

Fizika - sažetak za ispit

Prijenos topline · Zračenje tijela · Kirchhoff · Stefan-Boltzmann · Wien · Fotoefekt · Compton

1. Prijenos topline - 3 načina

- **Vođenje (kondukcija)** - toplina ide od molekule do molekule, s mjesta više na mjesto niže temperature, unutar nekog sredstva.
- **Strujanje (konvekcija)** - toplinu prenosi fluid (tekućina/plin) koji struji. Strujanje može biti *prirodno* ili *prisilno*.
- **Zračenje (radijacija)** - sva tijela zrače toplinske zrake = **elektromagnetski valovi** različitih valnih duljina. Zrače ih termički pobuđeni atomi i molekule. Ne treba sredstvo (radi i u vakuumu).

2. Zračenje zagrijanih tijela

- Intenzitet zračenja ovisi uglavnom o **temperaturi** tijela.
- Niže temperature → uglavnom **infracrveno**; iznad **~800 K** → i **vidljiva svjetlost**; vrlo visoke (užarene peći) → i **ultraljubičasto**.
- Zračenje koje padne na tijelo: dio se **reflektira** (r), dio **propusti** (p , ako je prozirno), dio **apsorbira** (a).

$$r + p + a = 1$$

$$E_r = r \cdot E, E_p = p \cdot E, E_a = a \cdot E \quad (E = \text{ukupna energija zračenja})$$

Tijelo	Uvjet	Značenje
Apsolutno crno	$a = 1, r = 0, p = 0$	sve apsorbira
Apsolutno bijelo	$r = 1, a = 0, p = 0$	sve reflektira
Sivo	između 0 i 1, konstanta	ne ovisi o valnoj duljini

3. Kirchhoffov zakon zračenja (1859.)

$$e(\lambda, T) / a(\lambda, T) = \text{konst.}$$

e = emisijska moć, a = koeficijent apsorpcije

Omjer emisijske moći i koeficijenta apsorpcije je za **svako tijelo isti** pri istoj λ i T . Jednostavno: **tijelo koje više zrači neku valnu duljinu, to je više i apsorbira** (pri istoj temperaturi). Dobar apsorber = dobar emiter.

4. Stefan-Boltzmannov zakon

Josef Stefan (slovenski fizičar) utvrdio je, a Ludwig Boltzmann teorijski izveo: energija koju jedinica površine crnog tijela izrači u jedinici vremena (**intenzitet**) razmjerna je **4. potenciji apsolutne temperature**.

$$I = \sigma \cdot T^4$$

intenzitet [W/m^2]

$$P = \sigma \cdot S \cdot T^4$$

snaga [W]

$$E = \sigma \cdot S \cdot T^4 \cdot t$$

energija [J]

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K}^4) \cdot S = \text{površina}, t = \text{vrijeme} \cdot \text{veze: } P = E/t, I = E/(S \cdot t)$$

⚠ **Pazi:** T uvijek u **kelvinima**: $T = t(^{\circ}\text{C}) + 273$. Ako se T udvostruči, intenzitet raste **$2^4 = 16$** puta.

5. Wienov zakon pomaka

$$\lambda_m \cdot T = b$$

$$b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ K} \cdot \text{m} \cdot \lambda_m = \text{valna duljina na kojoj tijelo zrači najviše}$$

Što je tijelo toplije, maksimum zračenja je na **manjoj** valnoj duljini (zato užareno željezo ide crveno → žuto → bijelo).

6. Fotoelektrični učinak

- **Definicija:** izlijetanje elektrona iz metala kad ga obasjamo svjetlošću ili UV zračenjem odgovarajuće frekvencije. Izbijeni elektroni = **fotoelektroni**.
- Elektroni su vezani za metal; da izađe, elektron mora obaviti **izlazni rad W_i** (= energija vezanja), mjeri se u **elektronvoltima** ($1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$).
- Svaki metal ima **graničnu frekvenciju ν_g** : ako je $\nu < \nu_g$ - nema fotoefekta, **koliko god jaka** svjetlost bila; ako je $\nu \geq \nu_g$ - fotoefekt ima i pri slaboj svjetlosti.
- **Jača svjetlost = više fotoelektrona** (ali ne brži elektroni!). Brzinu određuje frekvencija.
- **Einstein (1905.)**, potaknut Planckom: svjetlost je roj čestica - **fotona**. Foton se sudari sa slobodnim elektronom, preda mu **svu** energiju i nestane.

$$E = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda$$

energija fotona

$$h \cdot \nu = W_i + m_e v_{\max}^2 / 2$$

Einsteinova jednačina

$$\nu_g = W_i / h$$

granična frekvencija

$$E_{k,\max} = e \cdot U_z$$

napon zaustavljanja U_z

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

- **Graf $E_{k,\max}$ - ν** je **pravac**; nagib = **Planckova konstanta h** ; siječe os ν u točki ν_g ; produžen siječe os E u $-W_i$.
- **Napon zaustavljanja U_z** = napon pri kojem fotostruja prestaje teći (potpuno zaustavlja elektrone).
- **Fotoćelija:** vakuumirana staklena/kvarcna cijev s 2 elektrode. **Katoda (-)** od metala malog izlaznog rada (**cezij**), **anoda (+)** skuplja fotoelektrone. Osvijetljena → teče **fotostruja**; neosvijetljena → krug prekinut.
- **Primjena:** sklopka, pretvaranje svjetlosnih impulsa u električne, prijenos signala svjetlošću, ton filma, TV kamere, alarmni uređaji.
- Fotoefekt potvrđuje **čestičnu prirodu svjetlosti**.

