topline imamo

"Adijabatski zid"



Prema smjeru izmjene topline:

Egzotermni proces

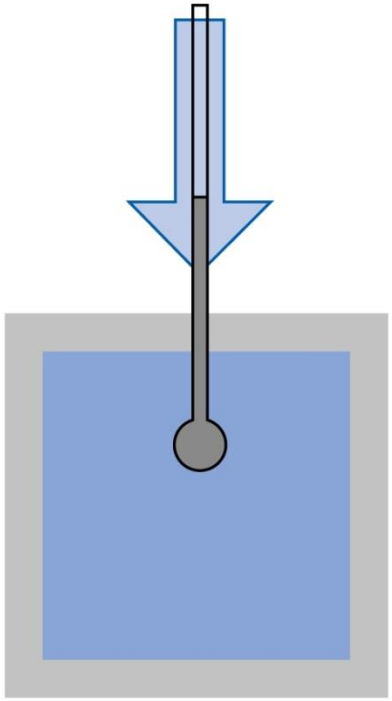
-proces koji oslobađa energiju

(toplinu). Toplina iz sustava prelazi u okolinu.

Endotermni proces

-proces koji apsorbira energiju (toplinu). Toplina iz okoline prelazi u sustav.

Kad se endotermni proces događa u adijabatskom spremniku temperatura sustava se snizuje

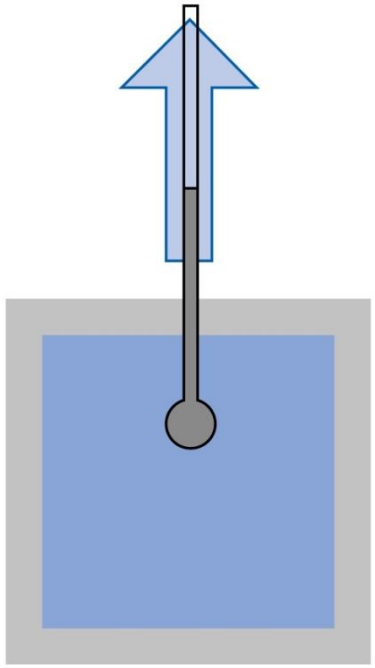


(a)

