

## Zračenje crnog tijela

1. Spektralna distribucija zračenja Sunca ima maksimum na  $\lambda_{max} = 510$  nm, a ona zvijezde Sjevernače na  $\lambda_{max} = 350$  nm. Pretpostavivši da se površine ovih dviju zvijezda ponašaju poput crnih tijela, odredi njihovu površinsku temperaturu te snagu kojom one zrače po  $1\text{ cm}^2$  svoje površine.
2. Radijus Sunca je  $6.96 \cdot 10^8$  m. Polumjer Zemljine orbite je  $1.5 \cdot 10^{11}$  m. Odredi snagu kojom Sunce grijе  $1\text{ m}^2$  Zemljine površine (solarnu konstantu).
3. Spektralna distribucija zračenja zvijezde Betelgeuse iz sazvježđa Orion ima maksimum na  $\lambda_{max}=850$  nm. Pretpostavivši da se površina ove zvijezde ponaša poput crnog tijela, odredi ukupnu snagu kojom ona zrači. Polumjer zvijezde je  $r = 4 \cdot 10^{11}$  m.
4. Pećnica čiji zidovi ne vode toplinu i u čijoj unutrašnjosti vlada temperatura  $T_p=215^\circ\text{C}$  nalazi se u sobi na temperaturi  $T_s=26.2^\circ\text{C}$ . Na pećnici je otvor površine  $5.2\text{ cm}^2$ . Koja je snaga kojom pećnica grijе sobu? Pretpostavite da su i soba i pećnica idealna crna tijela.
5. (*Schaum, Gautreau, str. 270, zad. 38.5*)  
Odredite omjer energija emitiranih s crnog tijela temperature  $2000\text{ K}$  u pogasu valnih duljina širine  $100\text{\AA}$  i centriranih na  $5000\text{\AA}$  (vidljiva svjetlost) i  $50000\text{\AA}$  (IR). (Naputak: pojasi su uski pa se spektralna gustoća može uzeti konstantnom u datom pogasu.)

## Fotoefekt

1. (*Schaum, Gautreau, str. 58, zad. 11.5*)  
Emiter fotoelektrične cijevi ima graničnu valnu duljinu od  $6000\text{\AA}$ . Koja je valna duljina svjetlosti potrebna ako potencijal od  $2.5\text{ V}$  zaustavlja elektrone emitirane iz te cijevi?
2. (*Schaum, Gautreau, str. 60, zad. 11.11*)  
Pokažite da se fotoelektrični efekt ne može dogoditi na slobodnim elektronima.

## Comptonov efekt

1. Pokažite da je frakcioni gubitak energije fotona u Comptonovu raspršenju dan sa

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{h\nu}{m_e c^2} (1 - \cos \theta).$$

2. (*Schaum, Gautreau, str. 63, zad. 12.4*)  
 X-zraka ( $\lambda = 0.3 \text{ \AA}$ ) se rasprši pod kutem od  $60^\circ$  na elektronu iz elektronskog omotača atoma ugljika. Kolika je valna duljina raspršenog fotona? Kolika je kinetička energija predana elektronu?
3. Foton energije  $0.1 \text{ MeV}$  putuje u  $+x$ -smjeru i upada na miran elektron. Ako raspršeni foton izlazi u  $+y$  smjeru pronađi
- (a) komponente impulsa raspršenog elektrona
  - (b) izlazni kut elektrona u odnosu na smjer upadnog fotona.
4. Odredi maksimalni kut raspršenja fotona u Comptonovom eksperimentu za koji raspršeni foton može stvoriti elektron-pozitron par.

## **De Broglieova valna duljina**

1. Pronađi de Broglieovu valnu duljinu  $e^-$  ubrzanog (iz stanja mirovanja) razlikom potencijala od  $50 \text{ V}$ .
2. Kolika treba biti kinetička energija elektrona  $E_k$  da bi nerelativistička aproksimacija njegove de Broglieove valne duljine grijšešila  $5\%$  obzirom na relativistički račun.
3. (*Schaum, Gautreau, str. 78, zad. 15.3*)  
 Izračunajte kinetičku energiju protona valne duljine  $0.5 \text{ fm}$   
 $(1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m} = 10^{-5} \text{ \AA} = 1 \text{ fermi})$ .
4. (*Schaum, Gautreau, str. 78, zad. 15.1*)  
 Odredite de Broglieovu valnu duljinu kuglice mase  $0.01 \text{ kg}$  koja se giba brzinom od  $10 \text{ m/s}$ .
5. (*Schaum, Gautreau, str. 78, zad. 15.5*)  
 Ako želimo promatrati objekt veličine  $2.5 \text{ \AA}$ , koja je minimalna energija fotona koje možemo koristiti?
6. (*Schaum, Gautreau, str. 79, zad. 15.6*)  
 Ako želimo promatrati objekt veličine  $2.5 \text{ \AA}$ , koja je minimalna kinetička energija elektrona koje možemo koristiti?

