

FY6019 Moderne fysikk. Institutt for fysikk, NTNU.
Juletentamen 2020

1. Hva er midlere de Broglie – bølgelengde for en gass med toatomige molekyler HCl ved temperatur 100 K? Angi svaret i et helt antall pm (pikometer).

2. I *the Relativistic Heavy Ion Collider* (RHIC) i USA akselereres ioner slik at de oppnår hastigheter nær lyshastigheten c . I eksperimentene er gjerne samtlige elektroner revet løs fra kjernen. Hva er hvileenergien mc^2 for en Zr-kjerne (zirkonium) med 90 nukleoner, uttrykt i enheten GeV?

3. Hva er hastigheten, målt i enheter av lysfarten c i vakuum, til en atomkjerne med 197 nukleoner og kinetisk energi 4.0 GeV?

Oppgitt: $E = mc^2 + K = \gamma mc^2$, $\gamma = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2}$.

4. Hva er bølgelengden til heliumatomer (masse $4u$) med kinetisk energi 7.47 meV?

5. Hva er omtrent energien i 1. eksiterte tilstand til Mg^{11+} ? Oppgi svaret i et helt antall eV.

6. Et elektron foretar en overgang fra en 5p-tilstand til grunntilstanden i Sr^{37+} . Hva er bølgelengden til det utsendte fotonet?

7. Et elektron befinner seg i en endimensjonal uendelig dyp potensialbrønn med bredde L og foretar en overgang fra 3. eksiterte tilstand til 2. eksiterte tilstand under utsendelse av et foton. Hva er bølgelengden til det utsendte fotonet?

8. Et elektron befinner seg i en endimensjonal uendelig dyp potensialbrønn som er plassert på intervallet $|x| < L/2$. Anta at elektronet befinner seg i 1. eksiterte tilstand,

$$\psi_2(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin(2\pi x/L).$$

Hva er sannsynligheten for at en måling av elektronets posisjon gir en verdi på intervallet $|x| < L/9$? Oppgi svaret med 3 desimaler.

Oppgitt: $\sin^2 \alpha = \frac{1}{2}(1 - \cos 2\alpha)$

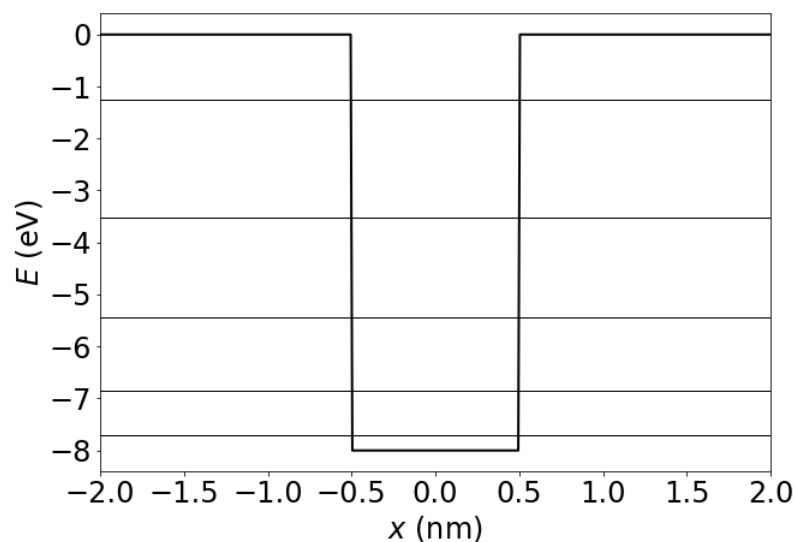
9. Et elektron befinner seg i en endimensjonal uendelig dyp potensialbrønn med bredde L . Anta at elektronet ved tidspunktet $t = 0$ befinner seg i den normerte tilstanden