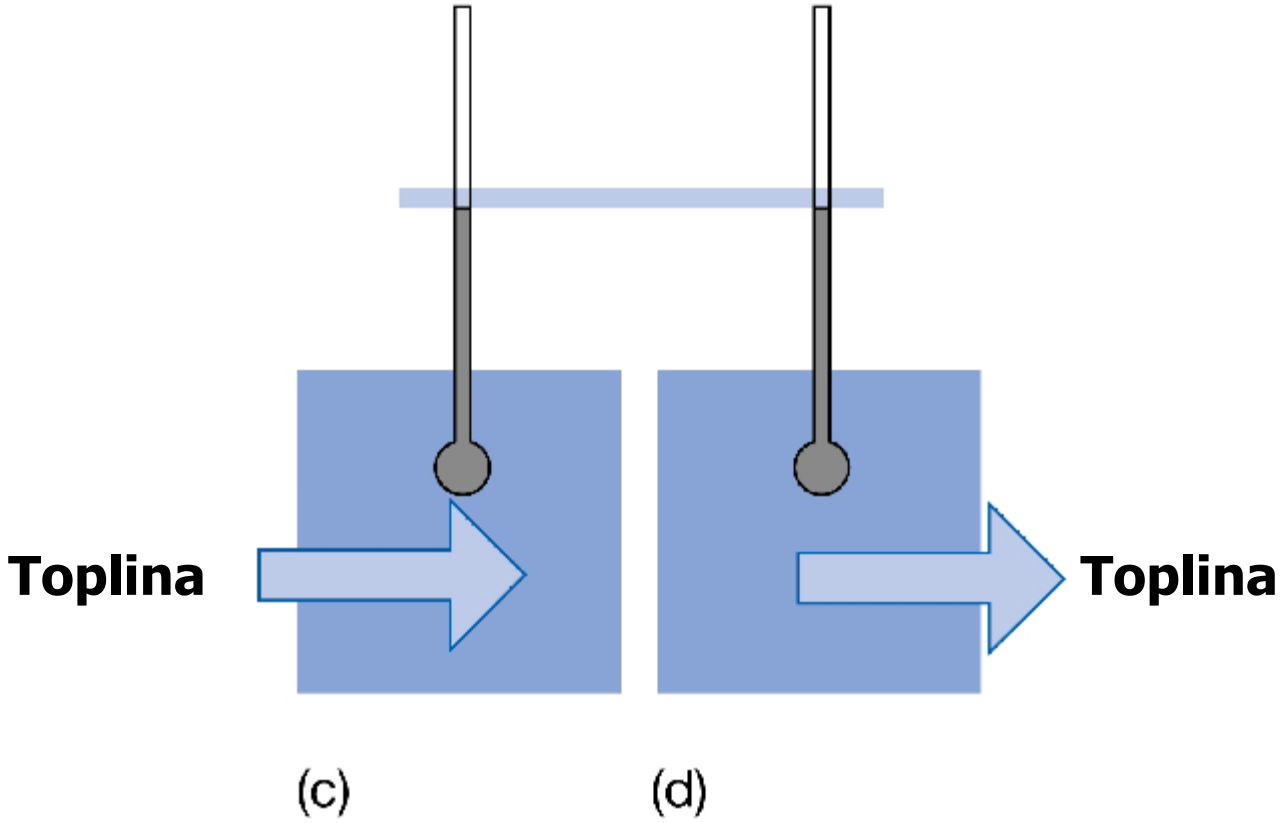
Kad se egzotermni proces događa

u adijabatskom spremniku

temperatura sustava raste



(b)



Kad se endotermni proces događa u dijatermičkom spremniku (c) energija (u obliku topline) dolazi iz okoline i sustav ostaje na istoj temperaturi

Ako je proces egzoterman energija odlazi u obliku topline u okolinu (d) i sustav ostaje na istoj temperaturi

Julius Robert Mayer, 1842



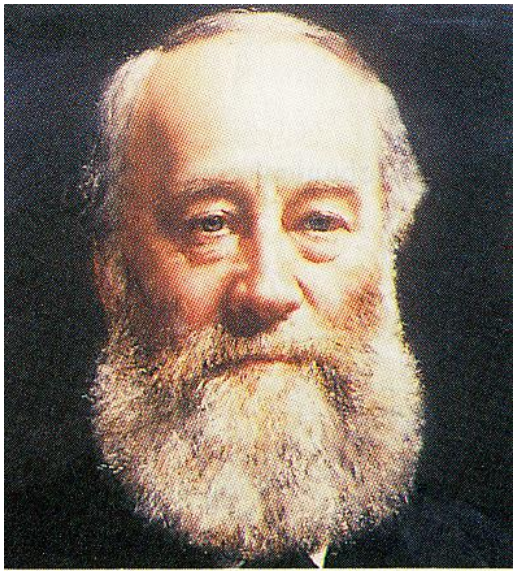
-formulira PRINCIP OČUVANJA ENERGIJE:

Energija se može pretvoriti iz jednog oblika u drugi pri čemu ne može nestati ili nastati

James Prescott Joule, 1847-48.

-eksperimentalno dokazao prvi zakon termodinamike

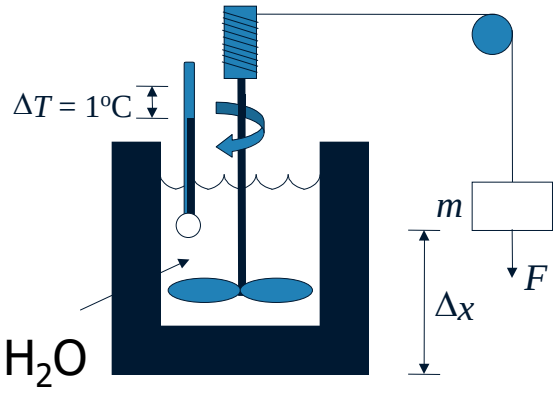
James Joule
1818 - 1889



Joule-ov eksperiment

Joule-ov mehanički ekvivalent topline

(gotovo 10 godina, na tisuće eksperimenata)



1 cal = 4,184 J

PE padajućih utega ⟶ KE lopatica ⟶ trenje ⟶

toplina ⟶ porast temperature vode u kalorimetru

HERMAN VON HELMHOLTZ -svakom materijalnom sustavu pripisao neki određeni sadržaj energije koji je funkcija njegova stanja



UNUTARNJA ENERGIJA, U

-ukupna energija sustava (ukupna kinetička i potencijalna energija atoma i molekula u sustavu)

Apsolutnu vrijednost unutarnje energije teško je odrediti (izračunati)

PROMJENA UNUTARNJE ENERGIJE

(kad sustav ide iz početnog stanja 1 s unutarnjom energijom U_1 u konačno stanje 2 s unutarnjom energijom U_2

$$\Delta U = U_2 - U_1$$

UNUTARNJA ENERGIJA JE FUNKCIJA STANJA

-njezina vrijednost ovisi o trenutnom stanju sustava a ne o načinu kako se je došlo u to stanje

Unutarnja energija sustava može se promijeniti ili izvođenjem rada na sustavu ili dovođenjem topline u sustav

W-rad izveden na sustavu

Q-energija dovedena u sustav u obliku topline

Promjena unutarnje energije izražava se sumom energija koje sustav izmijeni prilikom prijelaza dijelom u obliku rada a dijelom u obliku topline

$$\Delta U = U_2 - U_1 = Q + W$$

Matematički oblik prvog zakona termodinamike

UNUTARNJA ENERGIJA,TOPLINA I RAD MJERE SE U ISTIM JEDINICAMA

JOULE (J)

Ako je sustav izoliran od okoline ne dolazi do promjene njegove unutarnje energije.

