i Institutt for fysikk

Eksamensoppgave i TFY4215 Innføring i kvantefysikk

Eksamensdato: 7. desember 2020

Eksamenstid (fra-til): 09:00 – 13:00

Hjelpemiddelkode/Tillatte hjelpemidler: A / Alle hjelpemidler tillatt

Faglig kontakt under eksamen: Jon Andreas Støvneng
Tlf.: 45 45 55 33 **Epost:** jon.stovneng@ntnu.no

Teknisk hjelp under eksamen: NTNU Orakel
Tlf: 73 59 16 00

ANNEN INFORMASJON:

- Faglig kontaktperson skal fortrinnsvis kun kontaktes dersom det er feil eller mangler i oppgavesettet.
- Besvarelsen din i Inspera Assessment lagres automatisk. Jobber du i andre programmer – husk å lagre underveis.
- Eksamen skal være et individuelt, selvstendig arbeid. Det er tillatt å bruke hjelpemidler.
- Hvis det oppstår behov for å gi beskjeder til kandidatene underveis i eksamen (f.eks. ved feil i oppgavesettet), vil dette bli gjort via varslinger i Inspera. Et varsel vil dukke opp som en dialogboks på skjermen i Inspera. Du kan finne igjen varselet ved å klikke på bjella øverst i høyre hjørne på skjermen. Det vil i tillegg bli sendt SMS til alle kandidater for å sikre at ingen går glipp av viktig informasjon. Ha mobiltelefonen din tilgjengelig.
- 40 flervalgsoppgaver med lik vekt. Kun ett svar er korrekt på hver oppgave. 1 poeng for riktig svar. 0 poeng for feil svar eller intet svar.

OM LEVERING:

- **Besvarelsen din leveres automatisk når eksamenstida er ute og prøven stenger**, forutsatt at minst én oppgave er besvart. Dette skjer selv om du ikke har klikket «Lever og gå tilbake til Dashboard» på siste side i oppgavesettet. Du kan gjenåpne og redigere besvarelsen din så lenge prøven er åpen. Dersom ingen oppgaver er besvart ved prøveslutt, blir ikke besvarelsen din levert.
- **Trekk fra eksamen:** Ønsker du å levere blankt/trekke deg, gå til hamburgermenyen i øvre høyre hjørne og velg «Lever blankt». Dette kan ikke angres selv om prøven fremdeles er åpen.
- **Tilgang til besvarelse:** Du finner besvarelsen din i Arkiv etter at sluttida for eksamen er passert.

1 Hva er midlere de Broglie-bølgelengde (avrundet til et helt antall pikometer) for en gass med toatomige molekyler NaCl ved temperatur 300 K? Atomære masser:

Na: 18.026u; Cl: 28.029u

Velg ett alternativ

- 47 pm
- 16 pm
- 11 pm
- 72 pm
- 21 pm
- 63 pm

Maks poeng: 1

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 Au-kjerne (gull) med 197 nukleoner, uttrykt i enheten GeV?

Velg ett alternativ:

- 222
- 25
- 184
- 59
- 95
- 84

Maks poeng: 1

3 Hva er hastigheten, målt i enheter av lysfarten *c* i vakuum, til en atomkjerne med 63 nukleoner og kinetisk energi 10.0 GeV?

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

Velg ett alternativ:

- 0.13
- 0.34
- 0.74
- 0.41
- 0.52
- 0.21

Maks poeng: 1

4 Hva er bølgelengden til xenonatomer (masse 131u) med kinetisk energi 109 meV?

Velg ett alternativ

- 7.59 pm
- 49.7 pm
- 166 pm
- 24.8 pm
- 11.8 pm
- 4.48 pm

Maks poeng: 1

5 Hva er omtrent energien i 1. eksiterte tilstand (både i følge Bohr og Schrödinger) til Mg^{11+}?

Velg ett alternativ

- -1706 eV
- -1227 eV
- -2926 eV
- -218 eV
- -604 eV
- -490 eV

Maks poeng: 1

6 Et elektron foretar en overgang fra en 7p-tilstand til grunntilstanden i Ra^{87+}. Hva er bølgelengden til det utsendte fotonet?

