

Osnovni pojmovi termodinamike

Duje Jerić- Miloš

25. svibnja 2025.

Tlak

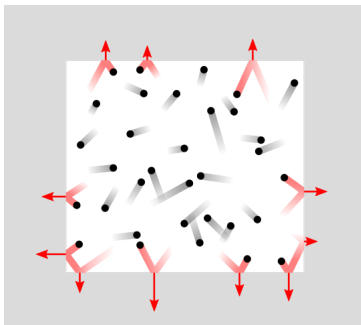
- ▶ Tlak = djelovanje sile na jedinicu površine $\text{Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$

Tlak

- ▶ Tlak = djelovanje sile na jedinicu površine $\text{Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$
- ▶ Kada smo uronjeni u plin (ili tekućinu), onda na nas djeluje tlak. Zašto?

Tlak

- ▶ Tlak = djelovanje sile na jedinicu površine $P_a = \frac{N}{m^2}$
- ▶ Kada smo uronjeni u plin (ili tekućinu), onda na nas djeluje tlak. Zašto?
- ▶ Atomi medija u koji smo uronjeni se sudaraju s nama \implies djeluje neka srednja sila po m^2



Temperatura

- ▶ Temperatura, grubo rečeno, mjeri *koliko je tijelo zagrijano*.

Temperatura

- ▶ Temperatura, grubo rečeno, mjeri *koliko je tijelo zagrijano*.
- ▶ Ovo govori koliko je brzo (silovito) nasumično gibanje atoma

Temperatura

- ▶ Temperatura, grubo rečeno, mjeri *koliko je tijelo zagrijano*.
- ▶ Ovo govori koliko je brzo (silovito) nasumično gibanje atoma
- ▶ Vrući zrak \implies atomi se brže gibaju

Temperatura

- ▶ Temperatura, grubo rečeno, mjeri *koliko je tijelo zagrijano*.
- ▶ Ovo govori koliko je brzo (silovito) nasumično gibanje atoma
- ▶ Vrući zrak \implies atomi se brže gibaju
- ▶ Hladni zrak \implies atomi se sporije gibaju

Temperatura

- ▶ Temperatura, grubo rečeno, mjeri *koliko je tijelo zagrijano*.
- ▶ Ovo govori koliko je brzo (silovito) nasumično gibanje atoma
- ▶ Vrući zrak \implies atomi se brže gibaju
- ▶ Hladni zrak \implies atomi se sporije gibaju
- ▶ U spremniku danu količinu zraka zagrijavamo, što se događa s tlakom?

Temperatura

- ▶ Temperatura, grubo rečeno, mjeri *koliko je tijelo zagrijano*.
- ▶ Ovo govori koliko je brzo (silovito) nasumično gibanje atoma
- ▶ Vrući zrak \implies atomi se brže gibaju
- ▶ Hladni zrak \implies atomi se sporije gibaju
- ▶ U spremniku danu količinu zraka zagrijavamo, što se događa s tlakom?
- ▶ Zagrijavamo \implies atomi se brže gibaju \implies Sudari sa spremnikom su snažniji \implies tlak je veći

Unutrašnja energija

- ▶ Sustav koji promatramo se sastoji od čestica

Unutrašnja energija

- ▶ Sustav koji promatramo se sastoji od čestica
- ▶ One imaju kinetičku energiju (gibaju se) i potencijalnu (međudjeluju jedna s drugom)

Unutrašnja energija

- ▶ Sustav koji promatramo se sastoji od čestica
- ▶ One imaju kinetičku energiju (gibaju se) i potencijalnu (međudjeluju jedna s drugom)
- ▶ Ukupna energija je zbroj te dvije $E = KE + PE$.
- ▶ Brzine čestica određuju kinetičku energiju sustava

Unutrašnja energija

- ▶ Sustav koji promatramo se sastoji od čestica
- ▶ One imaju kinetičku energiju (gibaju se) i potencijalnu (međudjeluju jedna s drugom)
- ▶ Ukupna energija je zbroj te dvije $E = KE + PE$.
- ▶ Brzine čestica određuju kinetičku energiju sustava
- ▶ Položaji čestica određuju koliko one snažno međudjeluju

Unutrašnja energija

- ▶ Sustav koji promatramo se sastoji od čestica
- ▶ One imaju kinetičku energiju (gibaju se) i potencijalnu (međudjeluju jedna s drugom)
- ▶ Ukupna energija je zbroj te dvije $E = KE + PE$.
- ▶ Brzine čestica određuju kinetičku energiju sustava
- ▶ Položaji čestica određuju koliko one snažno međudjeluju
- ▶ Možemo li točno poznavati položaje i brzine čestica?