Q=0; W=0

UNUTARNJA ENERGIJA IZOLIRANOG SUSTAVA JE KONSTANTNA.

PRVI ZAKON TERMODINAMIKE

Q i W

-veličine koje govore o načinu/putu razmjene energije
(kako se je došlo iz stanja 1 u stanje 2)
- NISU VELIČINE STANJA

$$\Delta U = U_2 - U_1 = Q + W$$

$$dU = \delta Q + \delta W$$

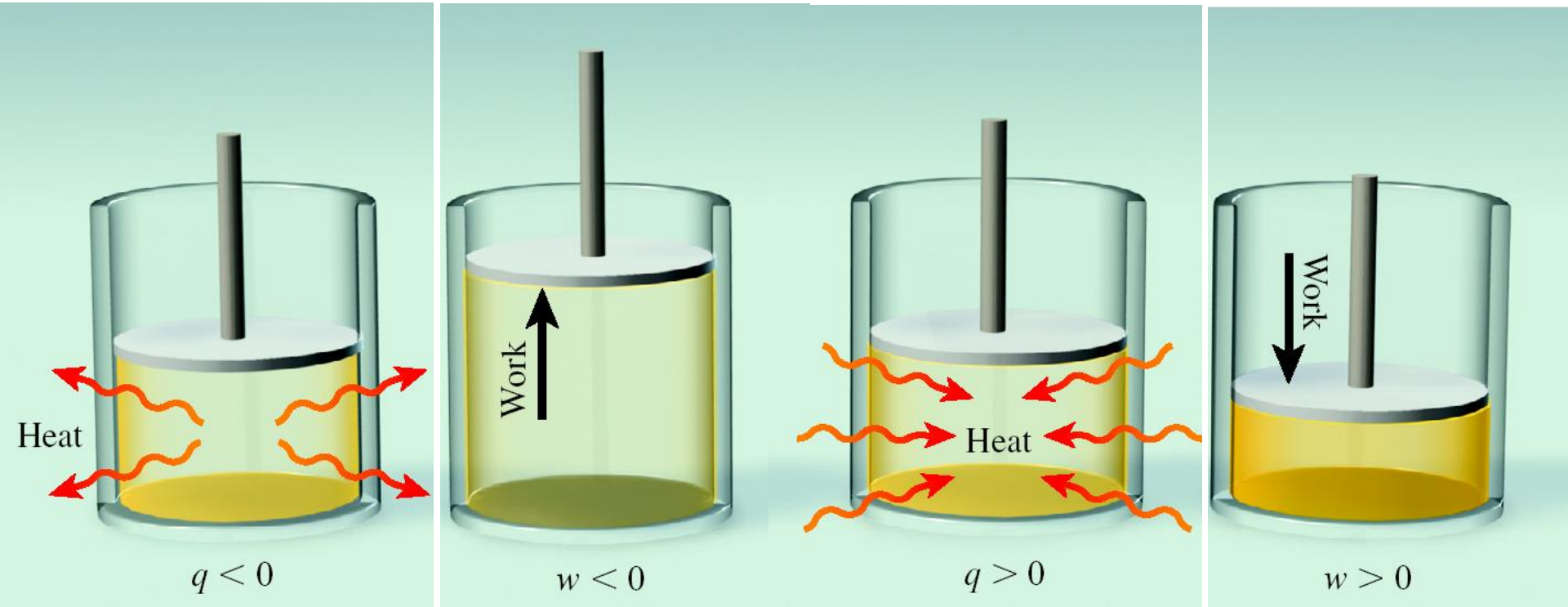
Prema konvenciji:

W>0 i Q>0

ako je energija dovedena sustavu u obliku rada ili topline

W<0 i Q<0

ako je energija odvedena iz sustava u obliku rada ili topline



Učin, kvaliteta pretvorbe?