Velg ett alternativ

- 29.8 pm
- 7.58 nm
- 12.0 pm
- 243 pm
- 711 pm
- 65.6 pm

Maks poeng: 1

7 Et elektron befinner seg i en endimensjonal uendelig dyp potensialbrønn med bredde *L* og foretar en overgang fra 1. eksiterte tilstand til grunntilstanden under utsendelse av et foton. Hva er bølgelengden til det utsendte fotonet?

Velg ett alternativ

- $m_e c L^2/h$
- $8 m_e c L^2/5h$
- $8 m_e c L^2/15h$
- $8 m_e c L^2/3h$
- $8 m_e c L^2/7h$
- $2 m_e c L^2/3h$

Maks poeng: 1

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

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

Hva er sannsynligheten for at en måling av elektronets posisjon gir en verdi på intervallet

$$|x| < L/9\,?$$

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

Velg ett alternativ

- 0.475
- 0.131
- 0.306
- 0.609
- 0.065
- 0.818

Maks poeng: 1

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 $c_1 = 6/9\,,\ c_3 = 3/9\,,\ c_5 = 6/9$.
Hva er forventningsverdien til elektronets kinetiske energi, målt i enheter av grunntilstandsenergien $E_1 = \pi^2\hbar^2/2m_eL^2$?