$$\Psi(x, 0) = c_1\psi_1(x) + c_3\psi_3(x) + c_5\psi_5(x),$$

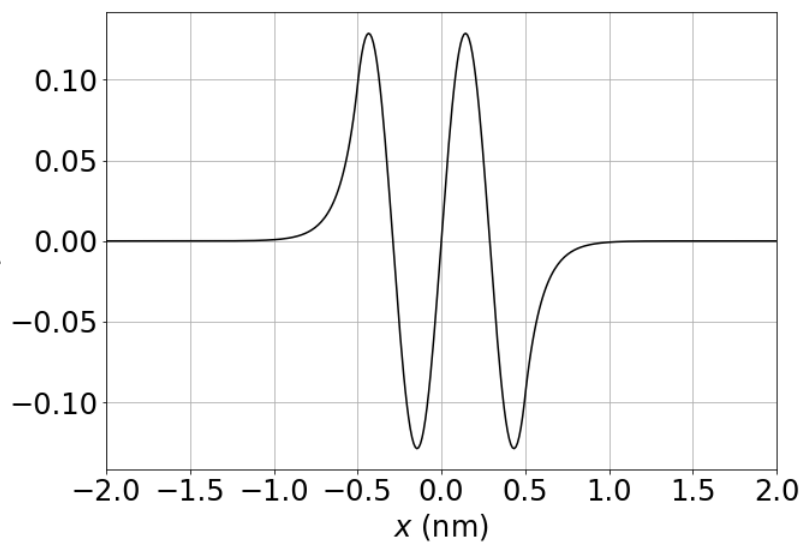
dvs en lineærkombinasjon av grunntilstanden og 2. og 4. eksiterte tilstand, med koeffisienter $c_1 = 8/9$, $c_3 = 4/9$ og $c_5 = 1/9$. Hva er forventningsverdien til elektronets kinetiske energi, målt i enheter av grunntilstandsenergien $E_1 = \pi^2\hbar^2/2m_eL^2$? Oppgi svaret med 2 desimaler.

10. Oppgavene 10-12:

En potensialbrønn med dybde 8.00 eV og bredde 1.00 nm benyttes i denne og de to neste oppgavene som en (meget forenklet) endimensjonal modell for et atom. Figuren illustrerer potensialet $V(x)$ og energinivåene for de fem (romlige) bundne energiegentilstandene $\psi_1(x), \dots, \psi_5(x)$:



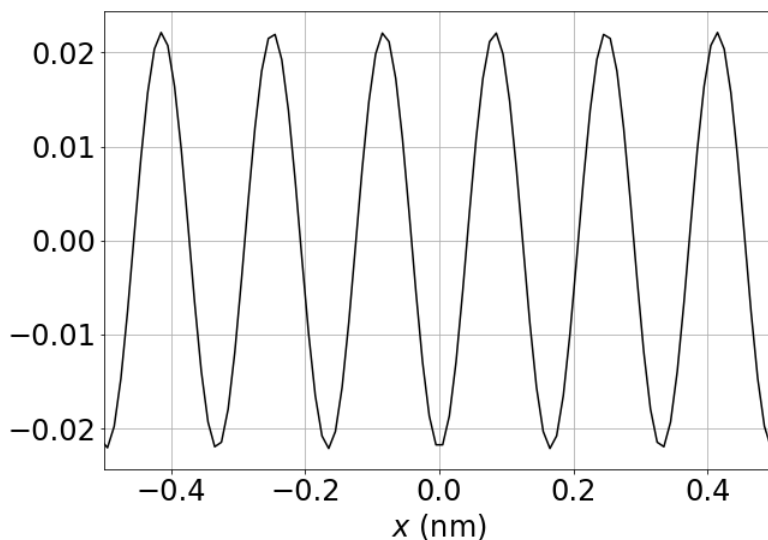
Hva er omtrent energiegenværdien som tilhører bølgefunksjonen vist nedenfor? Begrunn svaret.



11. Potensialbrønnen i forrige oppgave benyttes som modell for et atom med 6 elektroner. Et innkommende foton kan absorberes og rive et elektron løs fra atomet. Hva er (omtrent) minste fotonenergi som skal til for å løsrive et av atomets elektroner? Bruk enheten eV.

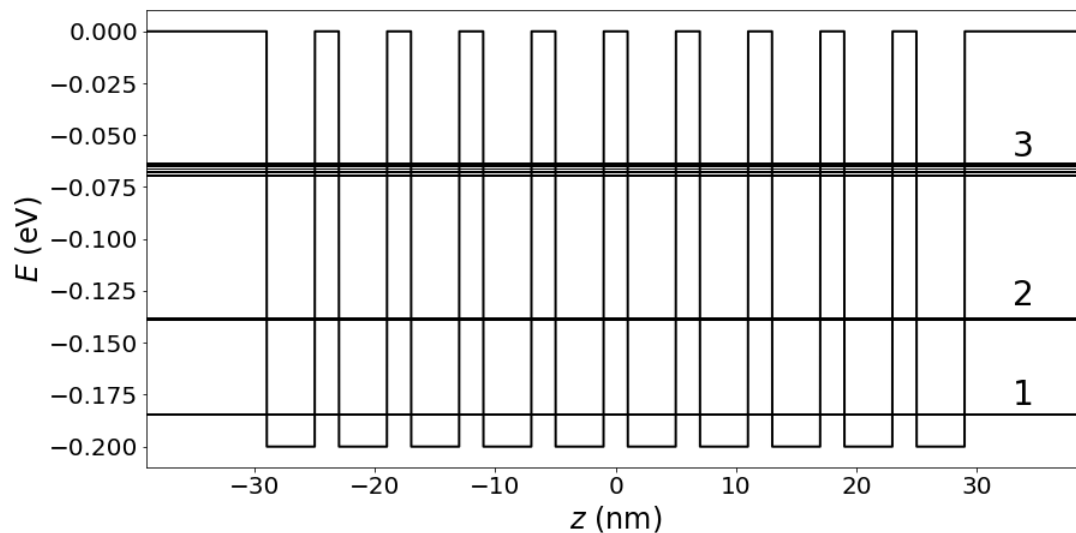
Vi minner om at elektroner er fermioner som adlyder Pauliprinsippet.

