**TFY4215 Innføring i kvantefysikk. Institutt for fysikk, NTNU.**
**Løsningsforslag til Test 1.**

**Oppgave 1**
Inspeksjon av en fotball eller et bilde av en fotball eller en buckyball på nett viser at det går ca 5 bindingslengder på lengden mellom diametralt motsatte atomer. Med bindingslengde 1.4 Å er dette ca 7 Å. Et tillegg på 3 Å for elektronskyen på utsiden gir en diameter omkring 1 nm.
Riktig svar: B.

**Oppgave 2**
Massen til 1 karbonatom er ca 12 u, der 1 u er ca $1.66 \cdot 10^{-27}$ kg. En buckyball har da masse $60 \cdot 12 \cdot 1.66 \cdot 10^{-27}$ kg $\simeq 1.2 \cdot 10^{-24}$ kg. Impulsen er da: $p = mv = 1.2 \cdot 10^{-24} \cdot 117 = 1.4 \cdot 10^{-22}$ kg m.
Riktig svar: D.

**Oppgave 3**
Kinetisk energi: $K = mv^2/2 = 1.2 \cdot 10^{-24} \cdot 117^2/2 = 8.2 \cdot 10^{-21}$ J $= 0.051$ eV $= 51$ meV.
Riktig svar: D.

**Oppgave 4**
Bølgelengde: $\lambda = h/p = 6.626 \cdot 10^{-34}/1.4 \cdot 10^{-22} = 4.7 \cdot 10^{-12}$ m $= 4.7$ pm.
Riktig svar: A.

**Oppgave 5**
Her er $\lambda/d = 4.7 \cdot 10^{-12}/100 \cdot 10^{-9} = 4.7 \cdot 10^{-5}$, som er mye mindre enn 1. Dermed er $\theta = \lambda/d = 4.7 \cdot 10^{-5}$ (radianer) for 1. ordens maksimum. Hvis vi kaller avstanden mellom 0. og 1. ordens maksimum på detektoren for $z$, har vi $\tan\theta = z/L$, med $L = 1.2$ m. Med $\theta \ll 1$ kan vi sette $\tan\theta = \theta$, slik at $z = \theta L = 4.7 \cdot 10^{-5} \cdot 1.2 = 5.7 \cdot 10^{-5}$ m $= 57$ $\mu$m.
Riktig svar: E.

**Oppgave 6**
Antall molekyler pr volumenhet i strålen (med partikkelfluks $I$ og hastighet $v$): $n = I/v = 3 \cdot 10^{13}/200 = 1.5 \cdot 10^{11}$ m$^{-3}$. Midlere volum pr molekyl: $V = 1/n = 6.7 \cdot 10^{-12}$ m$^3$. Dette tilsvarer en boks med sidekanter $L = V^{1/3} = 1.9 \cdot 10^{-4}$ m $= 190$ $\mu$m. Dette blir da omtrentlig avstand mellom "nabomolekyler" i strålen, og dette er mye lenger enn apparaturens utstrekning i strålens retning. Vi må derfor konkludere med at molekylene stort sett interfererer med seg selv.
Riktig svar: C.

**Oppgave 7**
Nevneren blir til laveste ikke-trivielle orden lik $h\nu/k_BT$, slik at $dj/d\nu$ blir proporsjonal med $\nu^2$, Rayleigh-Jeans' lov.
Riktig svar: C.

**Oppgave 8**
Ombytte fra $\nu$ til $\lambda = c/\nu$ som variabel gir:

$$d\nu \frac{dj}{d\nu} \sim \nu^2 d\nu = \left(-\frac{c d\lambda}{\lambda^2}\right) \cdot \frac{c^2}{\lambda^2} \sim 1/\lambda^4$$

Riktig svar: E.

**Oppgave 9**
Ombytte fra $\nu$ til $\lambda = c/\nu$ som variabel gir:

$$d\nu \nu^3 = \left(-\frac{c d\lambda}{\lambda^2}\right) \cdot \frac{c^3}{\lambda^3} \sim 1/\lambda^5$$

Riktig svar: A.

**Oppgave 10**
Vi deriverer $dj/d\nu$ mhp $\nu$, evt mhp $x = h\nu/k_BT$ og setter lik null for å finne kurvens topp-punkt. Litt rydding gir ligningen under A.
Riktig svar: A.

**Oppgave 11**
Samme strategi som i forrige oppgave. Eneste forskjell blir at 3 erstattes av 5, siden frekvensfordelingen er proporsjonal med $\nu^3$, mens bølgelengdefordelingen er proporsjonal med $1/\lambda^5$.
Riktig svar: B.

**Oppgave 12**
Ligningen for $x$ i oppgave 10 har løsning $x \simeq 2.8214$. Det betyr at frekvensfordelingen har maksimalverdi for frekvens $\nu = 5.876 \cdot 10^{10}\, T$ Hz, når $T$ settes inn med enhet K. En temperatur 6000 K gir da ca 350 THz.
Riktig svar: E.

**Oppgave 13**
Helt tilsvarende oppgave 12, med $T = 303$ K. Gir frekvens ca 18 THz.
Riktig svar: E.

**Oppgave 14**
Ligningen for $z$ i oppgave 11 har løsning $z \simeq 4.965$. Det betyr at bølgelengdefordelingen har maksimalverdi for $\lambda = 0.0029/T$ m, når $T$ settes inn med enhet K. En temperatur 6000 K gir da ca 480 nm.
Riktig svar: A.

**Oppgave 15**
Helt tilsvarende oppgave 14, med $T = 303$ K. Gir bølgelengde ca 10 $\mu$m.
Riktig svar: B.

**Oppgave 16**
$T = 0.0029/0.001 = 2.9$ K. (Maksimum er ved en bølgelengde som er litt mer enn 1 mm, derfor 2.7 K.)
Riktig svar: E.

**Oppgave 17**
$\lambda_C = h/mc = 6.626 \cdot 10^{-34}/12 \cdot 1.67 \cdot 10^{-27} \cdot 3 \cdot 10^8 = 0.11$ fm.
Riktig svar: A.

**Oppgave 18**
$W = hc/\lambda - eU = 6.626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8/180 \cdot 10^{-9} - 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 1.8 = 5.1$ eV.
Riktig svar: E.

**Oppgave 19**
Minste frekvens som gir fotoelektrisk effekt er $\nu_0 = W/h$, slik at største bølgelengde som gir fotoelektrisk effekt er $\lambda_0 = c/\nu_0 = hc/W = 244$ nm.
Riktig svar: C.

**Oppgave 20**
Bundne tilstander i $He^+$-ioner har energi $E_n = -Z^2 \cdot 13.6/n^2$ eV, med $Z = 2$ for helium. Eksitasjon fra grunntilstanden ($n = 1$) til 1. eksiterte tilstand ($n = 2$) gir størst mulig bølgelengde, slik at $\lambda = c/\nu = hc/(E_2 - E_1)$. I helium er $E_2 - E_1 = 40.8$ eV, slik at $\lambda = 30$ nm.
Riktig svar: B.