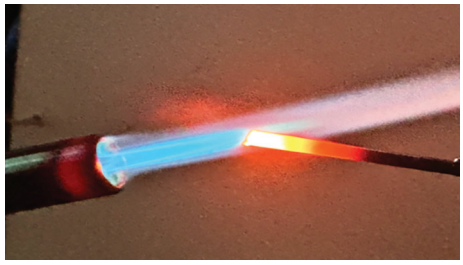
Zašto užarena igla mijenja boju?

Paula Livaja[1]

Uvod

Kad se metalna igla zagrijava plamenom svijeće ili na plameniku, metal nakon nekog vremena počinje svijetliti. Isprva nam je vidljiva blago crvena boja, zatim sve intenzivnija crvena, koja se nastavlja u narančastu, prema žutoj, a pri višim temperaturama približava se bijeloj boji.

Cilj pokusa bio je istražiti povezanost opažene promjene boje s temperaturom metalne igle, ispitati utjecaj promjera igle na redoslijed pojavljivanja boja te utvrditi kako udaljenost od plamena utječe na intenzitet sjaja užarenog dijela.



Slika 1. Metalna igla zagrijana plinskim plamenikom.

Fizikalno objašnjenje pojave

Toplina se može prenositi vođenjem, strujanjem i zračenjem. U pokusu plamen prenosi toplinu na metalnu iglu pa povišena temperatura dovodi do pojačane vibracije atoma u metalu. Posljedično, s porastom temperature raspodjela emitiranog zračenja pomiče se prema kraćim valnim duljinama.

Kao što je ranije navedeno, naše oči ovu promjenu zapažaju kao promjenu boje – od crvene, narančaste, žute te naposljetku do bjelkaste.

Iako metalna igla nije idealno crno tijelo, model zračenja crnog tijela dobro objašnjava kako oblik spektra ovisi o temperaturi tijela.

Prema Planckovu zakonu zračenja, temperatura tijela određuje raspodjelu emitirane energije po valnim duljinama. S porastom temperature raste i ukupna emitirana energija.

[1] Učenica je IV. gimnazije, polazila je Osnovnu školu "Ljubo Babić" u Zagrebu.

Wienovim zakonom pomaka opisano je da se povećanjem temperature maksimum spektra pomiče prema kraćim valnim duljinama. Taj zakon je opisan formulom $\lambda_{\max} = \dfrac{b}{T}$, gdje je $b = 2.898 \cdot 10^{-3}$ mK Wienova konstanta. Važno je još spomenuti Stefan-Boltzmannov zakon prema kojem ukupna snaga toplinskog zračenja raste s četvrtom potencijom temperature, a opisan je formulom $P = \varepsilon\sigma AT^4$. Zbog toga i razmjerno malo povećanje temperature može znatno povećati intenzitet sjaja.

Cilj i pretpostavke

Ispitivane su tri pretpostavke:

H1: debljina igle ne mijenja redoslijed opaženih boja;

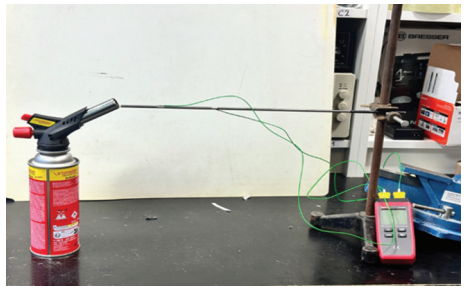
H2: maksimum emitiranog spektra nalazi se u infracrvenom području;

H3: intenzitet boje metala slabi s udaljenošću od plamena (izvora topline).

Pokus

Pribor

Za potrebe pokusa upotrijebljene su metalne igle različitih promjera (približno 0.2 – 4 mm), plinski plamenik i termočlanak. Pokus se izvodio u zatamnjenoj prostoriji radi lakšeg opažanja boja.



Slika 2. Pribor za eksperiment: metalna igla, plinski plamenik i termočlanak.

Postupak

Igla je zagrijavana na jednom kraju, bilježen je redoslijed pojavljivanja boja, a temperatura je mjerena termočlankom. Tijekom pokusa korištene su igle različitih promjera, a za narančastu i žutu boju zabilježena je i temperatura. Na slikama je dodatno promatrana vrijednost sivog tona duž igle nakon 2, 7 i 12 sekundi zagrijavanja. Veća vrijednost sivog tona odgovara svjetlijem dijelu snimke.

