

TFY4215 Innføring i kvantefysikk. Institutt for fysikk, NTNU.
Øving 1.

Oppgave 1

Oppgavene 1 - 6 tar utgangspunkt i artikkelen "Quantum interference experiments with large molecules", av O. Nairz, M. Arndt og A. Zeilinger (Am. J. Phys. 71, 319-325 (2003)). Bruk gjerne artikkelen som støtte når du løser oppgavene.

C_{60} -molekyler, såkalte buckyballs, har form som en fotball, med karbonatomer i alle hjørnene av overflatens femkanter og sekskanter. Avstanden mellom to nærmeste nabo karbonatomer, dvs bindingslengden, er ca 1.4 Å, og et karbonatom har en (såkalt van der Waals -) radius ca 1.7 Å. Hva er da omtrentlig molekylets diameter?

- A 0.2 nm
- B 1.0 nm
- C 1.8 nm
- D 2.6 nm
- E 3.4 nm

Oppgave 2

Buckyballs i pulverform varmes opp og sublimerer (dvs: går direkte fra fast fase til gassfase) i en ovn som holder en temperatur på 900 K. Uten hastighetsfiltrering kommer de fleste av molekylene ut av ovnen med hastigheter mellom 100 og 400 m/s, og med middelhastighet ca 200 m/s. Med et mekanisk hastighetsfilter og kollimatorer (en innretning med forholdsvis smale åpninger; se Fig. 3 i artikkelen) oppnår man en tynn stråle med molekyler med smal hastighetsfordeling omkring 117 m/s. Hva er impulsen til et slik molekyl med hastighet 117 m/s?

- A $7.1 \cdot 10^{-28}$ kg m/s
- B $2.4 \cdot 10^{-26}$ kg m/s
- C $3.8 \cdot 10^{-24}$ kg m/s
- D $1.2 \cdot 10^{-22}$ kg m/s
- E $7.3 \cdot 10^{-19}$ kg m/s

Oppgave 3

Hvor stor er den kinetiske energien til molekylene i forrige oppgave?

- A 21 meV
- B 31 meV
- C 41 meV
- D 51 meV
- E 61 meV

Oppgave 4

Hva er de Broglie bølgelengden til molekylene i oppgave 2?

- A 4.7 pm
- B 5.7 pm
- C 6.7 pm
- D 7.7 pm
- E 8.7 pm

Oppgave 5

Molekylene passerer et diffraksjonsgitter med spalteavstand 100 nm før de til slutt treffer en detektor i avstand 1.2 m fra diffraksjonsgitteret. Hva er da avstanden mellom 0. og 1. ordens intensitetsmaksimum på detektoren?

- A 17 μm
- B 27 μm
- C 37 μm
- D 47 μm
- E 57 μm

Oppgave 6

Vi ønsker å vurdere om det er grunnlag for å påstå at molekylene interfererer med seg selv eller ei på sin vei gjennom diffraksjonsapparatet. For å kunne si noe om dette, må vi kunne sammenligne relevante tids- eller lengdeskalaer, f.eks midlere (minste-)avstand L mellom to molekyler i strålen og diffraksjonsapparatets utstrekning, målt langs strålegangen. Sistnevnte størrelse er i artikkelen oppgitt å være ca 200 nm. Det er videre oppgitt at med middelhastighet 200 m/s er partikkelfluksen ca $3 \cdot 10^9$, målt i enheten pr kvadratcentimeter og pr sekund. (Dvs: ca 3 milliarder molekyler passerer et tverrsnitt på en kvadratcentimeter pr sekund.) Bruk disse tallverdiene for partikkelfluks og middelhastighet til å beregne partikkeltettheten, dvs antall molekyler pr volumenhet i strålen. Beregn deretter midlere volum pr molekyl, og til slutt midlere avstand L mellom molekylene, som blir ca ...

- A 190 pm
- B 190 nm
- C 190 μm
- D 190 mm
- E 190 cm

Oppgave 7

Plancks kvantehypotese gir som resultat at utsendt strålingsenergi pr tidsenhet, flateenhet og frekvensenhet (dvs: utsendt intensitet pr frekvensenhet) fra et svart legeme er

$$I(\nu, T) \equiv \frac{dj}{d\nu} = \frac{2\pi h}{c^2} \cdot \frac{\nu^3}{\exp(h\nu/k_B T) - 1}.$$

Dermed blir total utsendt intensitet fra et svart legeme med absolutt temperatur T

$$j(T) = \int_0^\infty d\nu \frac{dj}{d\nu} = \sigma T^4,$$

Stefan-Boltzmanns lov, med $\sigma = 2\pi^5 k_B^4 / 15h^3 c^2 \simeq 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$.

Oppgavene 7 - 16 dreier seg om Plancks fordelingslov og stråling fra svarte legemer.

Ved normale, dagligdagse temperaturer, dvs omkring 300 K, vil termisk energi $k_B T$ være langt større enn energikvantet $h\nu$ for frekvenser ν opp mot ca 1 THz, dvs for bølgelengder ned mot ca 1 mm eller deromkring. Da er effekter av energikvantisering av liten betydning, og vi sier gjerne at vi er i den klassiske grensen (eller "høytemperaturgrensen"). På hvilken måte avhenger $dj/d\nu$ av frekvensen i den klassiske grensen?

