



OSNOVE FIZIKALNE KEMIJE

Fenomenološka termodinamika

12. ožujka 2026.

O KOLEGIJU

Fizikalna kemija – općenito

Literatura

Struktura kolegija

FIZIKALNA KEMIJA

Bavi se ...

- Upoznavanjem stanja tvari i procesa
- Odnosom svojstava (fizikalnih veličina)
- Preračunavanjem fizikalnih veličina (indirektno mjerenje)
- Predviđanjem svojstava i pojava
- ...

FIZIKALNA KEMIJA

	U okviru ovog kolegija ...	U biološkim znanostima ...
I	KEMIJSKA TERMODINAMIKA	Smatanje proteina Metabolizam tvari
II	ELEKTROKEMIJA	Stanično disanje Prijenos signala u živčanim stanicama Fotosinteza
III	KEMIJSKA KINETIKA	Enzimska kinetika Metabolizam tvari

LITERATURA

- A** P. W. Atkins, J. de Paula, *Elements of Physical Chemistry*, 4. izd., Oxford University Press, Oxford 2005.
Udžbenik koji najbolje odgovara razini kolegija s dosta primjera iz biologije i biokemije.
- OFK** V. Tomišić, T. Preočanin, N. Kallay, *Osnove fizikalne kemije: predavanja*.
Rukopis u pripremi, prati predavanja.
- C** T. Cvitaš: *Fizikalna kemija*, Rukopis knjige, ...
Dostupne kopije u knjižnici Kemijskog odsjeka (CKB). Prelazi razinu kolegija.
- R1** T. Cvitaš, I. Planinić, N. Kallay: *Rješavanje računskih zadataka u kemiji, I dio*, Hrvatsko kemijsko društvo, Zagreb, 2008.
Zbirka riješenih zadataka, dostupno u CKB-u, prodaje se u HKD-u.
- R2** T. Cvitaš, I. Planinić, N. Kallay: *Rješavanje računskih zadataka u kemiji, II dio*, Hrvatsko kemijsko društvo, Zagreb, 2008.
Zbirka riješenih zadataka, dostupno u CKB-u, prodaje se u HKD-u.
- R3** T. Cvitaš, I. Planinić, N. Kallay: *Rješavanje računskih zadataka u kemiji, III dio*, Rukopis u pripremi

Materijali za kolegij (predavanja, seminari, skripta) dostupni na **MS Teams**

STRUKTURA KOLEGIJA

Teme	Literatura (osim OFK)
Uvodni sat Uvod u termodinamiku Nulti stavak termodinamike	A (2), R1 (3), R2 (11.1)
Prvi stavak termodinamike Unutrašnja energija (U) i entalpija (H) Kalorimetrija Hessov zakon	A (2, 3), R2 (11.1)
Drugi stavak termodinamike Entropija (S)	A (4), R3 (16.1)
Gibbsova energija Kemijski potencijal	A (4, 5), R3 (16.2, 16.3)
Ravnoteža kemijskih reakcija	A (7, 8), R2 (13), R3 (17.3)
Koligativna svojstva	A (6), R2 (14)
Elektrokemija Otopine elektrolita Vodljivost elektrolita	A (9), R2 (15.1–15.3, 15.6)
Kolokvij I (2 h)	

Teme	Literatura (osim OFK)
Ionske interakcije	A (9)
Elektrokemijski članci	A (9), R2 (15.4, 15.5)
Primjena elektrokemijskih članaka Mjerenje pH Baterije Korozija	A (9)
Kemijska kinetika Radioaktivnost	A (10), C (32), R2 (12.1)
Zakoni brzina	A (10), C (33), R2 (12.2–12.3)
Temperaturna ovisnost brzine kemijske reakcije Enzimske reakcije	A (11), C (33), R2 (12.4)
Kolokvij II	

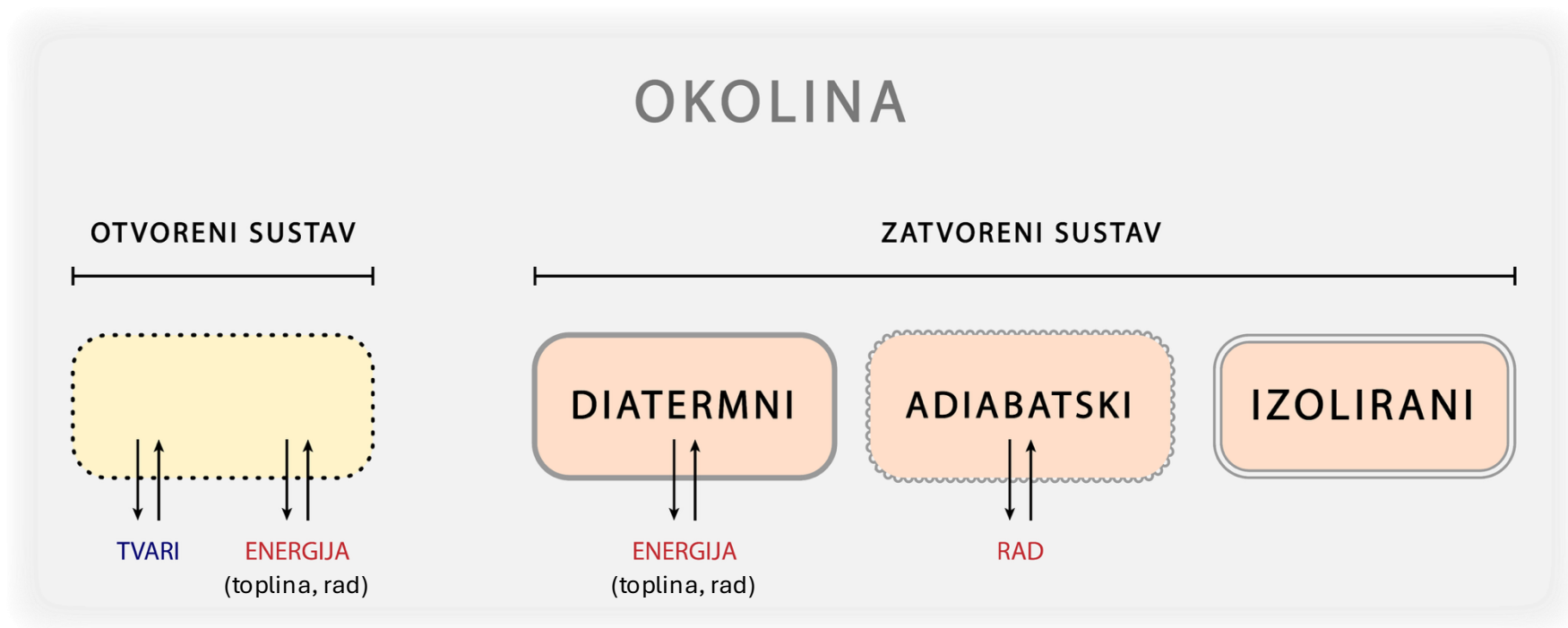
FENOMENOLOŠKA TERMODINAMIKA

Sustav, stanje, proces

Nulti zakon termodinamike

Prvi zakon termodinamike

Sustav i okolina



Kako opisati sustav (njegovo stanje)?

Fizikalna svojstva sustava

Ovise o veličini uzorka?		Primjeri
EKSTENZIVNA	DA	masa (m), volumen (V), množina (n), ...
INTENZIVNA	NE	temperatura (T), tlak (p), gustoća (ρ), ...

Primjer:

- Uzorak vode mase 1 kg ima dvostruko veću masu i volumen od uzorka vode mase 0,5 kg, no njihova je gustoća ista.
- Pomiješamo li dva uzorka vode mase m_1 , volumena V_1 , temperature T_1 i gustoće ρ_1 masa i volumen nakon miješanja bit će dvostruko veći ($m_2 = 2 m_1$, $V_2 = 2 V_1$), ali se temperatura i gustoća neće promijeniti.

Gustoća (intenzivna veličina) je omjer dviju ekstenzivnih veličina (mase i volumena)

Zadatak

Gustoća vode pri sobnoj temperaturi i atmosferskom tlaku iznosi približno $1,00 \text{ g cm}^{-3}$, žive $13,5 \text{ g cm}^{-3}$, a vodene pare $0,727 \text{ g dm}^{-3}$. Izračunajte:

- Masu navedenih tvari ako je $V = 1 \text{ dm}^3$
- Molarni volumen vode, žive i vodene pare pri navedenim uvjetima.