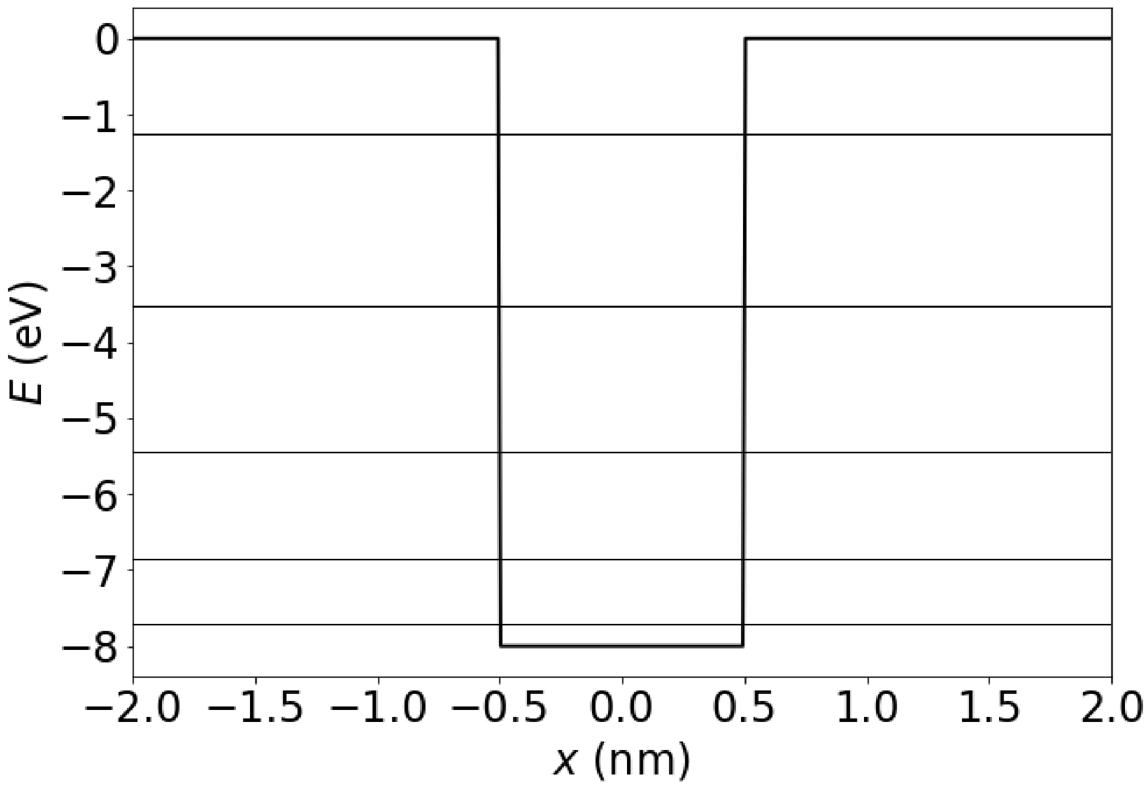
Velg ett alternativ

- 7.22
- 12.56
- 2.88
- 20.06
- 5.84
- 15.22

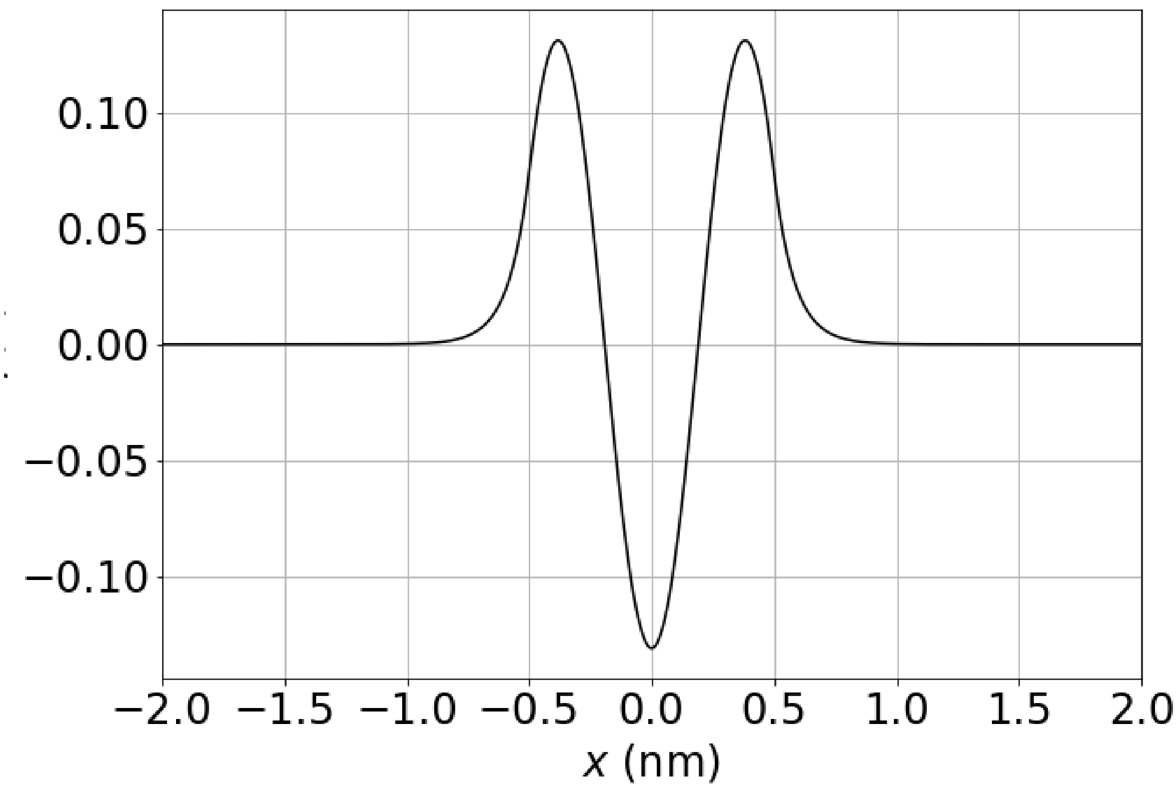
Maks poeng: 1

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 $\psi_1(x), \ldots, \psi_5(x)$:



Hva er energiegenverdien som tilhører bølgefunksjonen vist nedenfor?