Unutrašnja energija

- ▶ Sustav koji promatramo se sastoji od čestica
- ▶ One imaju kinetičku energiju (gibaju se) i potencijalnu (međudjeluju jedna s drugom)
- ▶ Ukupna energija je zbroj te dvije $E = KE + PE$.
- ▶ Brzine čestica određuju kinetičku energiju sustava
- ▶ Položaji čestica određuju koliko one snažno međudjeluju
- ▶ Možemo li točno poznavati položaje i brzine čestica?
- ▶ NE! Ali možemo favoriti o najvjerojatnijim brzinama i položajima

Unutrašnja energija

- ▶ Sustav koji promatramo se sastoji od čestica
- ▶ One imaju kinetičku energiju (gibaju se) i potencijalnu (međudjeluju jedna s drugom)
- ▶ Ukupna energija je zbroj te dvije $E = KE + PE$.
- ▶ Brzine čestica određuju kinetičku energiju sustava
- ▶ Položaji čestica određuju koliko one snažno međudjeluju
- ▶ Možemo li točno poznavati položaje i brzine čestica?
- ▶ NE! Ali možemo govoriti o najvjerojatnijim brzinama i položajima
- ▶ Dakle, ne možemo znati točnu energiju sustava, ali možemo govoriti o srednjoj energiji - ovo zovemo **unutrašnja energija**.

Termodinamička ravnoteža

- ▶ Što se dogodi kada pomiješamo toplu (40°C) i hladnu (20°C) vodu?

Termodinamička ravnoteža

- ▶ Što se dogodi kada pomiješamo toplu (40°C) i hladnu (20°C) vodu?
- ▶ U početku imamo vodu koja nije u ravnoteži - nema dobro definiranu temperaturu

Termodinamička ravnoteža

- ▶ Što se dogodi kada pomiješamo toplu (40°C) i hladnu (20°C) vodu?
- ▶ U početku imamo vodu koja nije u ravnoteži - nema dobro definiranu temperaturu
- ▶ Kada se stanje primiri, onda će mješavina vode biti na nekoj temperaturi između 20°C i 40°C .

Termodinamička ravnoteža

- ▶ Što se dogodi kada pomiješamo toplu (40°C) i hladnu (20°C) vodu?
- ▶ U početku imamo vodu koja nije u ravnoteži - nema dobro definiranu temperaturu
- ▶ Kada se stanje primiri, onda će mješavina vode biti na nekoj temperaturi između 20°C i 40°C .
- ▶ Kada se stanje primiri sustav je ušao u **termodinamičku ravnotežu**

Termodinamička ravnoteža

- ▶ Što se dogodi kada pomiješamo toplu (40°C) i hladnu (20°C) vodu?
- ▶ U početku imamo vodu koja nije u ravnoteži - nema dobro definiranu temperaturu
- ▶ Kada se stanje primiri, onda će mješavina vode biti na nekoj temperaturi između 20°C i 40°C .
- ▶ Kada se stanje primiri sustav je ušao u **termodinamičku ravnotežu**
- ▶ Slično i kada imamo dva spremnika plina pod različitim tlakovima koji su spojeni nekom cijevi.