Zadatak

Gustoća vode pri sobnoj temperaturi i atmosferskom tlaku iznosi približno $1,00 \text{ g cm}^{-3}$, žive $13,5 \text{ g cm}^{-3}$, a vodene pare $0,727 \text{ g dm}^{-3}$. Izračunajte:

- Masu navedenih tvari ako je $V = 1 \text{ dm}^3$
- Molarni volumen vode, žive i vodene pare pri navedenim uvjetima.

$$\left. \begin{array}{l} \text{b) MOLARNI VOLUMEN: } V_m = \frac{V}{n} \\ \text{MNOŽINA: } n = \frac{m}{M} \end{array} \right\} V_m = \frac{V}{\frac{m}{M}} = \frac{\frac{V}{1}}{\frac{m}{M}} = \frac{VM}{m} = \underline{\underline{\rho}}$$

$$V_m(\text{H}_2\text{O}, \ell) = \frac{M(\text{H}_2\text{O})}{\rho(\text{H}_2\text{O}, \ell)} = \frac{18,016 \text{ g mol}^{-1}}{1 \text{ g cm}^{-3}} = 18,016 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$$

$$V_m(\text{Hg}, \ell) = \frac{M(\text{Hg})}{\rho(\text{Hg}, \ell)} = \frac{200,59 \text{ g mol}^{-1}}{13,5 \text{ g cm}^{-3}} = 14,86 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$$

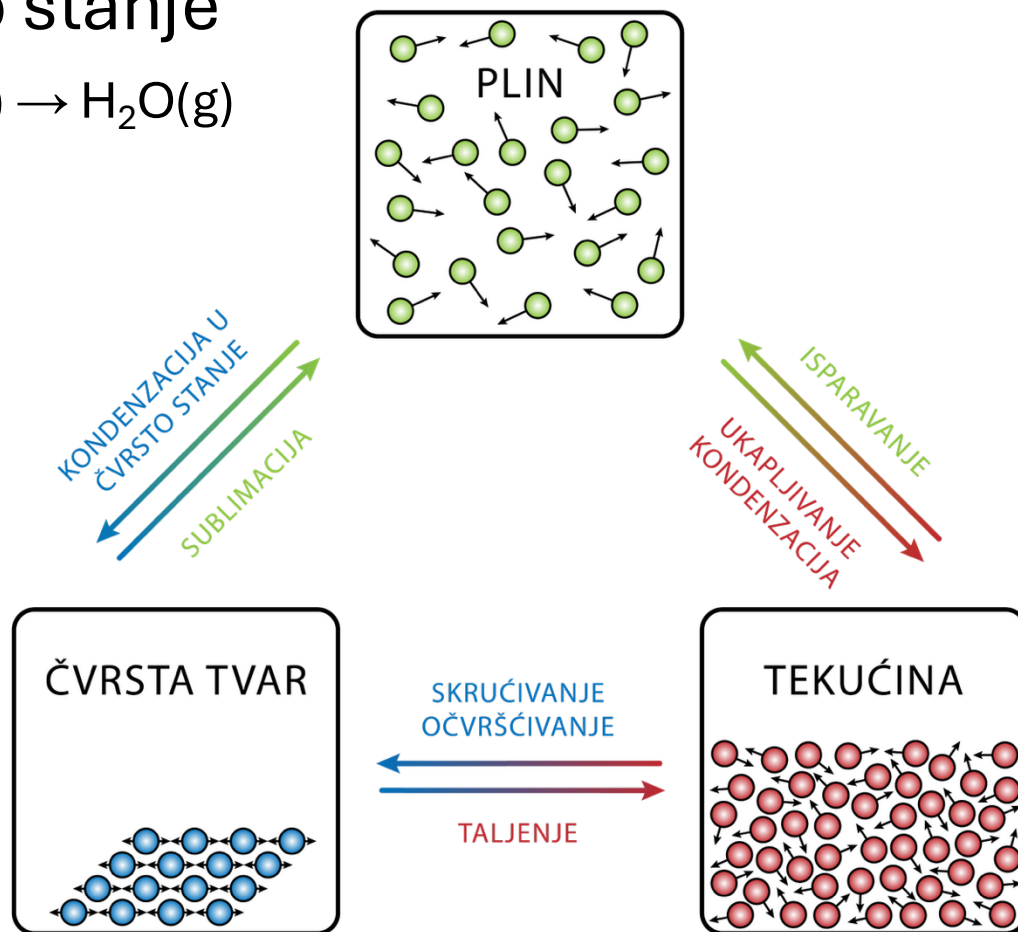
$$V_m(\text{H}_2\text{O}, \text{g}) = \frac{M(\text{H}_2\text{O})}{\rho(\text{H}_2\text{O}, \text{g})} = \frac{18,016 \text{ g mol}^{-1}}{0,727 \text{ g dm}^{-3}} = 24,78 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$$

1 MOL VODENE
PARE ZAUZIMA
1375 PUTA
VEĆI VOLUMEN!

Promjena stanja sustava

PROCES = pretvorba sustava iz početnog u konačno stanje

npr. isparavanje vode: $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g})$

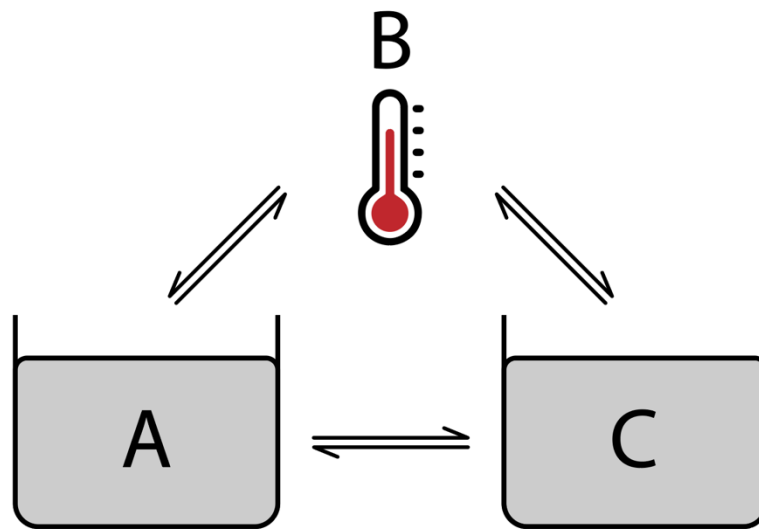


Promjena stanja sustava

Kakvi procesi mogu biti?

UVJETI	REVERZIBILNOST	SPONTANOST	STIJENKE	VRSTA
IZOBARNI ($p = \text{konst.}$) IZOHORNI ($V = \text{konst.}$) IZOTERMNI ($T = \text{konst.}$)	REVERZIBILNI IREVERZIBILNI	SPONTANI NESPONTANI	ADIABATSKI	KEMIJSKI FIZIKALNI BIOLOŠKI