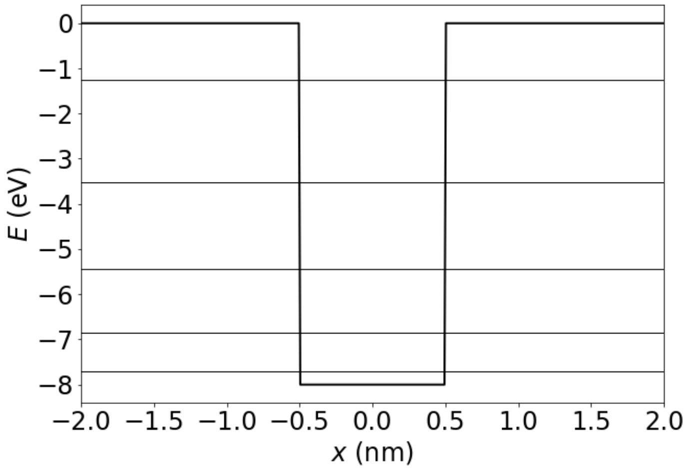


Velg ett alternativ

- -1.24 eV
- -5.45 eV
- -6.85 eV
- -2.31 eV
- -3.53 eV
- -7.71 eV

Maks poeng: 1

11 Potensialbrønnen i forrige oppgave benyttes som modell for et atom med 6 elektroner.



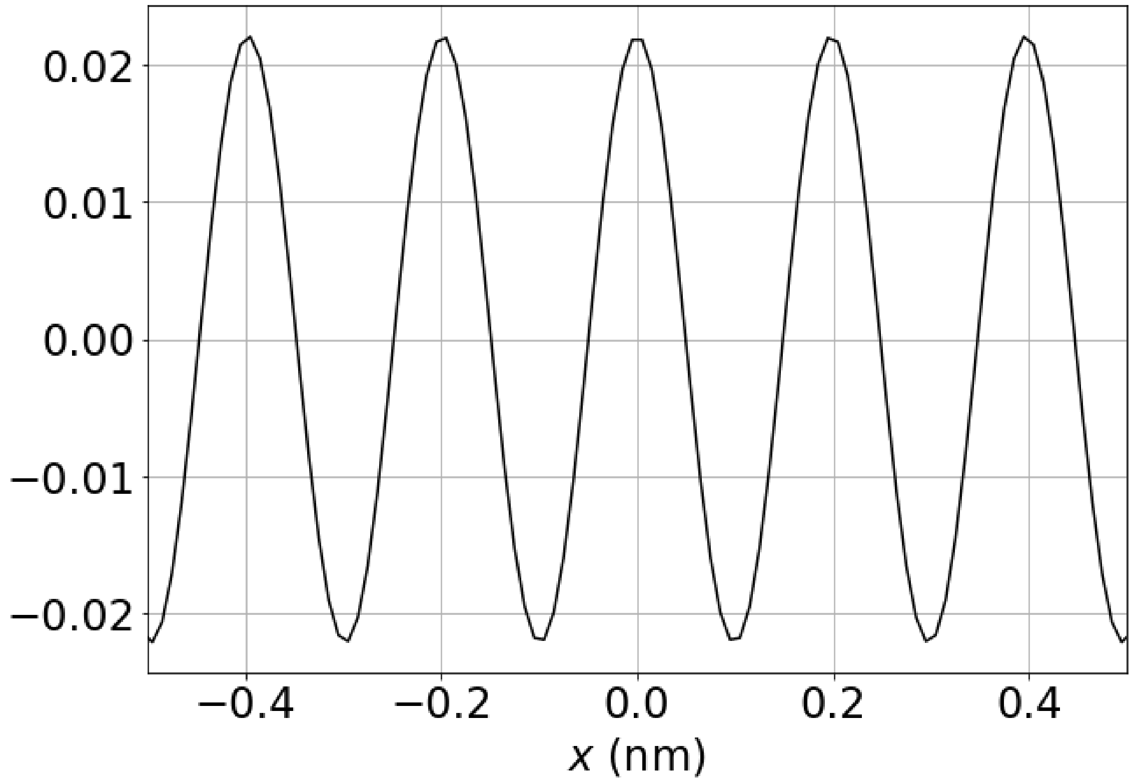
Et innkommende foton kan absorberes og rive et elektron løs fra atomet. Hva er minste fotonenergi som skal til for å løsrive et av atomets elektroner?
Vi minner om at elektroner er fermioner som adlyder Pauliprinsippet.