Termodinamička ravnoteža

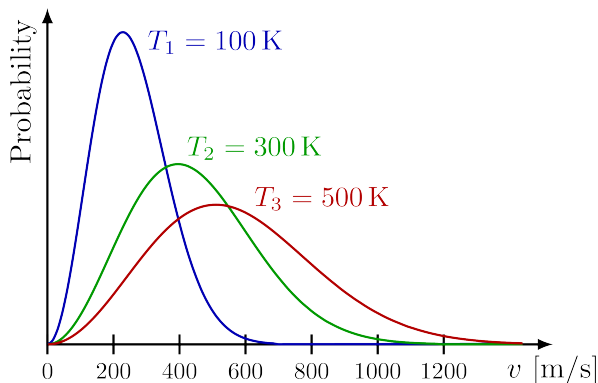
- ▶ Što se dogodi kada pomiješamo toplu (40°C) i hladnu (20°C) vodu?
- ▶ U početku imamo vodu koja nije u ravnoteži - nema dobro definiranu temperaturu
- ▶ Kada se stanje primiri, onda će mješavina vode biti na nekoj temperaturi između 20°C i 40°C .
- ▶ Kada se stanje primiri sustav je ušao u **termodinamičku ravnotežu**
- ▶ Slično i kada imamo dva spremnika plina pod različitim tlakovima koji su spojeni nekom cijevi.
- ▶ Kada sustav uđe u ravnotežu tlakovi će se u spremnicima izjednačiti.

Termodinamička ravnoteža

- ▶ Sustav van ravnoteže ima komplicirano ponašanje

Termodinamička ravnoteža

- ▶ Sustav van ravnoteže ima komplicirano ponašanje
- ▶ Ali unutar ravnoteže položaji i brzine čestica su opisane tzv. Gibbsovom distribucijom



Mjerimo temperaturu: Celzijusevi stupnjevi

- ▶ Kada zagrijavamo materijal, on se .

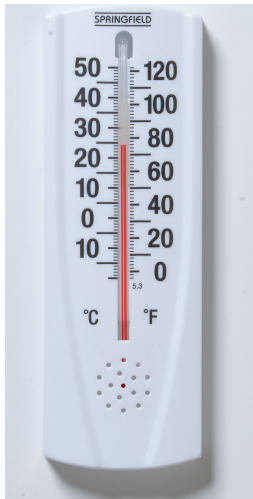
Mjerimo temperaturu: Celzijusevi stupnjevi

- ▶ Kada zagrijavamo materijal, on se širi.
- ▶ Atomi i molekule se sada brže gibaju pa se drže na nešto većim međusobnim udaljenostima

Mjerimo temperaturu: Celzijusevi stupnjevi

- ▶ Kada zagrijavamo materijal, on se širi.
- ▶ Atomi i molekule se sada brže gibaju pa se drže na nešto većim međusobnim udaljenostima
- ▶ Ovo možemo iskoristiti za mjerenje temperature.

Mjerimo temperaturu: Celzijusevi stupnjevi



Mjerimo temperaturu: Celzijusevi stupnjevi

- ▶ Pronađemo ledište i vrelište vode (pri atmosferskom tlaku!) te zabilježimo razinu žive u cjevčici.

Mjerimo temperaturu: Celzijusevi stupnjevi

- ▶ Pronađemo ledište i vrelište vode (pri atmosferskom tlaku!) te zabilježimo razinu žive u cjevčici.
- ▶ Ledište nazovemo 0°C , a vrelište 100°C

Mjerimo temperaturu: Celzijusevi stupnjevi

- ▶ Pronađemo ledište i vrelište vode (pri atmosferskom tlaku!) te zabilježimo razinu žive u cjevčici.
- ▶ Ledište nazovemo 0°C , a vrelište 100°C
- ▶ 1°C je stotina tog temperaturnog raspona (stotina pomaka žive u termometru)

Apsolutna nula

- ▶ Temperatura nam govori nešto o gibanju čestica

Apsolutna nula

- ▶ Temperatura nam govori nešto o gibanju čestica
- ▶ Dakle, najniža moguća temperatura je ona na kojoj se čestice NE gibaju - tzv. **apsolutna nula**

Apsolutna nula

- ▶ Temperatura nam govori nešto o gibanju čestica
- ▶ Dakle, najniža moguća temperatura je ona na kojoj se čestice NE gibaju - tzv. **apsolutna nula**
- ▶ Temperaturu (za plin) onda možemo mjeriti kao srednju kinetičku energiju **po čestici**