- A ν^0 (dvs uavhengig av ν)
- B ν
- C ν^2
- D ν^3
- E ν^4

Oppgave 8

Vi kan alternativt uttrykke Plancks fordelingslov med bølgelengden λ som variabel, dvs

$$j(T) = \int_0^\infty d\lambda \frac{dj}{d\lambda},$$

slik at $dj/d\lambda$ representerer utsendt intensitet pr bølgelengdeenhet. Hvordan avhenger $dj/d\lambda$ av bølgelengden i den klassiske grensen?

- A λ^0 (dvs uavhengig av bølgelengden)
- B $1/\lambda$
- C $1/\lambda^2$
- D $1/\lambda^3$
- E $1/\lambda^4$

Oppgave 9

Planck-kurven avhenger av bølgelengden slik:

$$\frac{dj}{d\lambda} \sim \frac{\lambda^N}{\exp(hc/k_B T \lambda) - 1}.$$

Hva er (heltallet) N ?

- A -5 B -3 C -1 D 1 E 3

Oppgave 10

Planck-kurven $dj/d\nu$ vil ha en maksimalverdi ved en frekvens ν som øker proporsjonalt med temperaturen T . La x være den dimensjonsløse størrelsen $h\nu/k_B T$. Hvilken ligning for x gir da frekvensen som tilsvarer maksimal $dj/d\nu$?

- A $x = 3(1 - \exp(-x))$
B $3x = \exp(-x)$
C $x^3 - 2x^2 = \exp(x)$
D $x/3 + 3/x = \exp(3x) - \exp(-3x)$
E $x = 3$

Oppgave 11

Planck-kurven $dj/d\lambda$ vil ha en maksimalverdi ved en bølgelengde λ som avtar med temperaturen (som $1/T$). La z være den dimensjonsløse størrelsen $hc/k_B T \lambda$. Hvilken ligning for z gir da bølgelengden som tilsvarer maksimal $dj/d\lambda$?

- A $z = 1 + \exp(-z)$
B $1 - \exp(-z) = z/5$
C $z^5 - z^4 + z^3 = \exp(-z)$
D $z/5 + 5/z = \exp(5z) - \exp(-5z)$
E $z = 7$

Oppgave 12

Sola stråler med god tilnærming som et svart legeme med temperatur ca 6000 K. Hvilken frekvens gir da maksimal $dj/d\nu$?

- A ca 350 Hz
B ca 350 kHz
C ca 350 MHz
D ca 350 GHz
E ca 350 THz

Oppgave 13

La oss anta at overflaten av kroppen stråler som et svart legeme med temperatur 30°C . Hvilken frekvens gir da maksimal $dj/d\nu$?

- A ca 18 Hz
- B ca 18 kHz
- C ca 18 MHz
- D ca 18 GHz
- E ca 18 THz

Oppgave 14

Hvilken bølgelengde gir maksimal $dj/d\lambda$ i solspekteret?

- A ca 480 nm
- B ca 480 μm
- C ca 480 mm
- D ca 480 m
- E ca 480 km

Oppgave 15

Hvilken bølgelengde gir maksimal $dj/d\lambda$ i varmestrålingen fra huden din (ca 30°C)?

- A ca 10 nm
- B ca 10 μm
- C ca 10 mm
- D ca 10 m
- E ca 10 km

Oppgave 16

Strålingen fra verdensrommet har et maksimum i bølgelengdefordelingen $dj/d\lambda$ ved omtrent 1 mm. Spekteret sammenfaller perfekt med Planck-kurven, men ved hvilken absolutt temperatur?

- A 0.7 K
- B 1.2 K
- C 1.7 K
- D 2.2 K
- E 2.7 K

Oppgave 17

Hva er Compton-bølgelengden til et ion av C_{12} -isotopen?

- A 0.11 fm
- B 0.11 pm
- C 0.11 nm
- D 0.11 μm
- E 0.11 mm

Oppgave 18

I et eksperimentelt oppsett som måler fotoelektrisk effekt, sendes monokromatisk (og ultrafiolett) lys med bølgelengde 180 nm inn mot overflaten av en metallektrode. Terskelspenningen måles til 1.8 V. Hva er frigjøringsarbeidet ("work function") for dette metallet?

- A 2.7 eV
- B 3.3 eV
- C 3.9 eV
- D 4.5 eV
- E 5.1 eV

Oppgave 19

Hva er største bølgelengde på lys som gir fotoelektrisk effekt for metallet i forrige oppgave?

- A 164 nm
- B 204 nm
- C 244 nm
- D 284 nm
- E 324 nm

Oppgave 20

Terskelspenningen U i fotoelektrisk effekt øker lineært med $1/\lambda$ når λ er mindre enn ch/W . Hva er tallverdien til stigningstallet til kurven $U(1/\lambda)$ i SI-enheten Vm?

- A $1.38 \cdot 10^{-23}$
- B $1.24 \cdot 10^{-6}$
- C $3.18 \cdot 10^{-44}$
- D $7.24 \cdot 10^{22}$
- E $2.83 \cdot 10^{60}$