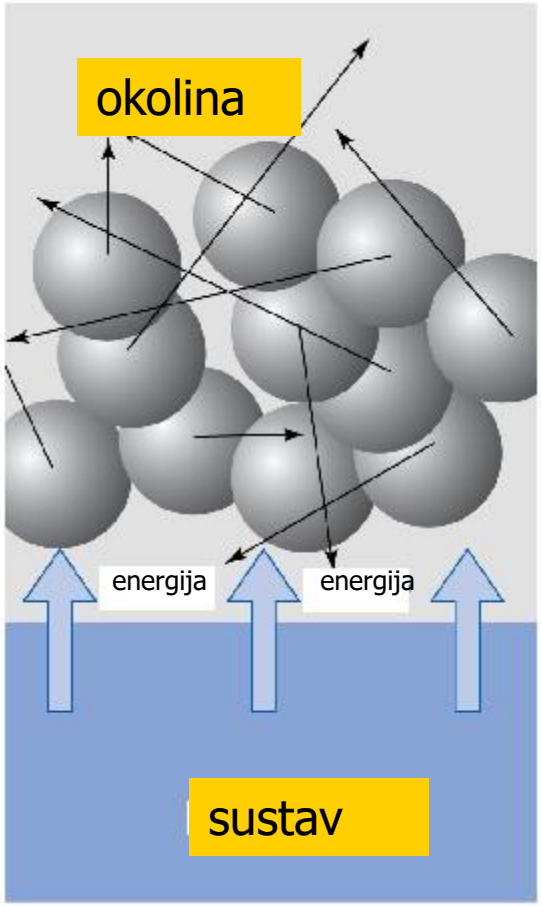
-ovisi o obliku energije-neki su prijelazi lakši, neki teži

PUNO JE TEŽE TOPLINU PRETVORITI U MEHANIČKI RAD NEGO OBRNUTO!

Prema molekularnoj interpretaciji:

TOPLINA

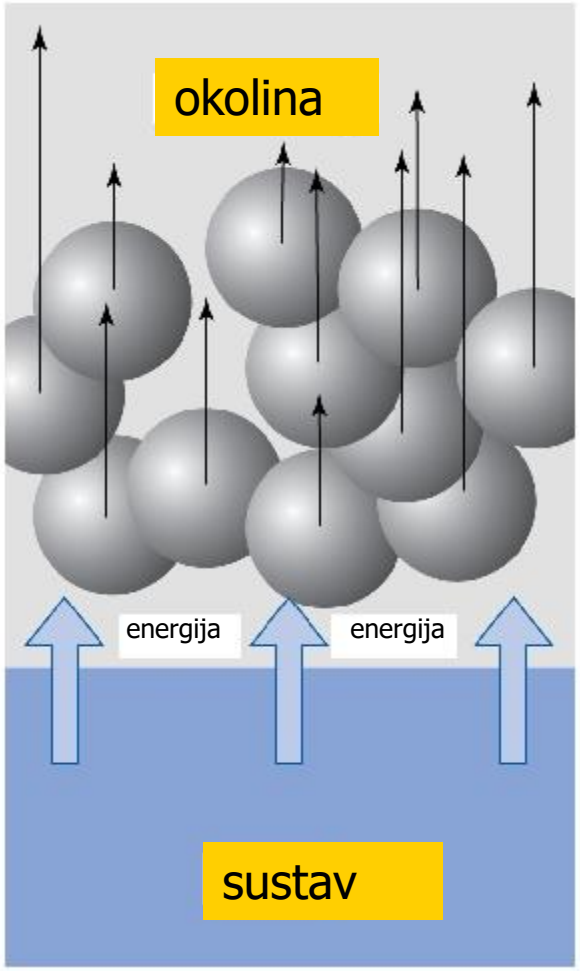
-oblik energije koji je posljedica nasumičnog/neusmjerenog gibanja atoma i molekula (TERMIČKO GIBANJE)



Prijelaz energije iz sustava u okolinu stimulira nasumično gibanje atoma i molekula u okolini i obrnuto