Velg ett alternativ

- 7.71 eV
- 5.45 eV
- 3.53 eV
- 1.24 eV
- 6.85 eV
- 2.31 eV

Maks poeng: 1

12 Figuren viser en ubundet tilstand i brønnområdet $-0.5\ \mathrm{nm} < x < 0.5\ \mathrm{nm}$, dvs der potensialet er $-8.00\ \mathrm{eV}$. Hva er omtrentlig tilhørende energiegenverdi E ?



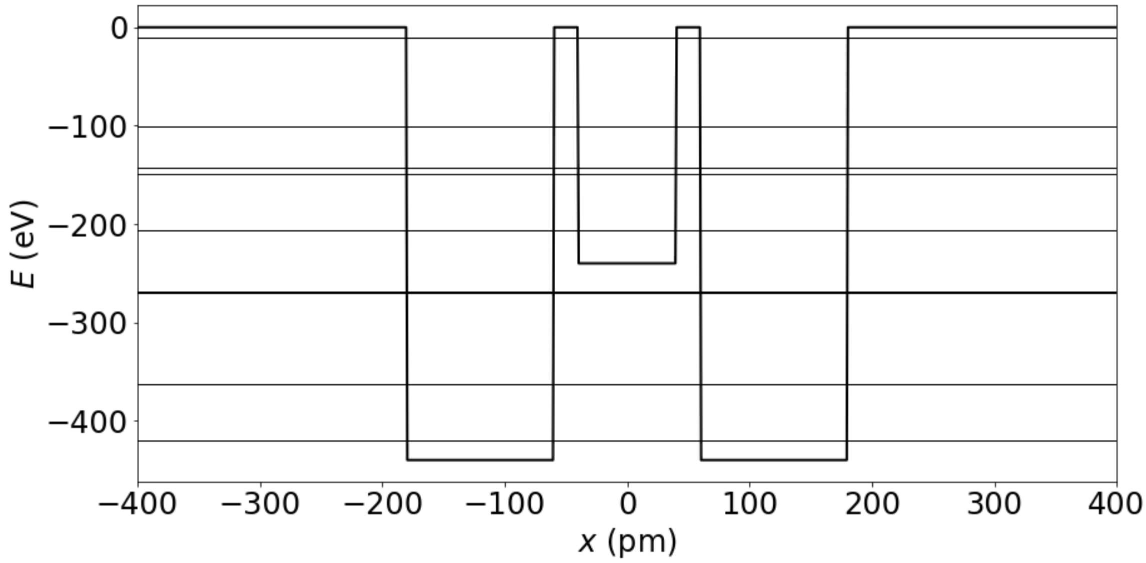
Velg ett alternativ

- 87.6 eV
- 29.3 eV
- 5.4 eV
- 65.2 eV
- 15.9 eV
- 45.7 eV

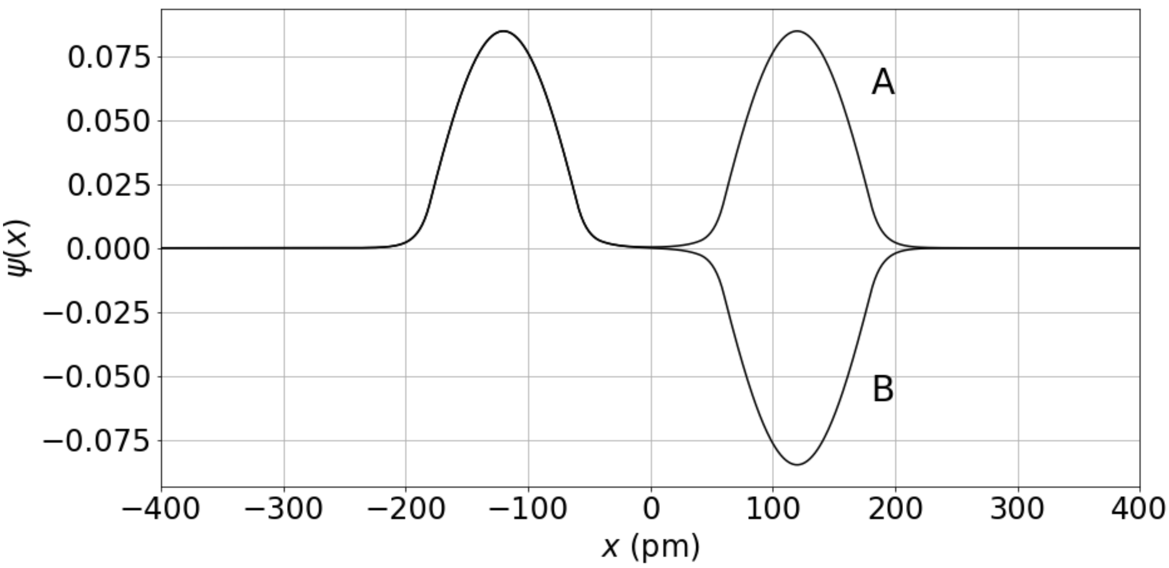
Maks poeng: 1

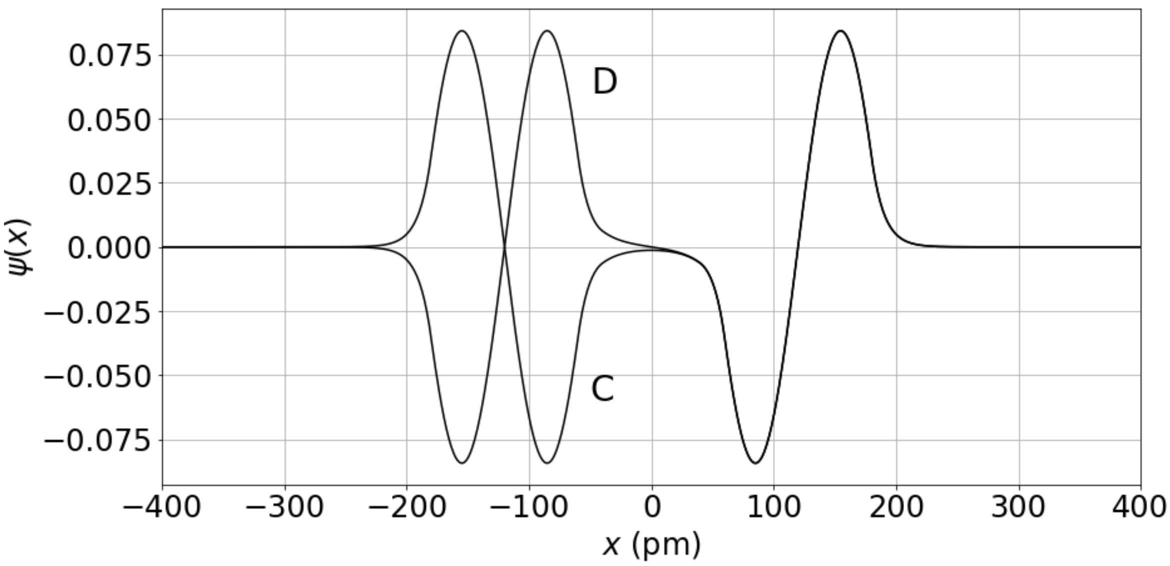
13 Oppgavene 13-15 dreier seg om små lineære molekyler.