Apsolutna nula

- ▶ Temperatura nam govori nešto o gibanju čestica
- ▶ Dakle, najniža moguća temperatura je ona na kojoj se čestice NE gibaju - tzv. **apsolutna nula**
- ▶ Temperaturu (za plin) onda možemo mjeriti kao srednju kinetičku energiju **po čestici**
- ▶ Ovo NIJE srednja ukupna kinetička energija

Apsolutna nula

- ▶ Temperatura nam govori nešto o gibanju čestica
- ▶ Dakle, najniža moguća temperatura je ona na kojoj se čestice NE gibaju - tzv. **apsolutna nula**
- ▶ Temperaturu (za plin) onda možemo mjeriti kao srednju kinetičku energiju **po čestici**
- ▶ Ovo NIJE srednja ukupna kinetička energija
- ▶ Ako spremniku plina dodamo još plina na istoj temperaturi, onda smo povećali srednju kinetičku energiju (više čestica), ali ne i temperaturu.

Mjerimo temperaturu: kelvini

- ▶ Apsolutna nula je 0K, a promjena od 1K jednaka je promjeni od 1°C.

Mjerimo temperaturu: kelvini

- ▶ Apsolutna nula je 0K, a promjena od 1K jednaka je promjeni od 1°C.
- ▶ Točnije, neka je masa čestice m , srednja brzina $\langle v \rangle$, a srednja kinetička energija po čestici $\frac{1}{2}m\langle v \rangle^2$

Mjerimo temperaturu: kelvini

- ▶ Apsolutna nula je 0K, a promjena od 1K jednaka je promjeni od 1°C.
- ▶ Točnije, neka je masa čestice m , srednja brzina $\langle v \rangle$, a srednja kinetička energija po čestici $\frac{1}{2}m\langle v \rangle^2$
- ▶ Temperatura u Kelvinima je određena s $\frac{3}{2}kT = \frac{1}{2}m\langle v \rangle^2$

Mjerimo temperaturu: kelvini

- ▶ Apsolutna nula je 0K, a promjena od 1K jednaka je promjeni od 1°C.
- ▶ Točnije, neka je masa čestice m , srednja brzina $\langle v \rangle$, a srednja kinetička energija po čestici $\frac{1}{2}m\langle v \rangle^2$
- ▶ Temperatura u Kelvinima je određena s $\frac{3}{2}kT = \frac{1}{2}m\langle v \rangle^2$
- ▶ Konstanta k se izvorno odredila tako da promjena od 1K bude jednaka promjeni od 1°C

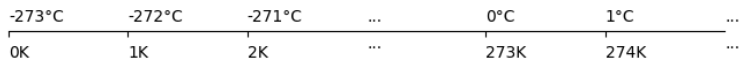
Mjerimo temperaturu: kelvini

- ▶ Apsolutna nula je 0K, a promjena od 1K jednaka je promjeni od 1°C.
- ▶ Točnije, neka je masa čestice m , srednja brzina $\langle v \rangle$, a srednja kinetička energija po čestici $\frac{1}{2}m\langle v \rangle^2$
- ▶ Temperatura u Kelvinima je određena s $\frac{3}{2}kT = \frac{1}{2}m\langle v \rangle^2$
- ▶ Konstanta k se izvorno odredila tako da promjena od 1K bude jednaka promjeni od 1°C
- ▶ Danas je k definiran kao $1.380649 \times 10^{23} \text{ J/K}$.

Mjerimo temperaturu: kelvini

- ▶ Apsolutna nula je 0K, a promjena od 1K jednaka je promjeni od 1°C.
- ▶ Točnije, neka je masa čestice m , srednja brzina $\langle v \rangle$, a srednja kinetička energija po čestici $\frac{1}{2}m\langle v \rangle^2$
- ▶ Temperatura u Kelvinima je određena s $\frac{3}{2}kT = \frac{1}{2}m\langle v \rangle^2$
- ▶ Konstanta k se izvorno odredila tako da promjena od 1K bude jednaka promjeni od 1°C
- ▶ Danas je k definiran kao $1.380649 \times 10^{23} \text{ J/K}$.
- ▶ $\frac{3}{2}$ je tu samo da bi zakon idealnog plina imao ljepši oblik ($pV = NkT$)

Mjerimo temperaturu: Kelvini



Zaključimo (prepišite)