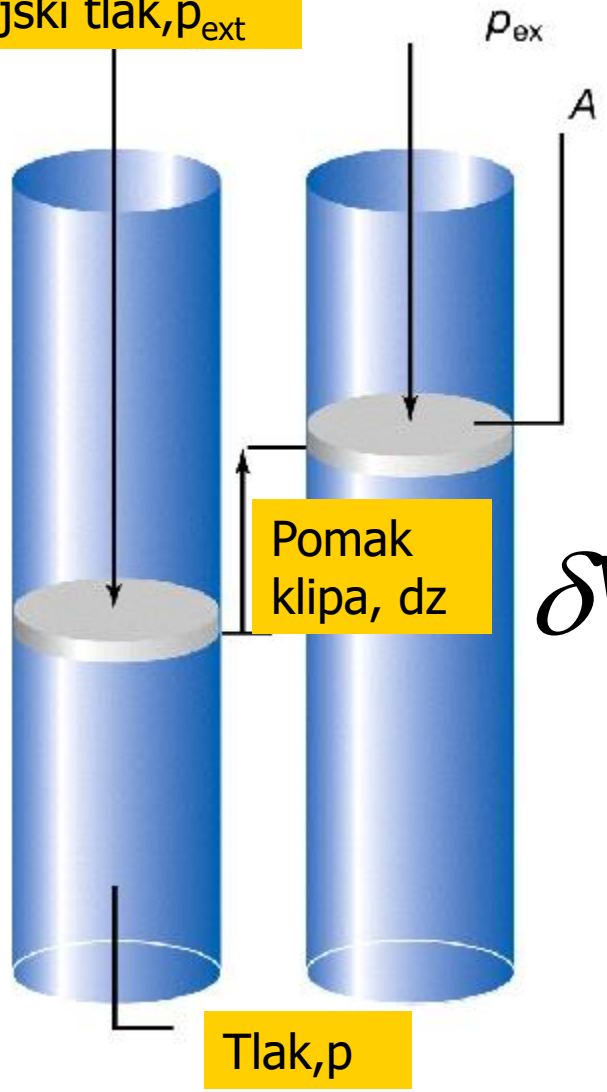
RAD

-«usmjereni» oblik energije, prijenos energije pomoću «organiziranog», «usmjerenog» gibanja atoma



Kad sustav izvodi rad stimulirano je usmjereno gibanje atoma u okolini

Rad ekspanzije



$$\delta W = -F dz$$

$$F = p_{ext} A$$

$$\delta W = -p_{ext} A dz = -p_{ext} dV$$

$$W = -\int_{V_{poč}}^{V_{kon}} p_{ext} dV$$

Slobodna ekspanzija

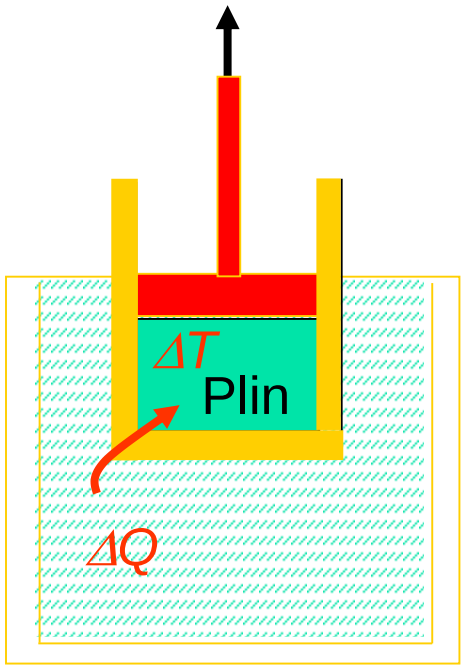
$$p_{ext} = 0$$

$$\delta W = 0 \qquad\qquad W = 0$$

Rad se ne izvodi pri slobodnoj ekspanziji

(npr. ekspanzija u vakuum)

Ekspanzija pri konstantnom tlaku



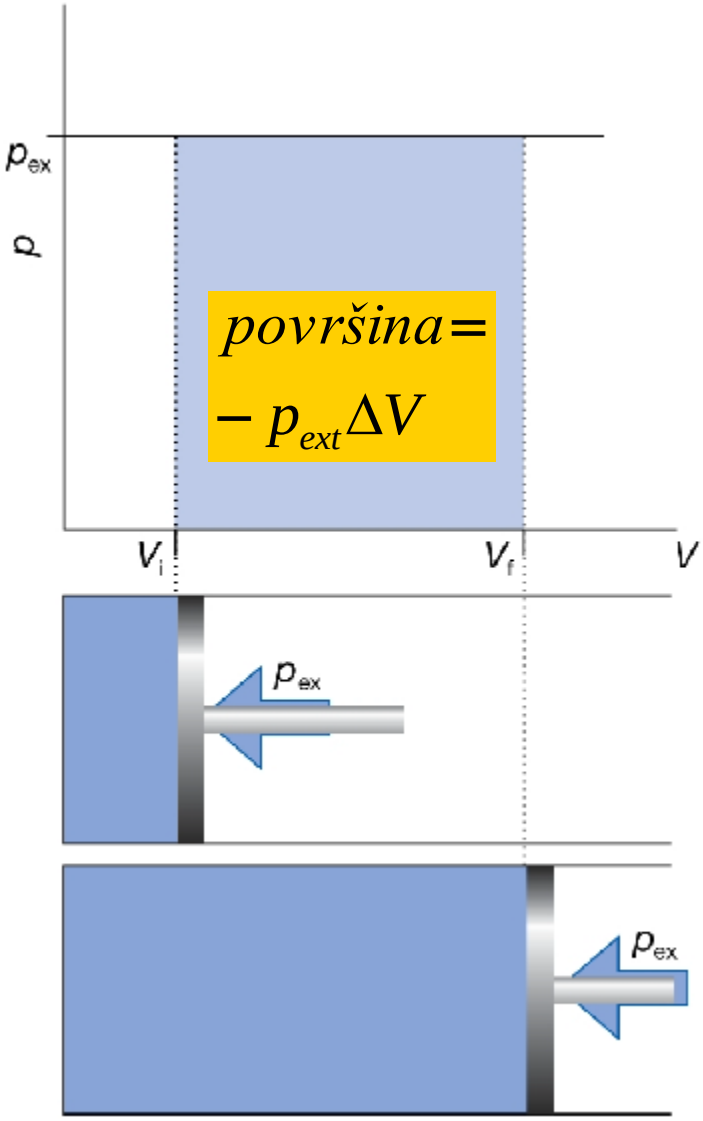
Klip se slobodno giba
p =konst. tijekom ekspanzije od V_1 do V_2