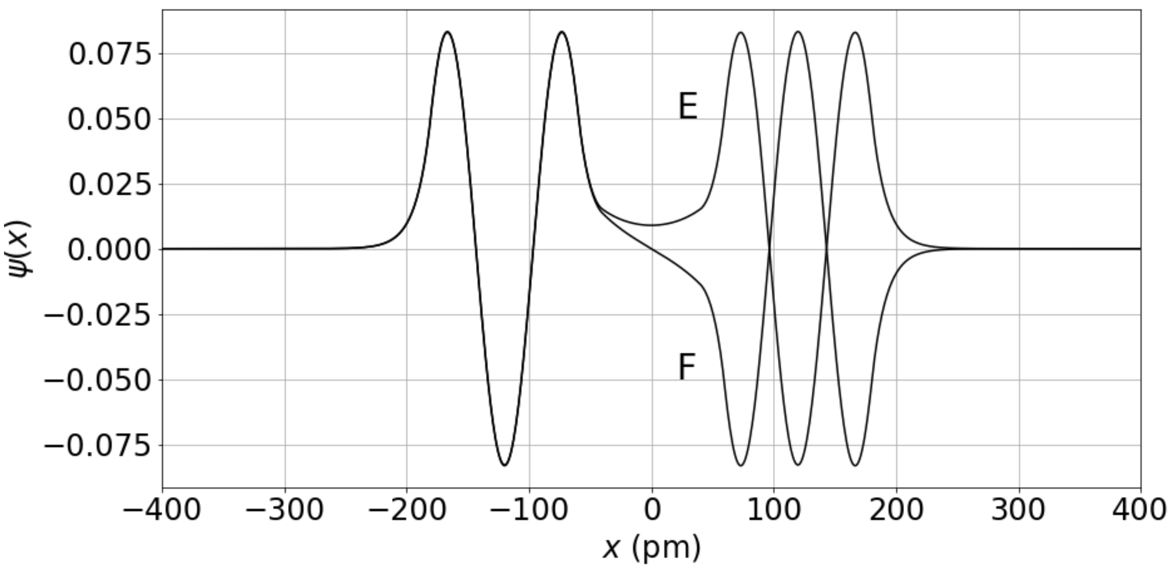
I denne oppgaven bruker vi et symmetrisk endimensjonalt potensial bestående av tre potensialbrønner som modell for lineære molekyler AB_2, med A i midten og et B-atom på hver side (for eksempel CO_2). Figuren illustrerer potensialet $V(x)$ og de *elleve* energinivåene (horisontale linjer) som tilsvarer de (romlige) bundne energiegentilstandene $\psi_1(x), \ldots, \psi_{11}(x)$. Potensialbrønnene er adskilt med tynne barrierer der $V = 0$, dvs samme verdi som på høyre og venstre side av "trippelbrønnen".



Nedenfor vises 6 av de 11 bundne tilstandene, merket med A, B, C, D, E og F:







Hva er energiegenverdiene som tilhører de to bølgefunksjonene merket med A og B?

Velg ett alternativ

- $E_A \simeq -363$ eV , $E_B \simeq -363$ eV
- $E_A \simeq -149$ eV , $E_B \simeq -269$ eV
- $E_A \simeq -269$ eV , $E_B \simeq -421$ eV
- $E_A \simeq -269$ eV , $E_B \simeq -269$ eV
- $E_A \simeq -207$ eV , $E_B \simeq -363$ eV
- $E_A \simeq -421$ eV , $E_B \simeq -421$ eV

Maks poeng: 1

14 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 7. laveste til 6. laveste rotasjonsnivå, dvs fra en rotasjonstilstand med dreieimpulskvantetall $l = 6$ til en rotasjonstilstand med $l = 5$. Hva er energien til det utsendte fotonet?