- ▶ **Atmosferski tlak:** čestice se sudaraju sa stijenkama spremnika

Zaključimo (prepišite)

- ▶ **Atmosferski tlak:** čestice se sudaraju sa stijenkama spremnika
- ▶ **Temperatura** mjeri zagrijanost tijela, točnije koliko se čestice brzo gibaju

Zaključimo (prepišite)

- ▶ **Atmosferski tlak:** čestice se sudaraju sa stijenkama spremnika
- ▶ **Temperatura** mjeri zagrijanost tijela, točnije koliko se čestice brzo gibaju
- ▶ Čestice imaju kinetičku energiju zbog gibanja i potencijalnu zbog međudjelovanja

Zaključimo (prepišite)

- ▶ **Atmosferski tlak:** čestice se sudaraju sa stijenkama spremnika
- ▶ **Temperatura** mjeri zagrijanost tijela, točnije koliko se čestice brzo gibaju
- ▶ Čestice imaju kinetičku energiju zbog gibanja i potencijalnu zbog međudjelovanja
- ▶ **Unutrašnja energija** je srednja ukupna energija sustava

Zaključimo (prepišite)

- ▶ **Atmosferski tlak:** čestice se sudaraju sa stijenkama spremnika
- ▶ **Temperatura** mjeri zagrijanost tijela, točnije koliko se čestice brzo gibaju
- ▶ Čestice imaju kinetičku energiju zbog gibanja i potencijalnu zbog međudjelovanja
- ▶ **Unutrašnja energija** je srednja ukupna energija sustava
- ▶ **Apsolutna nula:** čestice se ne gibaju (ako zanemarimo kvantnu mehaniku)

Zaključimo (prepišite)

- ▶ **Atmosferski tlak:** čestice se sudaraju sa stijenkama spremnika
- ▶ **Temperatura** mjeri zagrijanost tijela, točnije koliko se čestice brzo gibaju
- ▶ Čestice imaju kinetičku energiju zbog gibanja i potencijalnu zbog međudjelovanja
- ▶ **Unutrašnja energija** je srednja ukupna energija sustava
- ▶ **Apsolutna nula:** čestice se ne gibaju (ako zanemarimo kvantnu mehaniku)
- ▶ Pomiješamo toplu i hladnu vodu. Kada se sustav primiri uđe u stanje **termodinamičke ravnoteže** \implies imamo novu dobro definiranu temperaturu mješavine

Zaključimo (prepišite)

- ▶ **Atmosferski tlak:** čestice se sudaraju sa stijenkama spremnika
- ▶ **Temperatura** mjeri zagrijanost tijela, točnije koliko se čestice brzo gibaju
- ▶ Čestice imaju kinetičku energiju zbog gibanja i potencijalnu zbog međudjelovanja
- ▶ **Unutrašnja energija** je srednja ukupna energija sustava
- ▶ **Apsolutna nula:** čestice se ne gibaju (ako zanemarimo kvantnu mehaniku)
- ▶ Pomiješamo toplu i hladnu vodu. Kada se sustav primiri uđe u stanje **termodinamičke ravnoteže** \implies imamo novu dobro definiranu temperaturu mješavine
- ▶ **Celzijusevi stupnjevi** su definirani leđištem i vrelištem vode

Zaključimo (prepišite)

- ▶ **Atmosferski tlak:** čestice se sudaraju sa stijenkama spremnika
- ▶ **Temperatura** mjeri zagrijanost tijela, točnije koliko se čestice brzo gibaju
- ▶ Čestice imaju kinetičku energiju zbog gibanja i potencijalnu zbog međudjelovanja
- ▶ **Unutrašnja energija** je srednja ukupna energija sustava
- ▶ **Apsolutna nula:** čestice se ne gibaju (ako zanemarimo kvantnu mehaniku)
- ▶ Pomiješamo toplu i hladnu vodu. Kada se sustav primiri uđe u stanje **termodinamičke ravnoteže** \implies imamo novu dobro definiranu temperaturu mješavine
- ▶ **Celzijusevi stupnjevi** su definirani leđištem i vrelištem vode
- ▶ **Kelvini** počinju na apsolutnoj nuli (0K), a pomak od 1K jednak je pomaku od 1°C.