Nulti stavak termodinamike

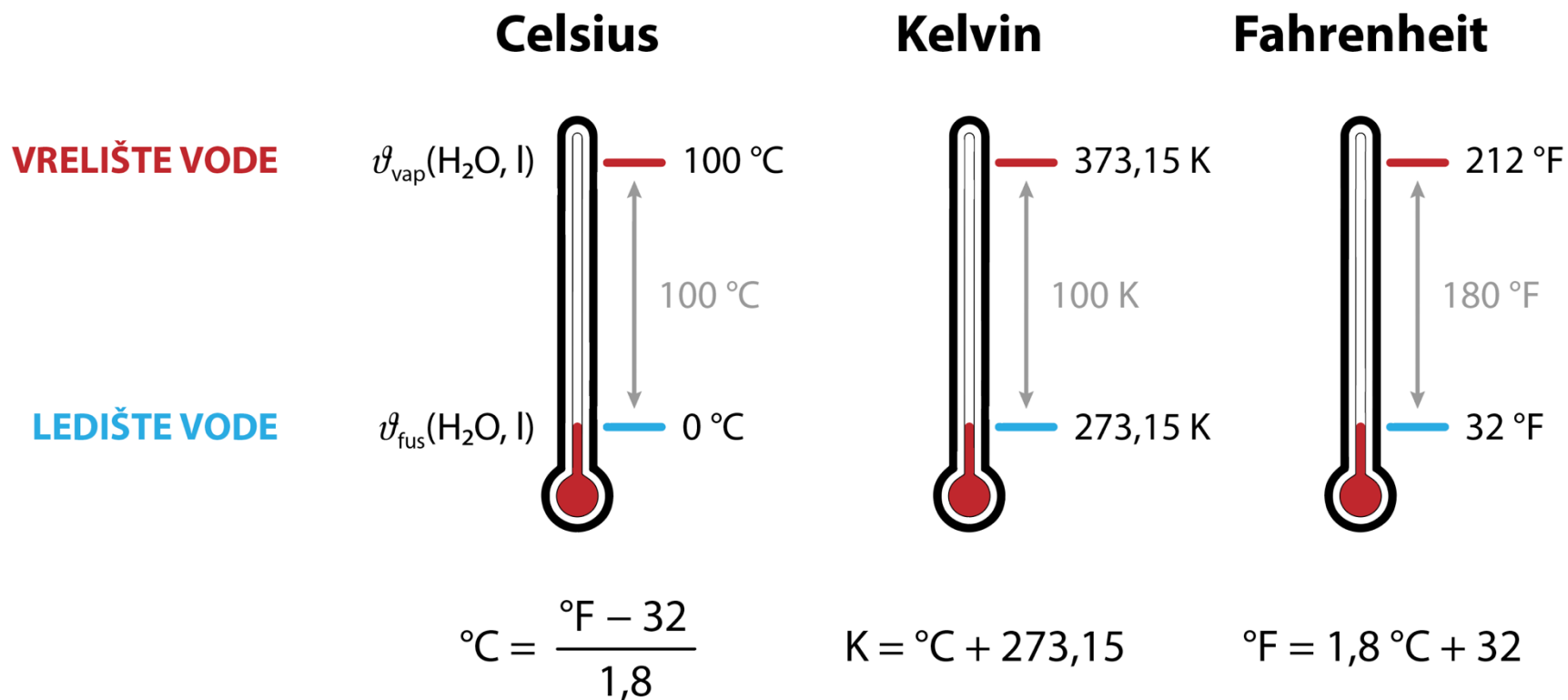


$$T_A = T_B$$

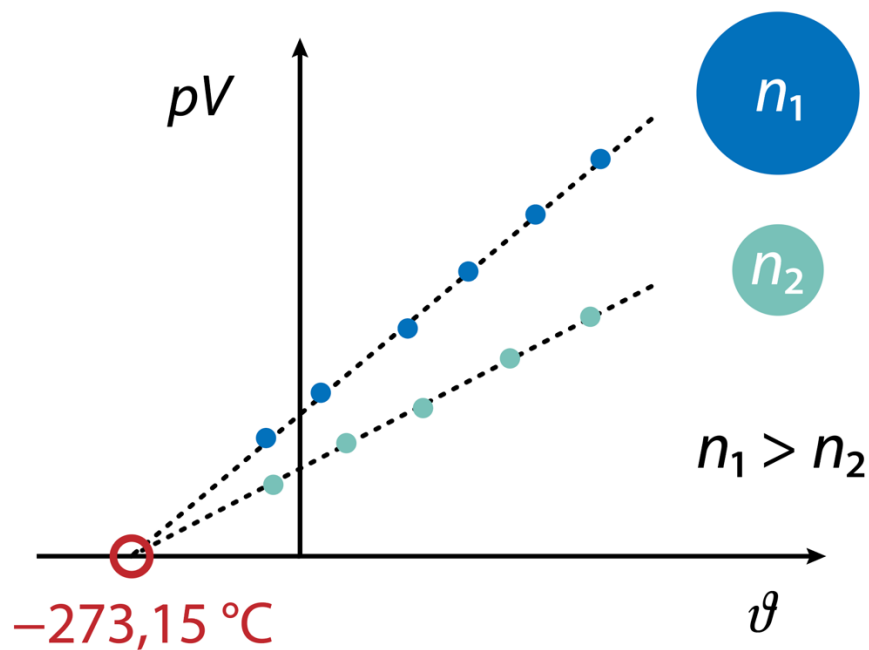
$$T_B = T_C$$

$$T_A = T_C$$

Mjerenje temperature



Mjerenje temperature



$$pV = nRT$$

$$T / \text{K} = \vartheta / ^{\circ}\text{C} + 273,15$$

$$T = \lim_{p \rightarrow 0} (pV / nR)$$

Nagib pravca – nagib funkcije u nekoj točki?

ENERGIJA (sustava kao cjeline)



1. STAVAK TERMODINAMIKE

- Ukupna energija (E) proučavanog sustava i njegove okoline je stalna.
- Ukupna energija (E) izoliranog sustava je stalna.

UNUTRAŠNJA ENERGIJA

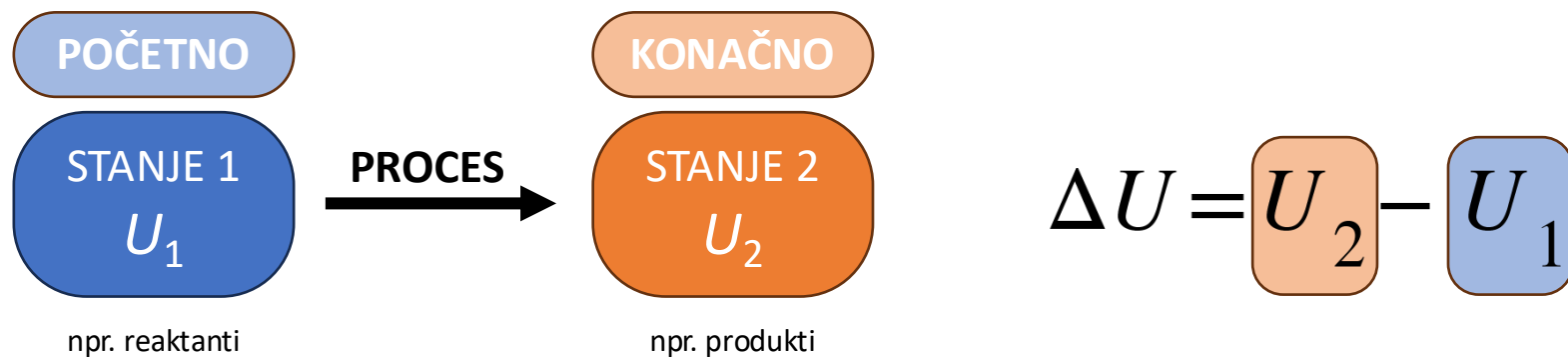
= zbroj kinetičkih i potencijalnih energija svih čestica u sustavu.

UNUTRAŠNJA ENERGIJA

Ako se sustav ne giba i potencijalna energija mu je konstantna, može se mijenjati samo unutrašnja energija.



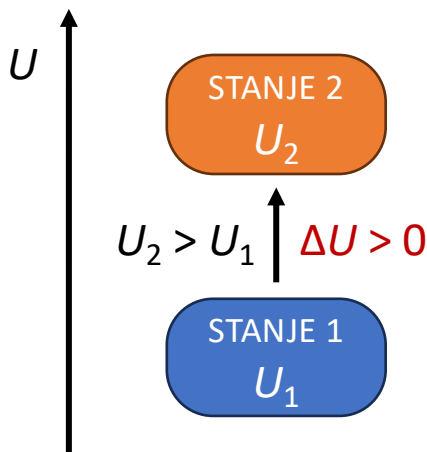
Unutrašnja energija je **funkcija stanja**.



Promjena unutrašnje energije isključivo **ovisi o početnom i konačnom stanju sustava**, ne o načinu na koji je sustav preveden iz početnog u konačno stanje.

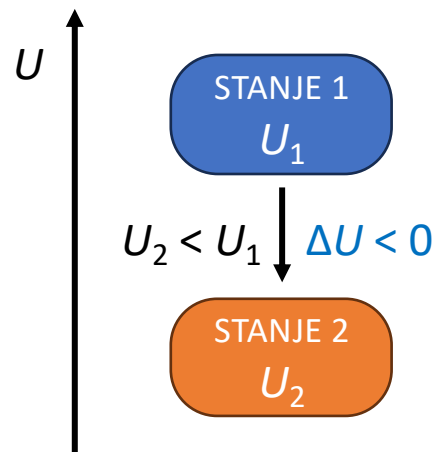
Slučaj 1

$$U_2 > U_1$$



Slučaj 2

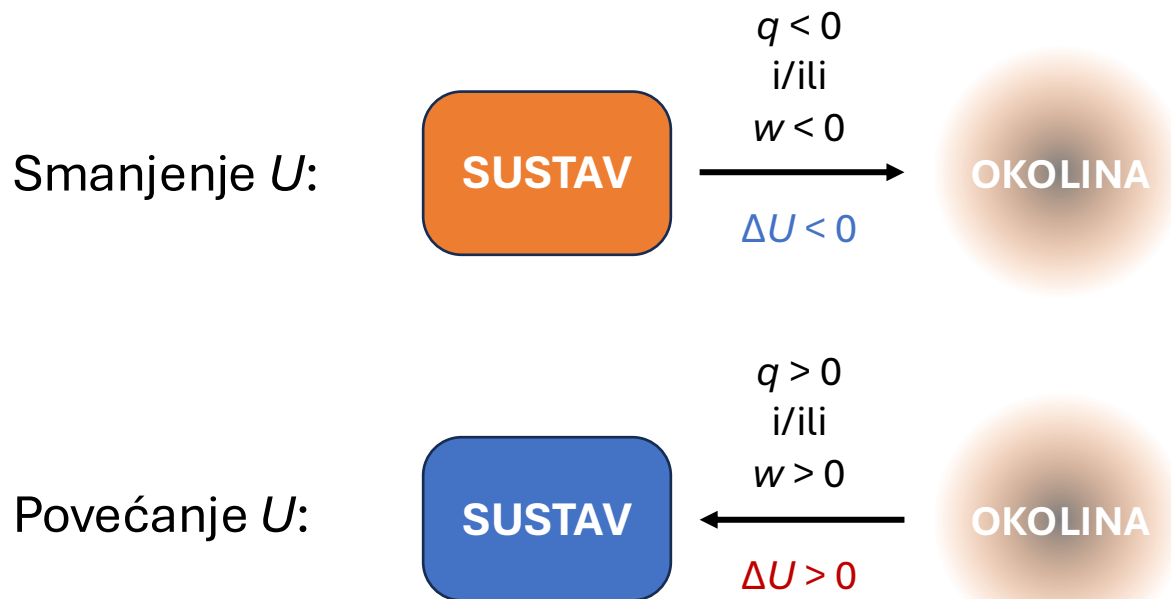
$$U_2 < U_1$$



Promjena unutrašnje energije:
izmjena energije **u obliku topline** (q) ili **rada** (w).

$$\Delta U = q + w$$

Ispravno je reći da se **energija izmjenjuje u obliku topline/rada**.
Sustav „ne posjeduje” toplinu ili rad – ne može izmjenjivati toplinu/rad.



