

FY6019 Moderne fysikk. Institutt for fysikk, NTNU.
Oppgavesett 2 November 2018

1. Angi et sikkert kriterium som skiller en halvleder fra en elektrisk isolator.
 - A. Størrelsen på båndgapet.
 - B. Massetettheten.
 - C. Krystallstrukturen.
 - D. Verdien av magnetisk susceptibilitet.

2. Den elektriske ledningsevnen til en halvleder
 - A. er uavhengig av temperaturen.
 - B. blir større med økende temperatur.
 - C. blir mindre med økende temperatur.
 - D. er halvparten så stor som for en elektrisk leder.

3. Tilsats av en liten andel aluminiumatomer (Al, 3 valenselektroner), f.eks. 0.01 %, til en ellers perfekt silisiumkrystall (Si, 4 valenselektroner) har følgende effekt:
 - A. Krystallen får et overskudd av negative ladningsbærere, og den elektriske ledningsevnen blir betydelig mindre.
 - B. Krystallen får et overskudd av positive ladningsbærere, og den elektriske ledningsevnen blir betydelig mindre.
 - C. Krystallen får et overskudd av negative ladningsbærere, og den elektriske ledningsevnen blir betydelig større.
 - D. Krystallen får et overskudd av positive ladningsbærere, og den elektriske ledningsevnen blir betydelig større.

4. Hva uttrykker Pauliprinsippet?
 - A. Det kan ikke være mer enn ett elektron i hver kvantemekaniske tilstand.
 - B. Termisk energi er av størrelsesorden $k_B T$, der k_B er Boltzmanns konstant.
 - C. Elektrostatisk felt er null inne i en elektrisk leder.
 - D. I en halvleder kan vi ha både positive og negative ladningsbærere.

(Oppgavene 5-10 henger sammen.)

5. Vibrasjonsfrihetsgraden til ${}^7\text{Li}^{133}\text{Cs}$ kan med bra tilnærming beskrives med harmonisk oscillator-potensialet $V(x) = m\omega^2 x^2/2$. Siden atomære masser her er hhv $7u$ og $133u$, har oscillatoren redusert masse $m = 6.65u$. Vibrasjonsfrekvensen er $f = 5.54$ THz. Hva er fjærkonstanten?

6. Hva er energien til et foton som eksiterer ${}^7\text{Li}^{133}\text{Cs}$ fra grunntilstanden til 1. eksiterte vibrasjonstilstand?

7. Boltzmannfaktoren $\exp(-\hbar\omega/k_B T)$ gir forholdet mellom sannsynligheten for å finne oscillatoren i 1. eksiterte tilstand og i grunntilstanden. Hvor stort er dette forholdet for ${}^7\text{Li}^{133}\text{Cs}$ -molekylet ved romtemperatur (300 K)?

8. Dissosiasjonsreaksjonen $\text{LiCs} \rightarrow \text{Li} + \text{Cs}$ beskrives godt med Morse-potensialet

$$E(R) = E_0 \left[1 - e^{-\alpha(R-R_0)} \right]^2.$$

Dissosiasjonsenergien er 1.1 eV, og praktisk talt lik E_0 , siden nullpunktsenergien $\hbar\omega/2$ er mye mindre enn E_0 . Dersom dette Morse-potensialet skal gi samme vibrasjonsfrekvens som i oppgave 5 for små utsving fra likevekt, hvilken verdi for parameteren α bør du da velge (f eks i enheten 1/nm)?

9. Avstanden mellom atomkjernene (dvs bindingslengden) i ${}^7\text{Li}^{133}\text{Cs}$ er ca 3.6 Å. Dersom vi betrakter molekylet som en stiv rotator, hva er energiforskjellen mellom laveste og nest laveste rotasjonstilstand?

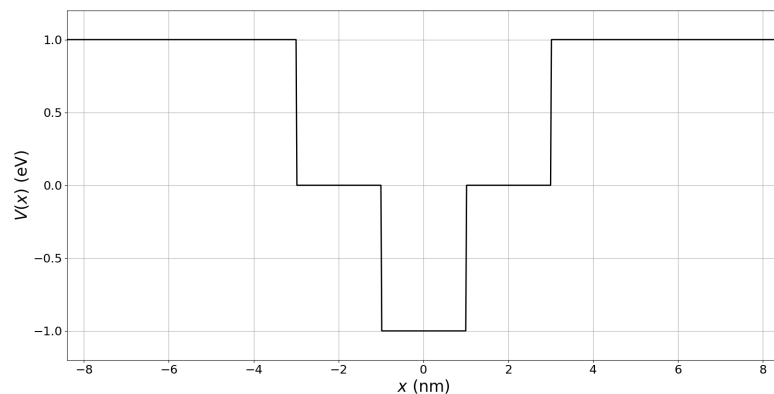
10. Li og Cs har atomnummer henholdsvis 3 og 55. I grunntilstanden har elektronene i molekylet ${}^7\text{Li}^{133}\text{Cs}$ totalt spinn lik null. Hvor mange molekylorbitaler er okkupert av elektroner i grunntilstanden?

11. Hva er kommutatoren $[x, x]$?

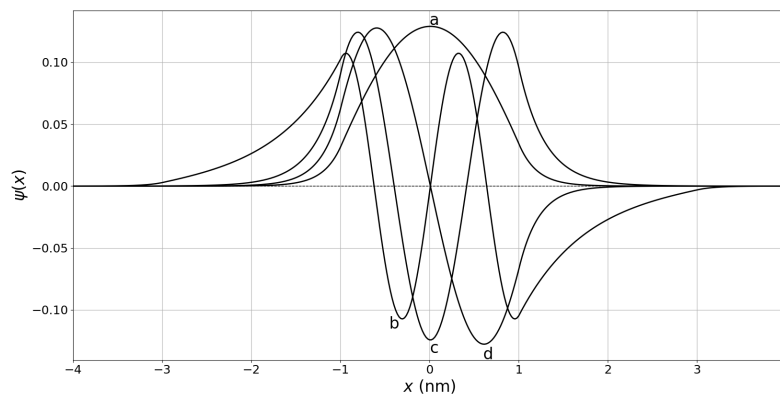
12. Hva er kommutatoren $[\hat{p}_x, x^2]$?

13. Hva er kommutatoren $[\hat{p}_x, \hat{L}_z]$?

Oppgavene 14 - 17:



Potensialet i figuren over er stykkevis konstant og symmetrisk om $x = 0$, og har verdiene $V = -1.0$ eV på intervallet $|x| < 1.0$ nm, $V = 0$ på intervallene $1.0 \text{ nm} < |x| < 3.0$ nm, og $V = 1.0$ eV for $|x| > 3.0$ nm. I disse oppgavene ser vi på noen energiegentilstander for et elektron i dette potensialet. Figuren nedenfor viser fire energiegentilstander a, b, c og d.



14. Hvilken tilstand er merket med c; er det grunntilstanden, 1. 2. 3. eller 4. eksiterte tilstand?

15. Hvilken tilstand er merket med d; er det grunntilstanden, 1. 2. 3. eller 4. eksiterte tilstand?

16. Av de fire tilstandene a, b, c og d, hvor mange har negativ energi?

17. Hva er et rimelig estimat av energien i tilstand a? Er det -0.94 eV, -0.54 eV, -0.14 eV, 0.26 eV eller 0.66 eV?