$$W = -p_{ext} \int_{V_{poč}}^{V_{kon}} dV$$

$$W = -p_{ext}(V_{kon} - V_{poč})$$

$$\boxed{W = -p_{ext}\Delta V}$$

$$Pa \cdot m^3 = \frac{N}{m^2} \cdot m^3 = Nm = J$$



Kako se mijenja iznos rada s promjenom vanjskih uvjeta?

P_{ext}=3 10^4 Pa

$V_{poč}$=0,0246 m^3 (prije ekspanzije)

V_{kon}=0,0360 m^3 (poslije ekspanzije)

$$\Delta V = V_{kon} - V_{poč} = 0{,}0114 m^3$$

$$W = -3 \cdot 10^4 \, Pa \cdot 0{,}0114 \, m^3 \approx -342 \, J$$

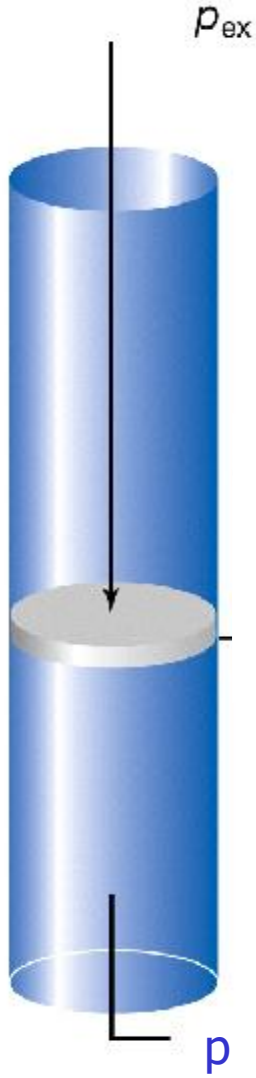
P_{ext}=5 10^4 Pa

$V_{poč}$=0,0246 m^3 (prije ekspanzije)

V_{kon}=0,0360 m^3 (poslije ekspanzije)

$$W = -5 \cdot 10^4 \, Pa \cdot 0{,}0114 \, m^3 \approx -570 \, J$$

Pretpostavimo da je tlak plina u cilindru p jednak vanjskom tlaku p_{ext}.