Promjena unutrašnje energije:
izmjena energije **u obliku topline** (q) ili **rada** (w).

$$\Delta U = q + w$$

Unutrašnja energija u diferencijalnom obliku:

$$dU = dq + dw$$

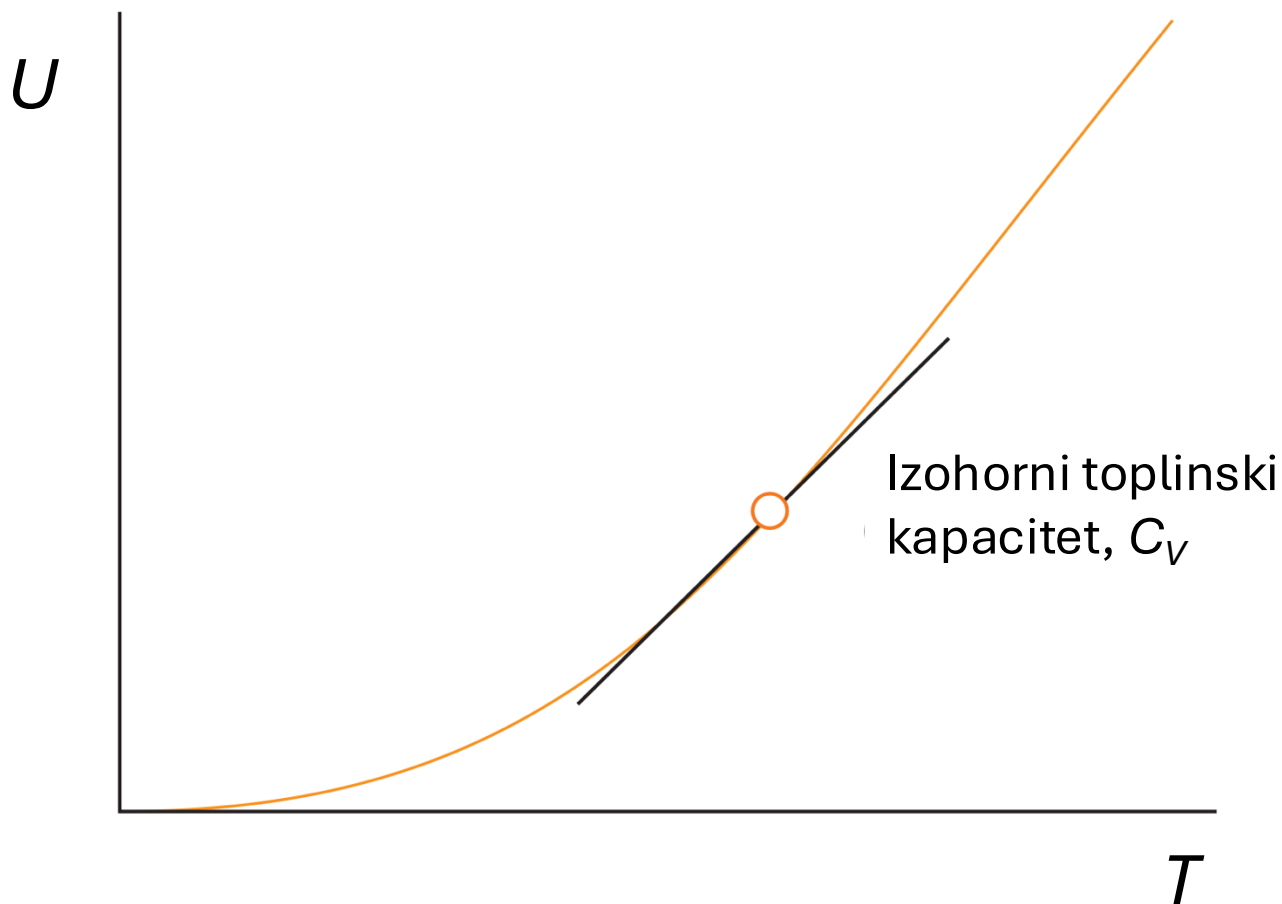
dU = infinitezimalna **promjena** U

dq (dw) = infinitezimalna **količina** q (w)



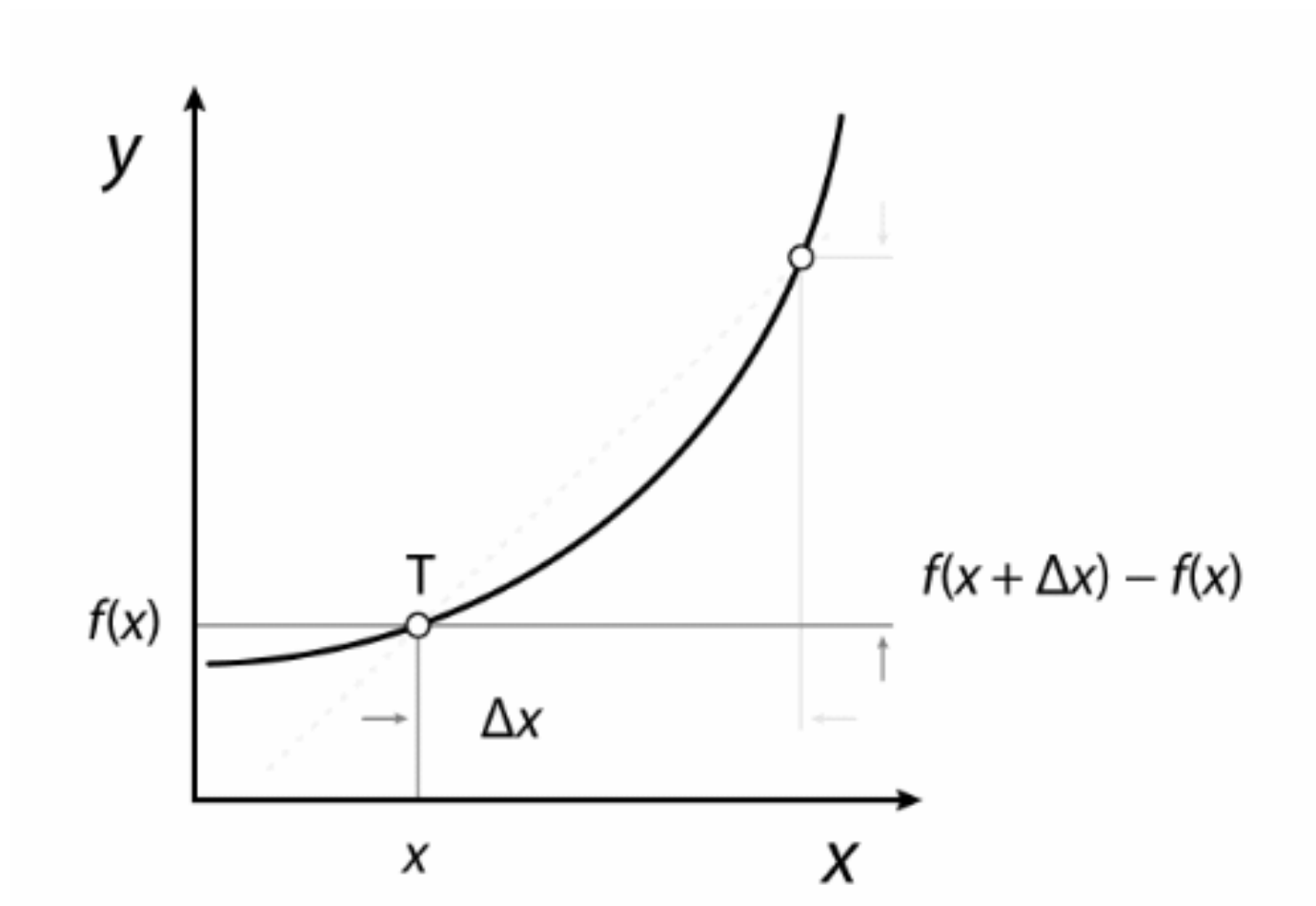
Kako se U mijenja s T ?

(pri konstantnom volumenu)



Čemu je jednak nagib funkcije u nekoj točki?

Nagib funkcije u točki T



RAD I TOPLINA

RAD

= oblik prijenosa energije koji uključuje **savladavanje neke sile**
(= izmjena energije na bilo koji način osim zbog temperaturne razlike).

$\Delta U > 0$	nad sustavom se vrši rad (povećava se unutrašnja energija sustava)
$\Delta U < 0$	sustav vrši rad (smanjuje se unutrašnja energija sustava)

$$dw = -F \cdot ds$$

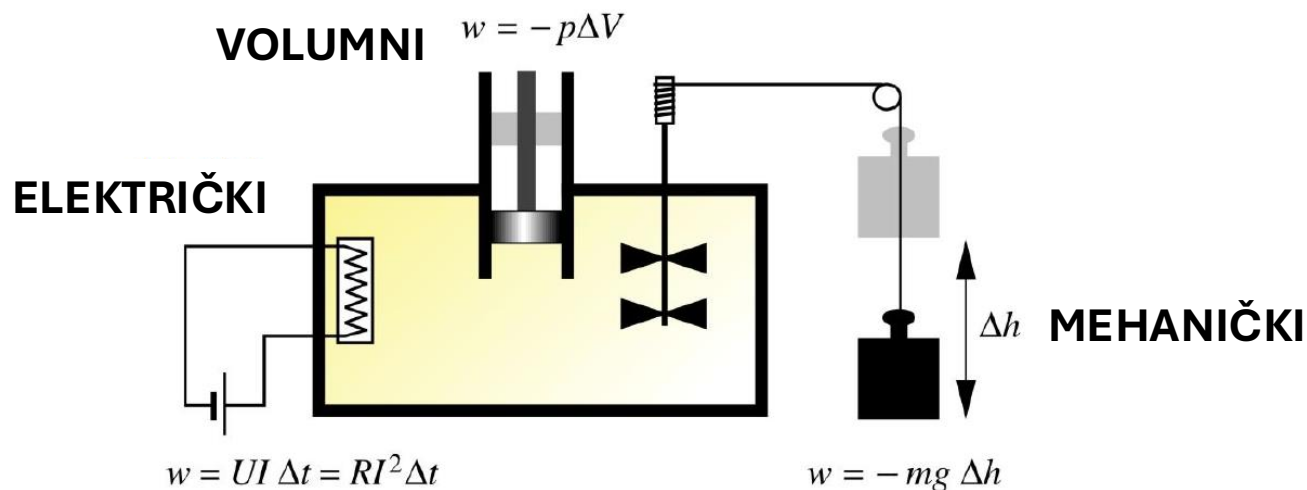
$$dw = -X \cdot dx$$

RAD

$$dw = -X \cdot dx$$

	X	x
VOLUMNI	p	V
GRAVITACIJSKI	mg	h
MEĐUPOVRŠINSKI	σ	A_s
ELEKTRIČKI	$\Delta\phi$	Q
KEMIJSKI	μ	n

$$w = -pdV$$



Zadatak

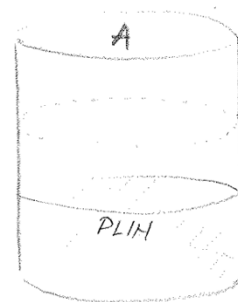
Kemijska reakcija zbiva se u cilindričnoj posudi s lako pomičnim klipom. Poprečni presjek posude je 100 cm^2 . Tijekom reakcije razvija se plin te se klip pomakne za 10 cm nasuprot vanjskom tlaku od 1 atm . Izračunajte izvršeni rad.