⚠ **Pazi:** U bilježkama piše „ $0 = h\nu_g + W_i$ “ - točno je **$0 = h\nu_g - W_i$** , pa je $W_i = h\nu_g$.

7. Comptonov efekt (1923.)

- Arthur Compton: **rendgensko zračenje** se pri prolasku kroz tvar (npr. grafit) **raspršuje**.
- Raspršeno zračenje ima 2 komponente: jednu s **istom λ** kao upadno, drugu s **malo većom λ'** (manjom frekvencijom).
- Objašnjenje: **sudar fotona i slobodnog elektrona** - foton preda **dio** energije elektronu i nastavi istom brzinom (c), ali s manjom energijom → veća valna duljina.
- $\Delta\lambda$ ovisi **samo o kutu raspršenja α** , ne o valnoj duljini ni o vrsti tvari.
- Bitno samo za **tvrde rendgenske i γ -zrake** (male λ). Potvrđuje **čestičnu prirodu svjetlosti**.

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = (h/m_e c)(1 - \cos \alpha)$$

$$= (2h/m_e c) \cdot \sin^2(\alpha/2)$$

$$\lambda_C = h/(m_e c) = 2,42 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

Comptonova valna duljina

Brzo: $\alpha = 0^\circ \rightarrow \Delta\lambda = 0$ · $\alpha = 90^\circ \rightarrow \Delta\lambda = \lambda_C = 2,42 \text{ pm}$ · $\alpha = 180^\circ \rightarrow \Delta\lambda = 2\lambda_C = 4,84 \text{ pm}$ (najveća promjena)

⚠ **Pazi:** Fotoefekt: foton preda **svu** energiju i nestane. Compton: foton preda **dio** energije i nastavi dalje. Česta zamka na ispitu!

8. Riješeni zadaci

Zad. 68 - ljudsko tijelo, $t = 37\text{ }^{\circ}\text{C}$. Koliki je λ_m ?

$$T = 37 + 273 = 310\text{ K} \rightarrow \lambda_m = b/T = 2,898 \cdot 10^{-3} / 310 = \mathbf{9,35 \cdot 10^{-6}\text{ m} = 9,35\text{ }\mu\text{m}}$$
 (infracrveno)

Zad. 69 - $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Koliki su λ_m i I ?

$$T = 273\text{ K} \rightarrow \lambda_m = 2,898 \cdot 10^{-3} / 273 = \mathbf{10,6\text{ }\mu\text{m}}$$

$$I = \sigma T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 273^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 5,555 \cdot 10^9 = \mathbf{314,9\text{ W/m}^2}$$

Primjer - fotoefekt: $W_i = 2,3\text{ eV}$, $\lambda = 400\text{ nm}$. Nađi $E_{k,\max}$, U_z , ν_g .

$$E = hc/\lambda = 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 / 4 \cdot 10^{-7} = 4,97 \cdot 10^{-19}\text{ J} = \mathbf{3,1\text{ eV}}$$

$$E_{k,\max} = E - W_i = 3,1 - 2,3 = \mathbf{0,8\text{ eV}} \rightarrow U_z = E_k/e = \mathbf{0,8\text{ V}}$$

$$\nu_g = W_i/h = 2,3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} / 6,626 \cdot 10^{-34} = \mathbf{5,55 \cdot 10^{14}\text{ Hz}}$$

Recept za zadatke: 1) $^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{K}$ 2) $\text{eV} \rightarrow \text{J}$ ($\times 1,6 \cdot 10^{-19}$), $\text{nm} \rightarrow \text{m}$ ($\times 10^{-9}$) 3) napiši formulu 4) uvrsti s jedinicama.

9. Brza provjera prije ispita

Tri načina prijenosa topline?	vođenje, strujanje, zračenje
Što su toplinske zrake?	elektromagnetski valovi
$r + p + a = ?$	1
Apsolutno crno tijelo?	$a = 1$ (sve apsorbira)
Stefan-Boltzmann?	$I = \sigma T^4$
Wien?	$\lambda_m \cdot T = b$
Što je foton?	kvant (čestica) svjetlosti, $E = h\nu$
Kad nastaje fotoefekt?	kad je $\nu \geq \nu_g$, tj. $h\nu \geq W_i$
Što mijenja jača svjetlost?	broj fotoelektrona, ne njihovu brzinu
Nagib grafa $E_k - \nu$?	Planckova konstanta h
Od čega je katoda fotoćelije?	cezij (mali izlazni rad)
O čemu ovisi Comptonov $\Delta\lambda$?	samo o kutu raspršenja
Što potvrđuju fotoefekt i Compton?	čestičnu prirodu svjetlosti