Infinitezimalna promjena vanjskog tlaka uzrokovat će

promjenu volumena u suprotnom smjeru

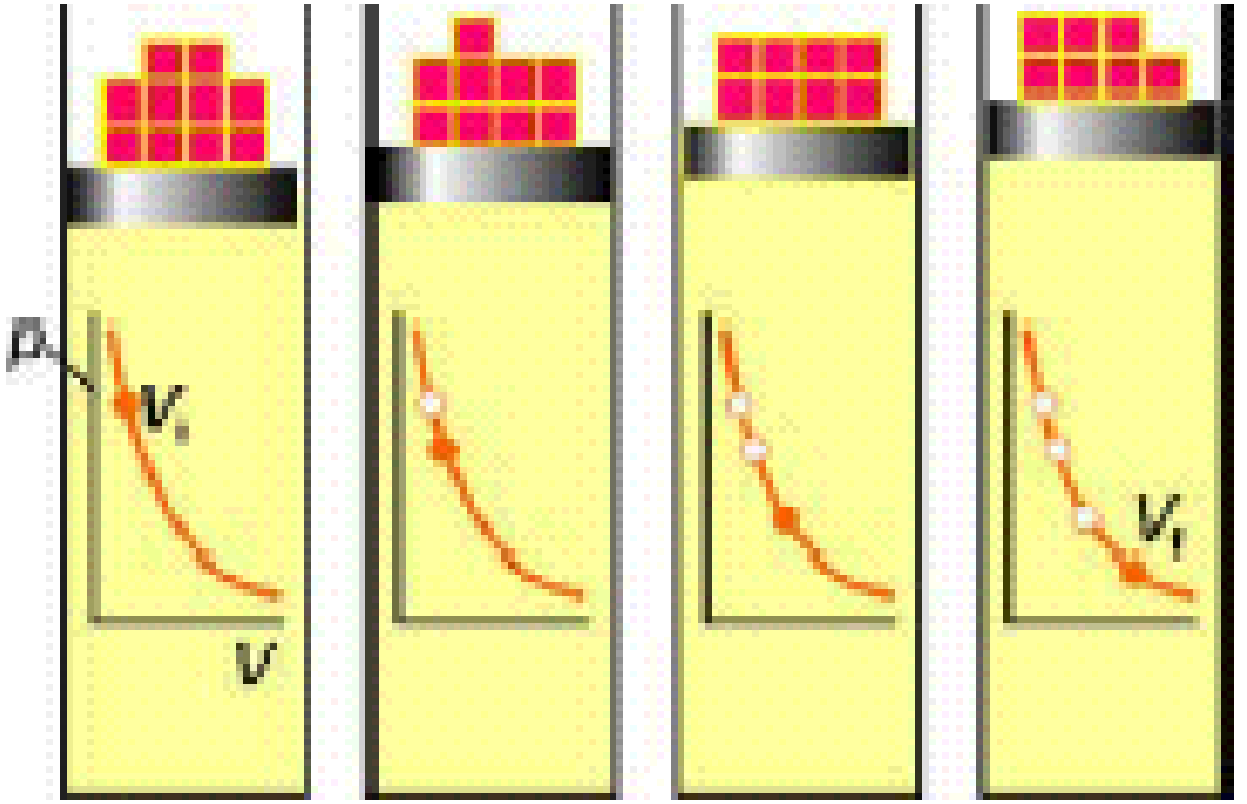
Malo smanjenje p_{ext}→mala ekspanzija

Malo povećanje p_{ext} → mala kontrakcija

p_{int} ≈ili samo malo veći od p_{ext}

→beskonačno sporo pomicanje klipa (nema trenja)→

reverzibilna (povrativa) promjena



Reverzibilni procesi- mogu se odvijati u oba smjera preko istih međustanja (sustav prolazi kroz niz ravnotežnih stanja)

Ireverzibilni procesi -iz jednog stanja može se prijeći u drugo ali se istim putem ne može vratiti u prvo stanje. Svi realni termodinamički procesi su ireverzibilni

$$\delta W = -p_{ext} dV = -p dV$$

$$W_{rev} = -\int_{V_{poč}}^{V_{kon}} p \; dV$$

Ako znamo jednadžbu stanja plinova, p možemo izraziti preko volumena i odrediti integral.

Pretpostavimo izotermnu, reverzibilnu ekspanziju idealnog plina

$$W_{rev} = -\int_{V_{poč}}^{V_{kon}} p \, dV$$

$$p = \frac{nRT}{V}$$

$$W_{rev} = -nRT \int_{V_{poč}}^{V_{kon}} \frac{dV}{V} = -nRT \int_{V_{poč}}^{V_{kon}} d \ln V$$