$$A = 100 \text{ cm}^2$$

$$\Delta s = 10 \text{ cm}$$

$$p_{\text{ex}} = 1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$$

$$W = ?$$



$$\Delta s = 10 \text{ cm}$$

VOLUMNI RAD: $W = -p \cdot \Delta V$

$$W = -p \cdot A \Delta s$$

MJERNE JEDINICE: $[W] = [E] = \underline{\underline{J}}$

$$[p] = \text{Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$[A] = \text{m}^2$$

$$[\Delta s] = \text{m}$$

} izraziti u m!

$$[W] = [p][A][\Delta s]$$

$$[J] = \text{N m}^{-2} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{m}$$

$$= \text{N} \cdot \text{m}$$

Zadatak

Kemijska reakcija zbiva se u cilindričnoj posudi s lako pomičnim klipom. Poprečni presjek posude je 100 cm^2 . Tijekom reakcije razvija se plin te se klip pomakne za 10 cm nasuprot vanjskom tlaku od 1 atm . Izračunajte izvršeni rad.

$$1 \text{ cm} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 0,01 \text{ m} \Rightarrow \Delta s = 10 \cdot 1 \cdot 10^{-2} \text{ m} = \underline{0,1 \text{ m}}$$

$$1 \text{ cm}^2 = (1 \cdot 10^{-2})^2 \text{ m}^2 = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow A = 100 \cdot 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 = \underline{0,01 \text{ m}^2}$$

$$W = -p A \Delta s$$

$$= -101325 \text{ Pa} \cdot 0,01 \text{ m}^2 \cdot 0,1 \text{ m}$$

$$= -101325 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

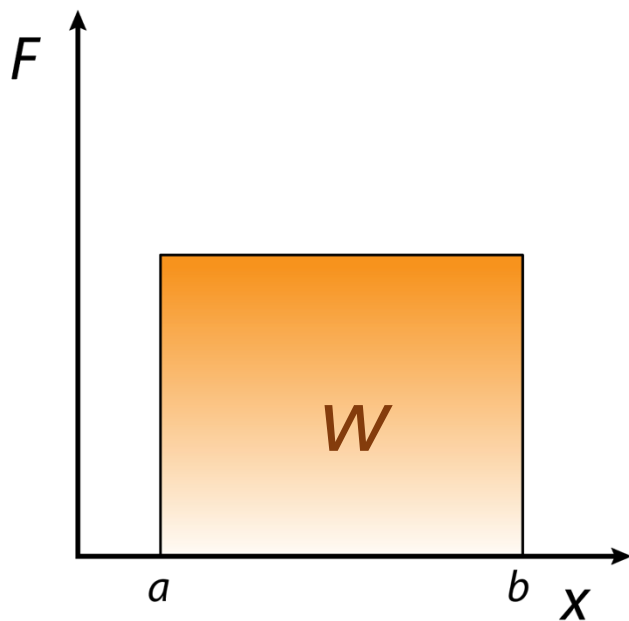
$$= -101,325 \text{ J}$$

$$\text{Pa} \cdot \text{m}^3 = \text{J}$$

RAD

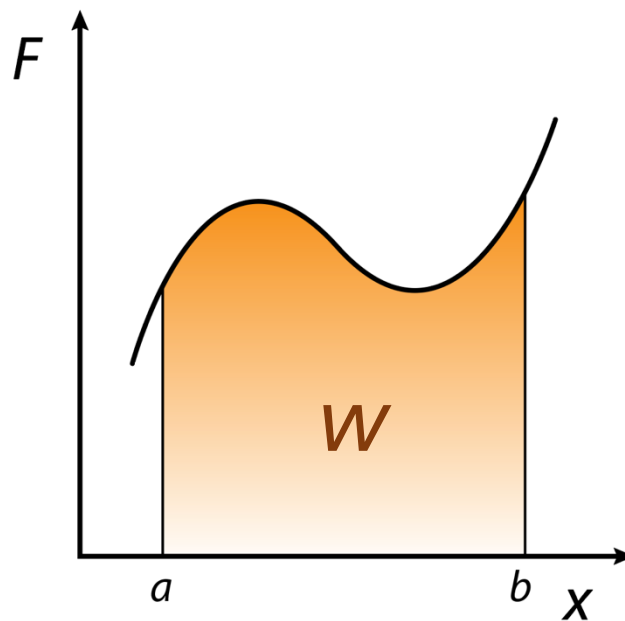
Ako je sila F konstantna u nekom intervalu Δx :

$$w = - F \cdot \Delta x$$



Za rad protivno sili F (konstantna ili se mijenja s x):

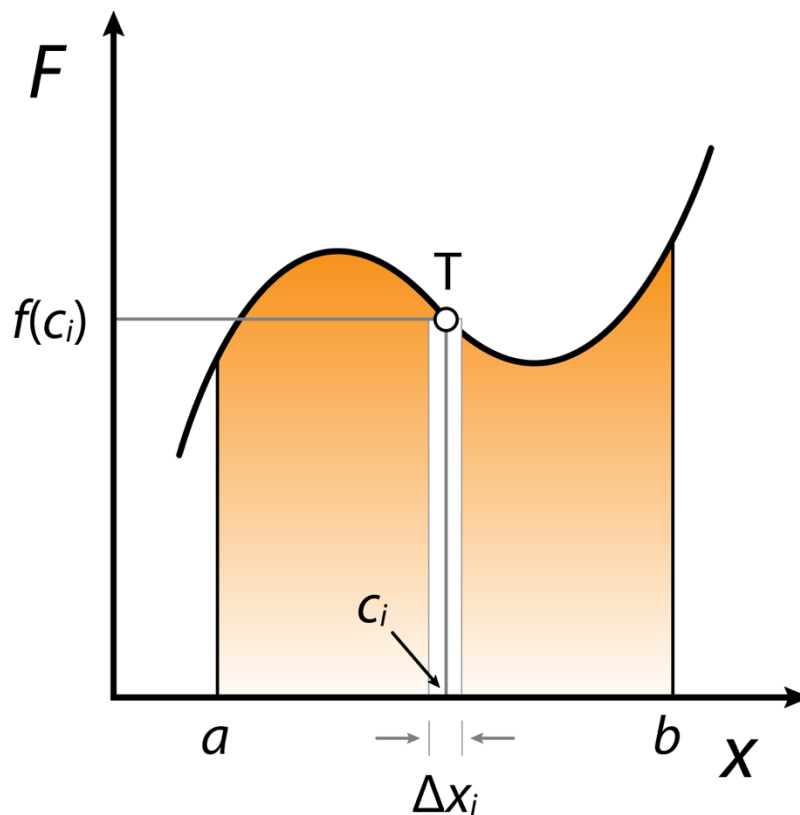
$$dw = - F \cdot dx$$



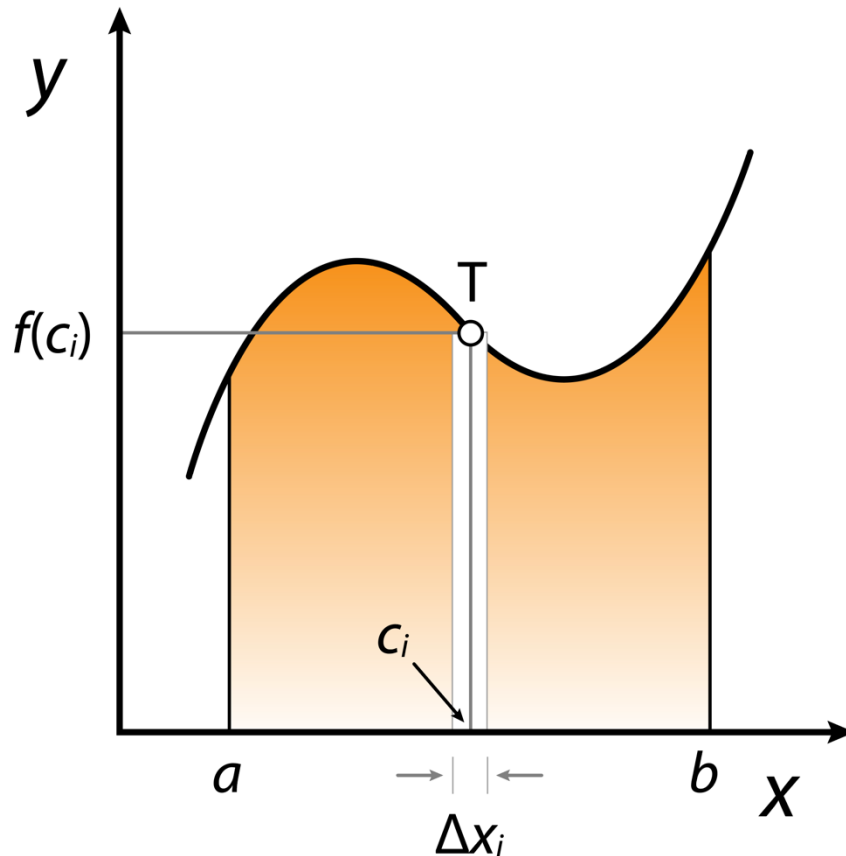
RAD

Kako izračunati rad ako sila F nije konstantna (mijenja se ovisno o x)?