## Bohrov model atoma

1. Izvrijednite Rydbergovu konstantu u CGS i SI sustavu.
2. (*Liboff, zad. 2.20*)  
Bezdimenzijski broj

$$\alpha = \frac{e_{CGS}^2}{\hbar c} = \frac{e_{SI}^2}{4\pi\epsilon_0\hbar c} = \frac{1}{137}$$

se zove konstanta fine strukture. Izrazi Bohrove energije preko  $\alpha$  i  $mc$ .

3. (*Liboff, zad. 2.17*)  
Kolika je frekvencija zračenja emitiranog pri prelasku H atoma iz stanja  $n$  u stanje  $m$ , izražena preko Rydbergove konstante,  $n$ ,  $m$  i  $\hbar$ ?
4. (*Schaum, Gautreau, str. 105, zad. 19.7*)  
Odredite ionizacijsku energiju vodika ako je najkraća valna duljina u Balmerovoj seriji  $3650\text{\AA}$ .
5. (*Schaum, Gautreau, str. 105, zad. 19.9*)  
Pri prijelazu u stanje čija je energija pobjuđenja  $10.19\text{ eV}$  atom vodika emitira foton valne duljine  $4890\text{ \AA}$ . Odredite energiju vezanja početnog stanja.
6. (*Schaum, Gautreau, str. 105, zad. 19.45*)  
Za  $\text{Be}^{3+}$  ( $Z=4$ ) odredite  $n = 1$  Bohrov radijus.
7. (*Schaum, Gautreau, str. 111, zad. 19.47*)  
Odredite prvi i drugi Bohrov radijus za pozitronij (vezani sustav  $e^-$  i  $e^+$ ).
8. Pozitronij prelazi iz stanja  $n = 3$  u  $n = 1$  pritom emitirajući foton. Ako je pozitronij na početku mirovao, odredite njegovu brzinu nakon emisije.

## Heisenbergove relacije neodređenosti

1. (*Schaum, Gautreau, str. 96, zad. 18.11*)  
Pozicije čestice je mjerena pri prolasku kroz otvor širine  $d$ . Odredi odgovarajuću neodređenost u impulsu čestice.
2. Pokažite da nas relacija neodređenosti  $\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$  sili da odbacimo poluklasični Bohrov model za vodikov atom.
3. Impuls čestice možemo mjeriti s točnošću jednog dijela u 1000. Odredite neodređenost u položaju za česticu mase  $5\text{ g}$  koja se giba brzinom  $2\text{ m/s}$ .
4. Usporedimo neodređenost u položaju za metak mase  $50\text{ g}$  i elektron, ako se oba gibaju brzinom od  $300\text{ m/s}$ , koja je određena s točnošću od  $0.01\%$ .

5. (*Schaum, Gautreau, str. 93, zad. 18.3*)

Koja je minimalna neodređenost u energetskom stanju atoma ako elektron ostaje u tom stanju  $10^{-8}$  s?

6. (*Schaum, Gautreau, str. 93, zad. 18.4*)

Valna duljina spektralne linije iznosi  $4000\text{\AA}$  i mjerena je s točnošću od  $10^{-4}\text{\AA}$ . Koje prosječno vrijeme atomski sistem ostaje u odgovarajućem energetskom stanju?

7. (*Schaum, Gautreau, str. 92, zad. 18.2*)

Koja je neodređenost u poziciji fotona valne duljine  $3000\text{\AA}$ , ako je ta valna duljina poznata s točnošću  $1/10^6$ .

8. (*Schaum, Gautreau, str. 94, zad. 18.7*)

Ako za česticu koje se giba jednolikopravocrtno pretpostavimo nerelativistički izraz za kinetičku energiju, pokažite kako iz  $\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$  slijedi  $\Delta E \Delta t \geq \hbar/2$ .