$$W_{rev} = -nRT \ln \frac{V_{kon}}{V_{poč}}$$

$p_{ext}=p_{int}$

T=300 K

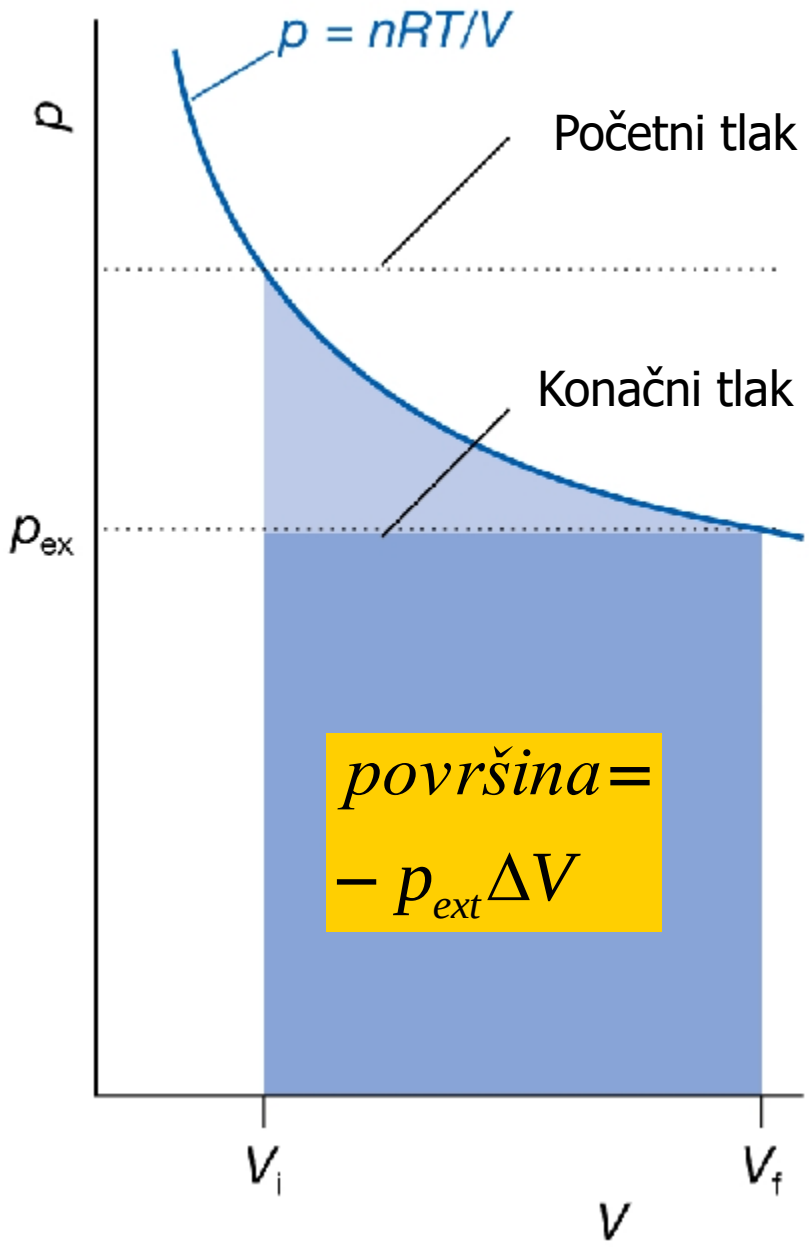
1 mol plina

$V_{poč}$=0,0246 m^3 (prije ekspanzije)

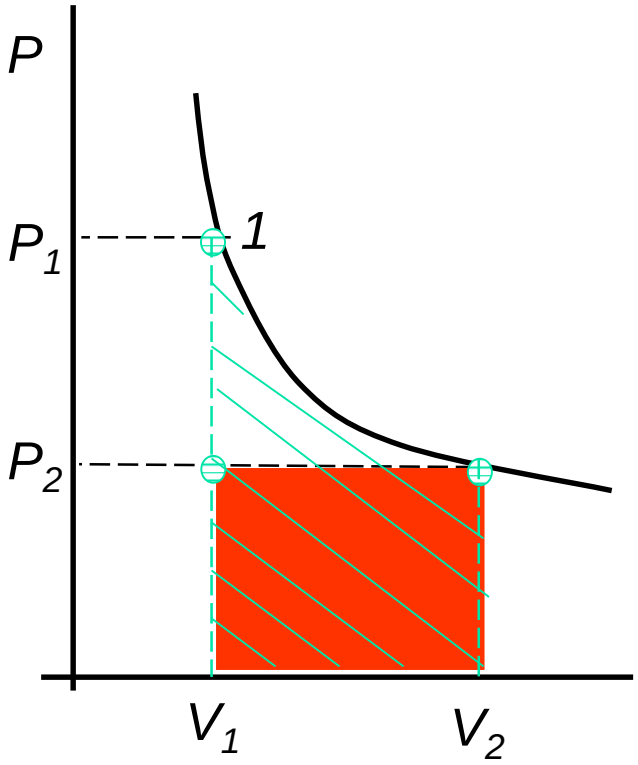
V_{kon}=0,0360 m^3 (poslije ekspanzije)

$$W_{rev} = -nRT \ln \frac{V_{kon}}{V_{poč}}$$

$$W_{rev} = -1mol \cdot 8{,}314\, Jmol^{-1}K^{-1} \cdot 300\, K \ln \frac{0{,}0360}{0{,}0246} = -950\, J$$



Reverzibilne, povrative promjene daju maksimalni rad



Rad izobarne ekspanzije od V_1 do V_2.

Rad izotermne ekspanzije od V_1 do V_2.

<u>Rad nije funkcija stanja</u>