Rad protivno sili F u intervalu $x = a$ do $x = b$ – moguće rastaviti na rad u nizu manjih intervala Δx_i :



INTEGRAL

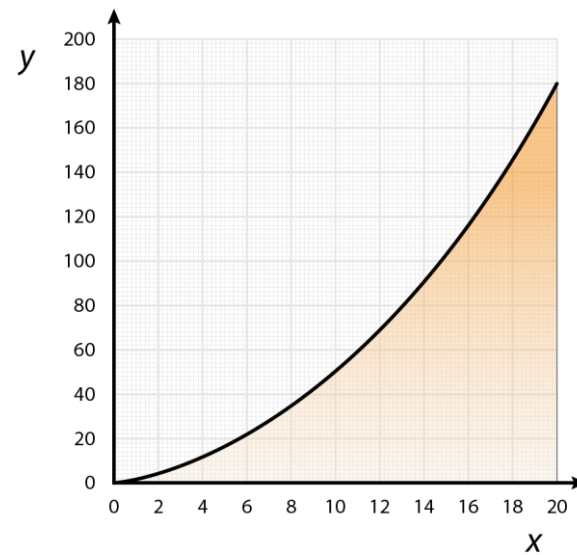
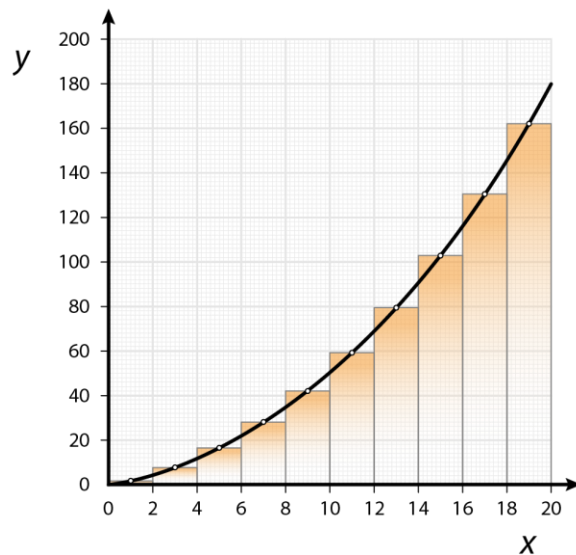
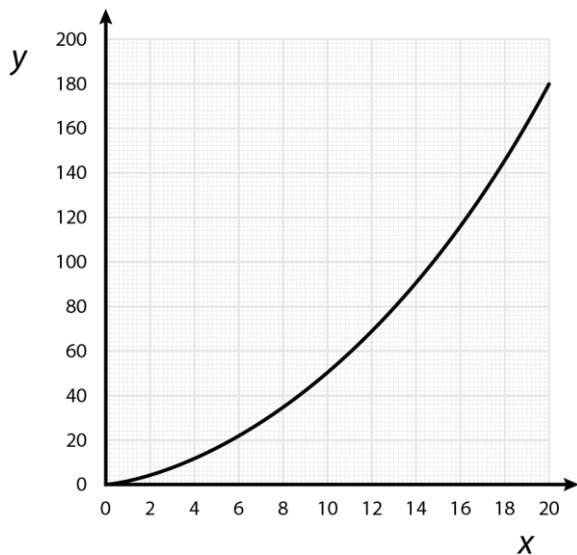


$$\Delta x = \frac{b - a}{n}$$

$$\int_a^b f(x) dx = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left(\sum_{i=1}^n f(c_i) \cdot \Delta x \right)$$

n = broj manjih intervala Δx_i na koje smo podijelili interval od $x = a$ do $x = b$

INTEGRAL



Za funkciju $y = x^2$, prvih pet pravokutnika:

$$A_{0,2} = 1^2 \cdot 2 = 2$$

$$A_{2,4} = 3^2 \cdot 2 = 18$$

$$A_{4,6} = 5^2 \cdot 2 = 50$$

$$A_{6,8} = 7^2 \cdot 2 = 98$$

$$A_{8,10} = 9^2 \cdot 2 = 162$$

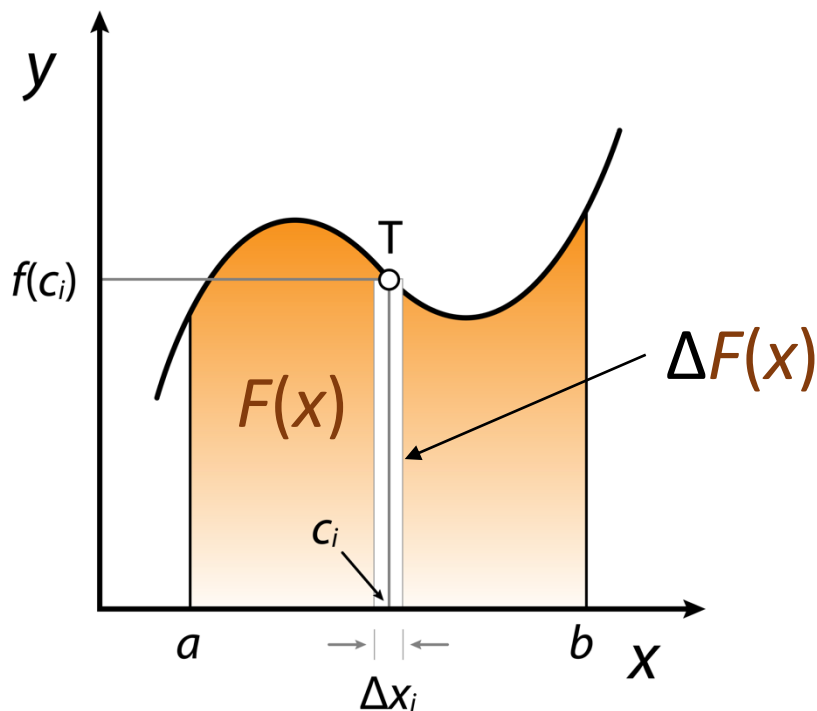
$$A_{0,10} = 330$$

Za funkciju $y = x^2$, **integral** od $x_1 = 0$ do $x_2 = 10$:

$$A = \int_0^{10} x^2 dx = \frac{x^3}{3} \Big|_{x_1=0}^{x_2=10}$$

$$A = \frac{10^3}{3} - \frac{0^3}{3} = \frac{1000}{3} = 333$$

INTEGRAL $\leftrightarrow$ DERIVACIJA



$F(x)$ ovdje **ne predstavlja silu**, već ...

$F(x)$ = funkcija koja opisuje kako se „površina” ispod funkcije $f(x)$ mijenja s x (na slici odgovara integralu funkcije y od $x = a$ do $x = b$)

$\Delta F(x)$ = konačna „površina” ispod funkcije $f(x)$ u za neku vrijednost x (ovdje c_i) u uskom intervalu Δx :

$$\Delta F(x) \approx f(x) \cdot \Delta x$$

Kada je Δx infinitezimalno malen (teži u 0), kvocijent $\Delta F(x)/\Delta x$ odgovara vrijednosti funkcije y u točki x ($f(x)$), odnosno derivaciji funkcije $F(x)$:

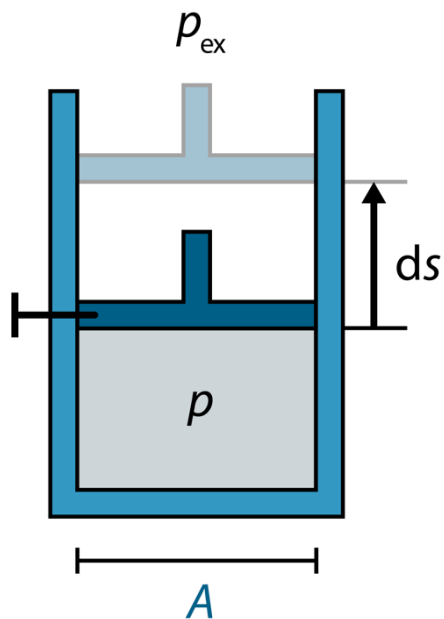
$$F'(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta F(x)}{\Delta x} = f(x)$$

Δx = širina pravokutnika (za volumni rad $\rightarrow dV$)

$f(x)$ = visina pravokutnika (za volumni rad $\rightarrow p$)

