

u nekoj točki (koordinatnog ili impulsnog prostora) možemo interpretirati kao **amplitudu vjerojatnosti** i njen apsolutni kvadrat povezati s **gustoćom vjerojatnosti** nalaženja mikro-čestice (na pr. elektrona) u toj točki. To je zrela formulacija kvantnog dualizma, koji se začeo upravo teorijskim objašnjenjima zračenja crnog tijela i fotoefekta.

Štoviše, Planckova i Einsteinova objašnjenja ta dva fenomena začetak su i dalnjih razvoja kvantnih ideja, naime **kvantne teorije polja**. Po njima su sve elementarne kvantne čestice zapravo diskretna pobuđenja kvantiziranog polja, po analogiji s fotonima, "česticama svjetlosti" elektromagnetskog polja.

## Zadaci 1.

- 1.1. Izračunajte frekvencije i valne duljine dviju prvih linija u Lymanovoj ( $m = 1$ ), Balmerovoj ( $m = 2$ ), Paschenovoj ( $m = 3$ ), Brachettovoj ( $m = 4$ ) i Pfundovoj ( $m = 5$ ) seriji spektra atoma vodika.
- 1.2. Nadite granične vrijednosti frekvencija i valnih duljina u Lymanovoj, Balmerovoj, Paschenovoj, Brachettovoj i Pfundovoj seriji vodikovog spektra.
- 1.3. Recimo da elektromagnetsko polje titra s periodom od: a) 1 milisekunde, b) 1 mikrosekunde (AM radio-valovi, tj. oni korišteni za amplitudnu modulaciju), c) 1 nanosekunde, d)  $10^{-19}$  sekundi (rendgenske, tj. X-zrake korištene za medicinsku dijagnostiku). Najprije nadite odgovarajuću frekvenciju  $\nu$  i valnu duljinu  $\lambda = c/\nu$  za svaki od ovih slučajeva, a onda i energiju jednog fotona koristeći Planckovu relaciju  $E = h\nu$ . Možete koristiti približne vrijednosti za brzinu svjetlosti  $c \approx 300\ 000$  km/s i Planckovu konstantu  $h \approx 6.63 \cdot 10^{-34}$  J s. Prepostavimo zatim da izvor tog elektromagnetskog polja ima snagu jednog watta. Koliko fotona u sekundi on zrači u slučaju a), b), c) i d)?
- 1.4. Na sličan način kao u prethodnom zadatku, nadite broj fotona emitiranih za jednu sekundu iz izvora snage jednog miliwatta, energiju jednog fotona, te frekvenciju i period ako je valna duljina: a) 60 nm (ultraljubičasto zračenje), gdje  $1 \text{ nm} = 1 \text{ nanometar} = 10^{-9} \text{ m}$ , b) 555 nm (središte vidljivog spektra), c)  $17.4 \mu\text{m} = 17.4 \cdot 10^{-6} \text{ m}$  (maksimum infracrvenog zračenja na sobnoj temperaturi), d) 1.87 mm (pozadinsko kozmičko zračenje uslijed "Velikog praska"), e) 12.2 cm (zračenje u mikrovalnoj pećnici).

- 1.5. Da biste se priviknuli na energetske jedinice zvane elektronvolt (eV), kiloelektronvolt (keV) i megaelektronvolt (MeV), gdje  $1 \text{ MeV} = 10^3 \text{ keV} = 10^6 \text{ eV} \approx 1.602 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ , nađite frekvenciju i valnu duljinu fotona energije a) 1 eV, b) 1 keV, c) 1 MeV. Također, prođite ponovo zadatke 1.3. i 1.4., ali koristeći fizičarima zgodnu energetsku jedinicu eV umjesto standardne SI jedinice J (joule).
  - 1.6. Nađite energije fotona emitiranih pri kvantnim skokovima koji dovode do spektralnih linija opisanih u zadacima 1.1. i 1.2. Izrazite te energije i u joule-ima i u elektron-voltima.
  - 1.7. Nađite maksimalnu valnu duljinu fotona koji može izazvati raspad molekule čija energija vezanja iznosi 10 eV.