Rezultati

Tijekom zagrijavanja igla je najprije poprimila blago crvenu boju, zatim žarko crvenu, narančastu i žutu, a pri najvišoj temperaturi bijelu boju. Mijenjanjem promjera igle nije došlo do promjene redoslijeda boja, stoga je pretpostavka H1 opravdana.

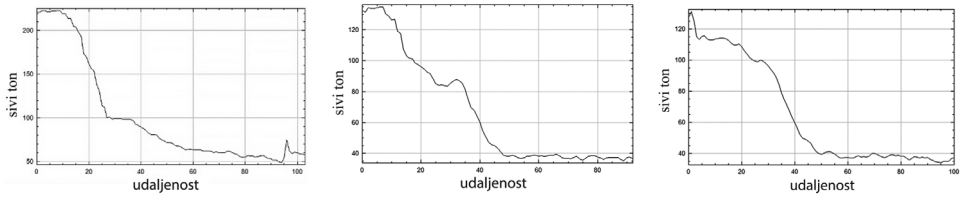
Primjenom Wienova zakona pomaka dobiveni su rezultati: $\lambda_{\max} = 2.45\ \mu$m za 1181.55 K (908.4 °C) te $\lambda_{\max} = 2.27\ \mu$m za 1278.15 K (1005.0 °C). Obje su valne duljine veće od 0.75 μm, približne gornje granice vidljivog područja, pa se maksimum spektra nalazi u infracrvenom području. Ovi rezultati se slažu s Wienovim zakonom pomaka gdje se s povećanjem temperature maksimum zračenja pomiče prema kraćim valnim duljinama. Time je opravdana pretpostavka H2. Iako se maksimum zračenja nalazi

u infracrvenom području, dio spektra proteže se u vidljivo područje pa ljudsko oko opaža crvenu, narančastu, žutu i bijelu boju užarenog metala.

temperatura / °C	temperatura / K	opažena boja
908.4	1181.55	narančasta
1005.0	1278.15	žuta, prema bijeloj

Tablica 1. Izmjerena temperatura i opažena boja metalne igle.

Na sva tri grafa uočava se smanjenje vrijednosti sivog tona s povećanjem udaljenosti od zagrijavanog kraja igle, što upućuje na pad temperature i intenziteta zračenja. Granica između svjetlijeg i tamnijeg dijela s vremenom se pomiče duž igle, što pokazuje širenje topline vođenjem. Rezultati opravdavaju pretpostavku H3, dio bliži plamenu sjajniji je, dok intenzitet prema hladnijem kraju slabi.



Slika 3. Vrijednost sivog tona duž igle nakon 2, 7 i 12 s zagrijavanja (slijeva nadesno).

Zaključak

Porast temperature metalne igle uzrokuje porast intenziteta toplinskog zračenja i pomicanje njegova spektra prema kraćim valnim duljinama, što se vidjelo u pokusu gdje se boja mijenjala od crvene, narančaste pa sve do žute i naposljetku bijele. Dobiveni rezultati pri temperaturama od 908.4 °C i 1005.0 °C pokazuju da je maksimum zračenja i dalje u infracrvenom području koje ne vidimo, ali osjetimo kao toplinu, dok je vidljivi sjaj poticao od dijela spektra koji ulazi u vidljivo područje. Redoslijed boja nije ovisio o promjeru igle, a sjaj je slabio s udaljenošću od plamena. Jednostavan pokus tako povezuje svakodnevno opažanje užarenog metala s vođenjem topline i zakonima toplinskog zračenja.

Rezultati su u skladu s Wienovim zakonom pomaka i Stefan-Boltzmannovim zakonom, koji opisuju promjenu spektra i porast intenziteta zračenja s temperaturom.

Literatura

[1] *Stefan-Boltzmannov zakon*, Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 2013. – 2026.
Dostupno: `https://enciklopedija.hr/clanak/stefan-boltzmannov-zakon`

[2] Željko Skoko, *Uvod u kvantnu fiziku*, kolegij *Fizika za matematičare 2*, Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu. Dostupno:
`http://www.phy.pmf.unizg.hr/~zskoko/web_sirius/Fizika_za_matematicare_files/Fizika2_pr10.pdf`

[3] *Blackbody radiation*, Encyclopædia Britannica.
Dostupno: `https://www.britannica.com/science/blackbody-radiation`

[4] *Heat transfer*, EBSCO Research Starters, EBSCO Information Services.
Dostupno: `https://www.ebsco.com/research-starters/science/heat-transfer`