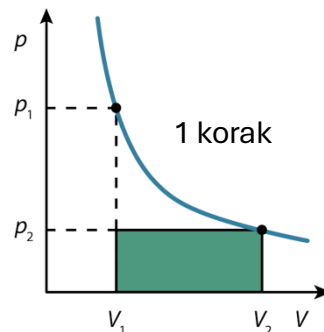
$\Delta F(x)$ = površina pravokutnika (za volumni rad $\rightarrow dw$)

Volumni rad



$$dw = -p \cdot A \cdot ds$$

$$dw = -p \cdot dV$$



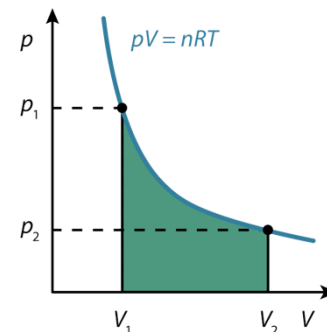
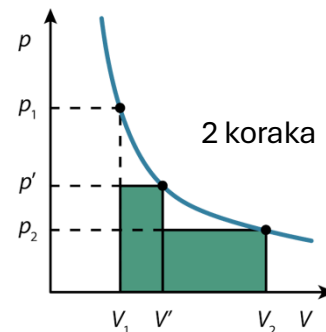
IREVERZIBILNO
(prema konstantnom vanjskom tlaku, p_{ex})

1 korak: $dw_{\text{irev}} = -p_{\text{ex}} \cdot dV$

$$w_{\text{irev}} = -\int_{V_1}^{V_2} p_{\text{ex}} \cdot dV$$

$$= -p_{\text{ex}} \int_{V_1}^{V_2} dV$$

$$w_{\text{irev}} = -p_{\text{ex}} \Delta V$$



REVERZIBILNO
(prema vanjskom tlaku, $p = f(n, T, V)$)

$dw_{\text{rev}} = -p \cdot dV$

$$w_{\text{rev}} = -\int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV$$

$$= -\int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} \cdot dV$$

$$= -nRT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V}$$

$$w_{\text{rev}} = -nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Zadatak

Komad željeza mase 50 g ubačen je u spremnik s klorovodičnom kiselinom. Izračunajte volumni rad koji nastali plin izvrši ekspanzirajući ako je:

- spremnik zatvoren;
- spremnik otvoren.

$$m(\text{Fe}) = 50 \text{ g} \rightarrow \text{HNO}_3 \text{ i } \text{HCl}$$

$$a) \text{ ZATVOREN SPREMIK} \rightarrow \Delta V = \phi$$

$$b) \text{ OTVOREN SPREMIK} \rightarrow \Delta V \neq \phi, p = p_{\text{atm}}$$

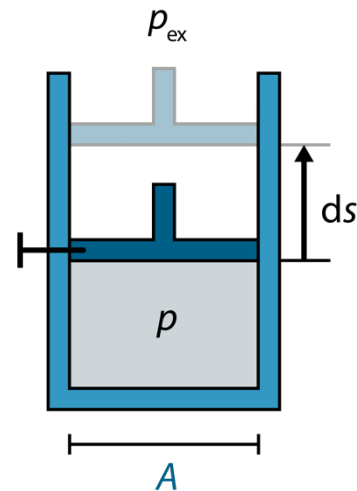
$$W = ?$$



STEHIOMETRIJA:

$$\begin{aligned} \frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{Fe})} &= \frac{3/2}{1} = \frac{3}{2} \Rightarrow n(\text{H}_2) = \frac{3}{2} n(\text{Fe}) \\ &= \frac{3}{2} \frac{m(\text{Fe})}{M(\text{Fe})} \\ &= \frac{3}{2} \frac{50 \text{ g}}{55,85 \text{ g mol}^{-1}} \end{aligned}$$

$$\underline{\underline{n(\text{H}_2) = 1,343 \text{ mol}}}$$



Zadatak

Komad željeza mase 50 g ubačen je u spremnik s klorovodičnom kiselinom. Izračunajte volumni rad koji nastali plin izvrši ekspanzirajući ako je:

- a) spremnik zatvoren;
- b) spremnik otvoren.

VOLUMNI RAD: $W = -p \Delta V$

a) $\Delta V = 0 \Rightarrow W = 0$

b) $\Delta V \neq 0$, $p = p_{\text{ex}} = 101325 \text{ Pa}$

KONAČAN $V(\text{H}_2)$ UZ ZADANE p I T POZNATU MNOŽIKU:

$$pV = nRT \Rightarrow V = \frac{nRT}{p} = \frac{1,343 \text{ mol} \cdot 8,314 \text{ J K mol}^{-1} \cdot 298,15 \text{ K}}{101325 \text{ Pa}}$$

$$V(\text{H}_2) = 0,0329 \text{ m}^3 (= 32,9 \text{ dm}^3)$$

$$V_0(\text{H}_2) = 0$$

$$W = -p_{\text{ex}} \Delta V = -p_{\text{ex}} \cdot (V_{\text{H}_2} - V_0) = -p_{\text{ex}} \cdot V(\text{H}_2)$$

$$= -101325 \text{ Pa} \cdot 0,0329 \text{ m}^3 \quad \text{Pa} \cdot \text{m}^3 = \text{J}$$

$$= -3329 \text{ J} \quad \text{Sustav vrši rad!}$$

Zadatak

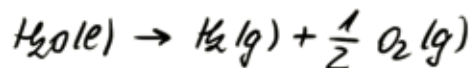
Izračunajte ekspanzijski rad koji izvrše plinovi nastali elektrolizom 50 g vode pri konstantnom tlaku i temperaturi od 25 °C. (R: $w = -10,31 \text{ kJ}$)

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 50 \text{ g}$$

$$p = \text{konst.} \Rightarrow \Delta p = 0$$

$$T = 25^\circ\text{C} \Rightarrow T = 298,15 \text{ K}$$

$$w = ?$$



$$\begin{aligned}\Rightarrow n(\text{plinovi}) &= \left(1 + \frac{1}{2}\right) n(\text{H}_2\text{O}) \\ &= 1,5 n \text{H}_2\text{O} \\ &= 1,5 \frac{m \text{H}_2\text{O}}{M \text{H}_2\text{O}} \\ &= 1,5 \frac{50 \text{ g}}{18,016 \text{ g mol}^{-1}} \\ &= \underline{\underline{4,16 \text{ mol}}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}dw &= -p dV && p = \text{konst.} \\ w &= -p \Delta V \\ &= -p V_{\text{plinovi}} && pV = nRT \\ &= -n_{\text{plinovi}} RT \\ &= -4,16 \text{ mol} \cdot 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 298,15 \text{ K} \\ w &= \underline{\underline{-10,31 \text{ kJ}}}\end{aligned}$$

Zadatak

Pri izotermnoj reverzibilnoj kompresiji 52 mmol idealnog plina pri temperaturi od 260 K volumen plina smanji se na trećinu početnog. Izračunajte izvršeni rad za taj proces. (R: $w = 123,5 \text{ J}$)

$$n(\text{idealni plin}) = 52 \text{ mmol} = 52 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 5,2 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

$$T = 260 \text{ K} = \text{konst.} \quad (\Delta T = 0)$$

$$V_2 = 1/3 V_1 \quad (V_1 = 3V_2) \rightarrow \text{kompresija na } 1/3 \text{ početnog volumena}$$

$$w = ?$$

VOLUMEN (ekspanzija) rad (način se ekspanzijski rad meri na o
tave dolazi li do ekspanzije ili kompresije)

$$dw = -p dV \quad p \neq \text{konst} \Rightarrow p = \frac{nRT}{V}$$

$$= -nRT \frac{dV}{V} \Big| \int$$

$$w = -nRT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V}$$

$$\text{tablični integral: } \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{x} = \ln \frac{x_2}{x_1}$$

$$w = -nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$= -5,2 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 260 \text{ K} \cdot \ln \frac{V_2}{3V_2}$$

$$\ln \frac{1}{3} = \ln 3^{-1} = -\ln 3$$

$$w = + 123,5 \text{ J}$$

TOPLINA

= oblik prijenosa energije kao posljedice razlike u temperaturama dvaju tijela

$\Delta U > 0$	ENDOTERMNI PROCESI Toplina iz okoline prelazi u sustav
----------------	--

$\Delta U < 0$	EGZOTERMNI PROCESI Toplina iz sustava prelazi u okolinu
----------------	---

$$\boxed{dq = CdT}$$

$$C = \frac{dq}{dT}$$

$$C = \frac{q}{\Delta T}$$

C = toplinski kapacitet

Rad i toplina **nisu funkcije stanja!** (q i w , ne Δq i Δw !)