12. Figuren nedenfor viser en ubundet tilstand i brønnområdet $-0.5 \text{ nm} < x < 0.5 \text{ nm}$, dvs der potensialet er -8.00 eV . Hva er omtrentlig tilhørende energieigenverdi E ? Bruk eV som enhet.

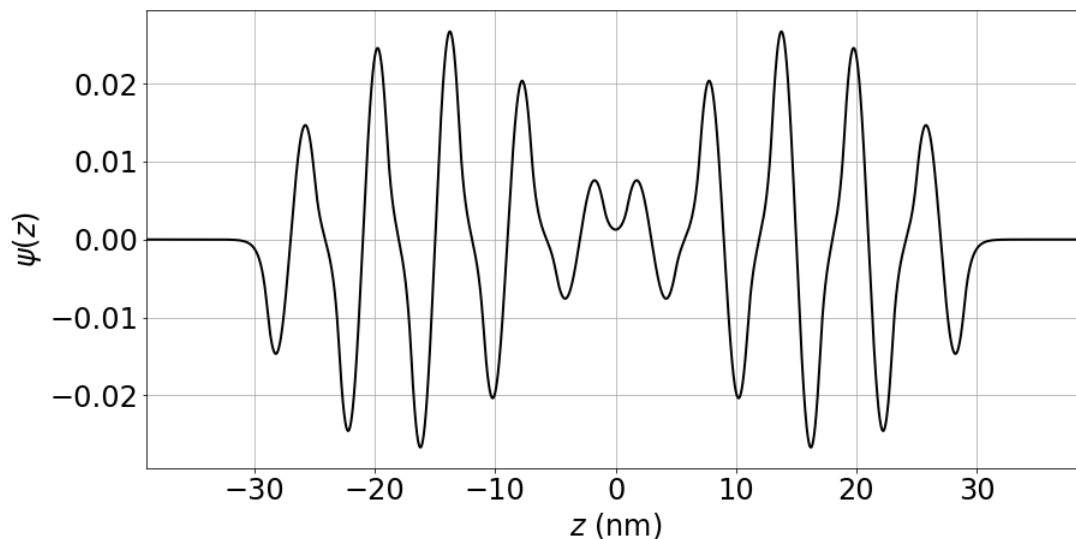


13. Karbondioksyd (CO_2) er et lineært molekyl, med C-atomet i molekylets tyngdepunkt og med et O-atom på hver side. Bindingslengden mellom C og O er 116.3 pm . Massen til et O-atom er $16u$. Vi betrakter her molekylet som et stivt legeme. Et CO_2 -molekyl gjennomgår en strålingsovergang fra 3. laveste til nest laveste rotasjonsnivå, dvs fra en rotasjonstilstand med dreieimpulskvantetall $l = 2$ til en rotasjonstilstand med $l = 1$. Hva er energien til det utsendte fotonet? Bruk μeV som enhet.

14. Oppgavene 14 og 15: En lagdelt struktur med vekselvis GaAs og AlGaAs gir opphav til et "supergitter" bestående av 10 potensialbrønner (GaAs; bredde 4 nm; $V = -0.20$ eV) adskilt med tynne barrierer (AlGaAs; bredde 2 nm; $V = 0$):



Potensialet gir opphav til 30 bundne tilstander med tilhørende energier fordelt på tre "bånd" (merket 1, 2 og 3) med 10 tettliggende energiverdier i hvert bånd (horisontale linjer i figuren over). Figuren nedenfor viser en av disse bundne tilstandene. Hvilket energibånd tilhører denne tilstanden? Begrunn svaret.



15. Halvlederstrukturen i oppgave 14 kan brukes til å lage en laser basert på strålingsoverganger fra tilstander i energibånd nr 2 til tilstander i energibånd nr 1 (se nummerering i figur i oppgave 14). Hva blir denne laserens bølgelengde? (Dvs, hva er bølgelengden til de emitterte fotonene?)