

**FY6019 Moderne fysikk. Institutt for fysikk, NTNU.**  
**Øving 10.**

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  $f = 5.54 \text{ THz}$ . 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  $\alpha$  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?

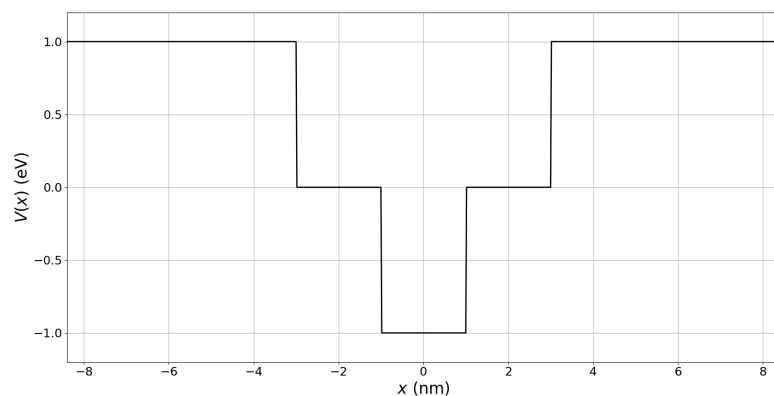
10. Li og Cs har atomnummer henholdsvis 3 og 55. I grunntilstanden har elektronene i molekylet  ${}^7\text{Li}^{133}\text{Cs}$  totalt spinn lik null. Hvor mange molekylorbitaler er okkupert av elektroner i grunntilstanden?

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

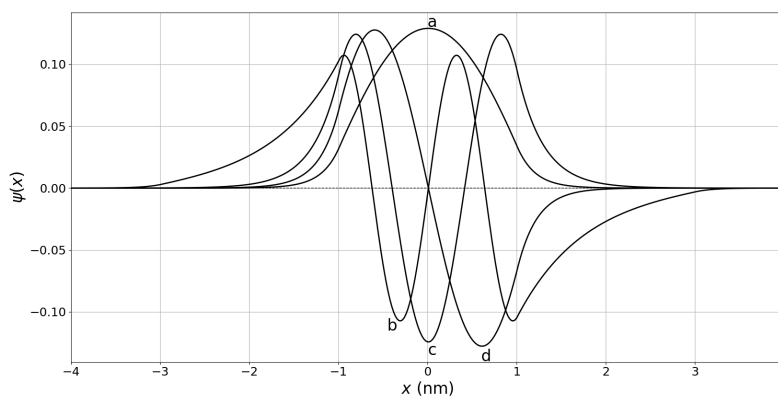
12. Hva er kommutatoren  $[\hat{p}_x, x^2]$ ?

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?