Zadatak

Izračunajte specifični toplinski kapacitet neke tekućine ako je 30,5 g te tekućine početne temperature $T_i = 288 \text{ K}$ ohlađeno do temperature $T_f = 275 \text{ K}$ pri konstantnom tlaku. Toplina koju je sustav pritom izmijenio s okolinom iznosi 2,3 kJ. (R: $q = -2,3 \text{ kJ}$; $c_p = 5,8 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$)

$$m = 30,5 \text{ g}$$

$$T_i = T_1 = 288 \text{ K}$$

$$T_f = T_2 = 275 \text{ K}$$

$$p = \text{konst.} \quad (\Delta p = 0)$$

$$Q_{\text{izm}} = 2,3 \text{ kJ} = 2300 \text{ J}$$

$$\left. \begin{array}{l} T_i = T_1 = 288 \text{ K} \\ T_f = T_2 = 275 \text{ K} \end{array} \right\} \Delta T = T_2 - T_1 = -13 \text{ K}$$

$$Q_s, C_p = ?$$

$$\text{Izmijenjena energija u obliku toplote: } 2300 \text{ J}$$

$$\hookrightarrow \text{sustavu se smanjila temperatura} \Rightarrow Q_s < 0$$

$$\Rightarrow Q_s = -2300 \text{ J} = -2,3 \text{ kJ}$$

$$\Delta U = Q + W$$

$$\hookrightarrow W = 0 \quad (\text{ne ma rada u ovom sustavu})$$

$$= Q$$

$$\hookrightarrow p = \text{konst.}$$

$$\text{I} \quad \Delta U = Q_p$$

$$\text{II} \quad \Delta U = C_p \Delta T$$

$$C_p = \frac{Q_p}{\Delta T} = \frac{-2300 \text{ J}}{-13 \text{ K}} = 176,9 \text{ J K}^{-1} \quad \text{morao biti } > 0!$$

$$C_{p,s} = \frac{C_p}{m} = \frac{176,9 \text{ J K}^{-1}}{30,5 \text{ g}} = 5,8 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$$

Zadatak

Voda ima specifični toplinski kapacitet $4,18 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$. Da bi se 1 kg vode zagrijalo za 10 K ...

- Koliko razliku visine treba preći uteg od 10 kg koji pokreće miješalicu pomoću koje se zagrijava voda? (R: 4265 m)
- Koliko dugo treba teći struja jakosti 1 A kroz otpornik od 100Ω da proizvede jednaku toplinu? (R: 6,97 min)
- Koliko dugo bi se voda trebala zagrijavati pomoću solarnog kolektora površine 1 m^2 koji od sunca prima (ozračenost) $4,5 \text{ J cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$? (R: 0,93 min)
- Koliko ugljena treba izgorjeti ako jedan mol grafita proizvede 393 kJ topline kada se spali u ugljikov(IV) oksid pri konstantnom tlaku? (R: 1,28 g)

$$c(\text{H}_2\text{O}, \ell) = 4,18 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$$

9) GRAVITACIJSKI RAB: $W = m_{\text{uteg}} g h \rightarrow$ mora biti jednak Q potrebanj za zagrijati 1 kg H_2O za 10 K.

$$(Q = m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c(\text{H}_2\text{O}) \cdot \Delta T = \underline{41800 \text{ J}})$$

$$W = Q$$

$$m_{\text{uteg}} g h = c(\text{H}_2\text{O}, \ell) \cdot m(\text{H}_2\text{O}) \cdot \Delta T$$

$$h = \frac{c(\text{H}_2\text{O}, \ell) \cdot m(\text{H}_2\text{O}) \cdot \Delta T}{m_{\text{uteg}} \cdot g} = \frac{4,18 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1} \cdot 1000 \text{ g} \cdot 10 \text{ K}}{10 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m s}^{-2}} = 4265 \text{ J kg}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ s}^2 = \underline{\underline{4265 \text{ m}}}$$

$\text{J} = \text{kg m}^2 \text{ s}^{-2}$

b) ELEKTRIČNI RAD : $W = U \cdot I \cdot t = R \cdot I^2 \cdot t$ $Q = 41800 \text{ J}$

$$R = 100 \, \Omega$$

$$I = 1 \text{ A}$$

$$Q = W \rightarrow t = \frac{Q}{R I^2} = \frac{41800 \text{ J}}{100 \, \Omega \cdot (1 \text{ A})^2} = \frac{418 \text{ J} \, \Omega^{-1} \text{ A}^{-2}}{\cancel{\text{J}} \cdot \cancel{\text{A}^2} \cdot \cancel{\text{s}^{-2}} \cdot \cancel{\text{A}^2} \text{ s}} = \underline{\underline{418 \text{ s}}}$$

MJERNE JEDINICE : VOLT (NAPON) : $V = \text{J C}^{-1}$ (ENERGIJA (J) PO NABOJU (C))

AMPER (JAKOST STRUJE) : $A = \text{C s}^{-1}$ (NABOJ (C) U VREMENU (S))

OM (OTPOR) : $\Omega = \text{V A}^{-1} = \text{J C}^{-1} \cdot \text{C}^{-1} \text{ s} = \text{J C}^{-2} \text{ s}$

$$[W] = [R] \cdot [I]^2 \cdot [t]$$

$$\text{J} = \Omega \cdot \text{A}^2 \cdot \text{s}$$

$$= \cancel{\text{J C}^{-2} \text{ s}} \cdot \cancel{\text{C}^2 \text{ s}^{-2}} \cdot \underline{\underline{\text{s}}} \quad \checkmark$$

c) RAD Sjenerositi

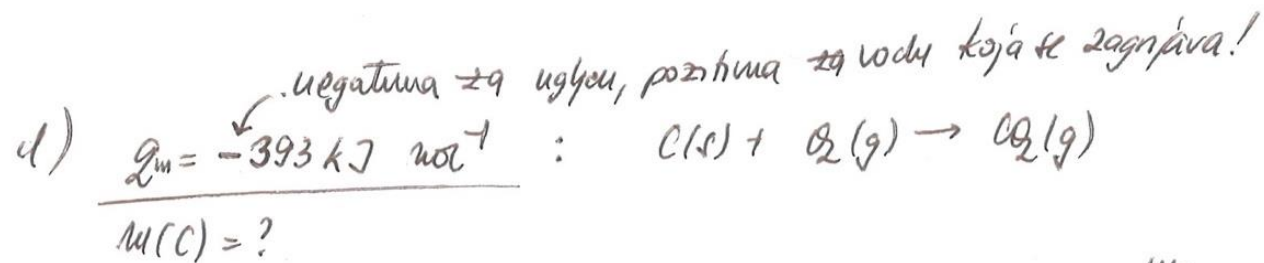
$$A = 1 \text{ m}^2 = 10^4 \text{ cm}^2$$

$$I = 45 \text{ J cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$$

$$Q = W = A \cdot I \cdot \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{Q}{A \cdot I} = \frac{41800 \text{ J}}{10^4 \text{ cm}^2 \cdot 45 \text{ J cm}^{-2} \text{ min}^{-1}} = \underline{\underline{0,93 \text{ min}}}$$

(56 s)



$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = Q_{\text{C}} = Q_m \cdot n(\text{C}) = Q_m \cdot \frac{m_{\text{C}}}{M_{\text{C}}}$$

$$\Rightarrow M_{\text{C}} = Q_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \frac{M_{\text{C}}}{Q_m} = 41800 \text{ J} \cdot \frac{12,01 \text{ g mol}^{-1}}{393000 \text{ J mol}^{-1}} = \underline{\underline{1,28 \text{ g}}}$$

Zadatak

Izračunajte masu vode temperature 20 °C potrebnu za hlađenje 0,5 kg željeza temperature 75 °C, da temperatura vode ne prijeđe 50 °C. $c_p(\text{Fe(s)}) = 0,488 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$; $c_p(\text{H}_2\text{O}) = 4,18 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$. (R: $m = 48,64 \text{ g}$)

IZOLIRANA POSUDA :

$$\boxed{Q_{\text{H}_2\text{O}}} + \boxed{Q_{\text{Fe}}} = 0$$

GRIVANJE
H₂O

HLADENJE
Fe

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = -Q_{\text{Fe}}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} c_p(\text{H}_2\text{O}) \Delta T_{\text{H}_2\text{O}} = -m_{\text{Fe}} c_p(\text{Fe}) \Delta T_{\text{Fe}}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} c_p(\text{H}_2\text{O}) (30 \text{ K}) = -m_{\text{Fe}} c_p(\text{Fe}) (-25 \text{ K})$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \dots = 44,64 \text{ g}$$

$$\begin{array}{cc} 50^\circ\text{C} & 20^\circ\text{C} \\ \{ & \{ \\ \Delta T_{\text{H}_2\text{O}} = 323,15 \text{ K} - 293,15 \text{ K} \\ = 30 \text{ K} \end{array}$$

$$\begin{array}{cc} & 75^\circ\text{C} \\ & \{ \\ \Delta T_{\text{Fe}} = 323,15 \text{ K} - 348,15 \text{ K} \\ = -25 \text{ K} \end{array}$$

Zadatak

Tijekom neke reakcije uz stalni tlak temperatura vode mase 500 g povišala se s 15,0 °C na 21,5 °C. Izračunajte toplinu koja se izmijenila s okolinom uslijed te reakcije ako je specifični toplinski kapacitet tekuće vode 4,18 J K⁻¹ g⁻¹. (R: $q = -13,59$ kJ)

Zadatak

Odredite toplinu potrebnu za zagrijavanje 1 kg vode od 20 °C do vrelišta. Specifični toplinski kapacitet tekuće vode iznosi $4,18 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$. (R: $q = 334,4 \text{ kJ}$)

Pitanja za ponavljanje

1. Što je toplina?
2. Što je rad?
3. Što je volumni rad?
4. Kako biste izračunali rad pri izotermnoj ireverzibilnoj ekspanziji idealnog plina nasuprot stalnom vanjskom tlaku?
5. Kako biste izračunali rad pri izotermnoj reverzibilnoj ekspanziji idealnog plina?
6. Što je to reverzibilan proces?
7. Što je toplinski kapacitet?
8. Što je unutrašnja energija sustava?
9. Kako glasi prvi stavak termodinamike?