Velg ett alternativ

- $288\ \mu\mathrm{eV}$
- $192\ \mu\mathrm{eV}$
- $96\ \mu\mathrm{eV}$
- $575\ \mu\mathrm{eV}$
- $384\ \mu\mathrm{eV}$
- $480\ \mu\mathrm{eV}$

Maks poeng: 1

15 Morse-potensialet

$$V_M(q) = V_0\big(e^{-2\alpha(q-q_0)} - 2\,e^{-\alpha(q-q_0)}\big)$$

tilsvarer en frastøtende kraft for $q < q_0$ og en tiltrekkende kraft for $q > q_0$ og gir en god beskrivelse av toatomige molekyler med bindingslengde q_0 i likevekt. For avstander q (mellom de to atomene) i nærheten av q_0 er potensialet tilnærmet harmonisk, dvs på formen

$$V_M(q) \simeq \tfrac{1}{2}m\omega^2(q-q_0)^2 - V_0$$

med redusert masse m og vinkelfrekvens ω .

Anta at de to atomene har masse hhv 12u og 16u og at de to parametrene V_0 og α har verdiene hhv 3.90 eV og 39.1 nm^{-1}. Hva blir da molekylets "nullpunktsenergi" $\hbar\omega/2$, dvs hva blir molekylets minste mulige vibrasjonsenergi?

Oppgitt: $e^{-x} \simeq 1 - x + x^2/2 \;\; \text{når} \;\; |x| \ll 1$

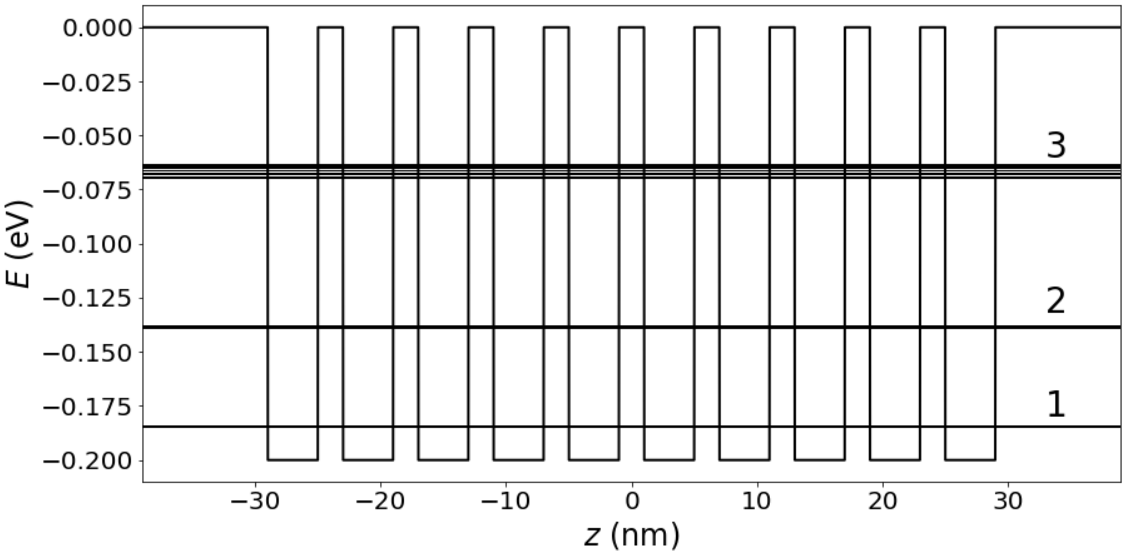
Velg ett alternativ

- $185\ \mathrm{meV}$
- $57\ \mathrm{meV}$
- $256\ \mathrm{meV}$
- $134\ \mathrm{meV}$
- $272\ \mathrm{meV}$
- $20\ \mathrm{meV}$

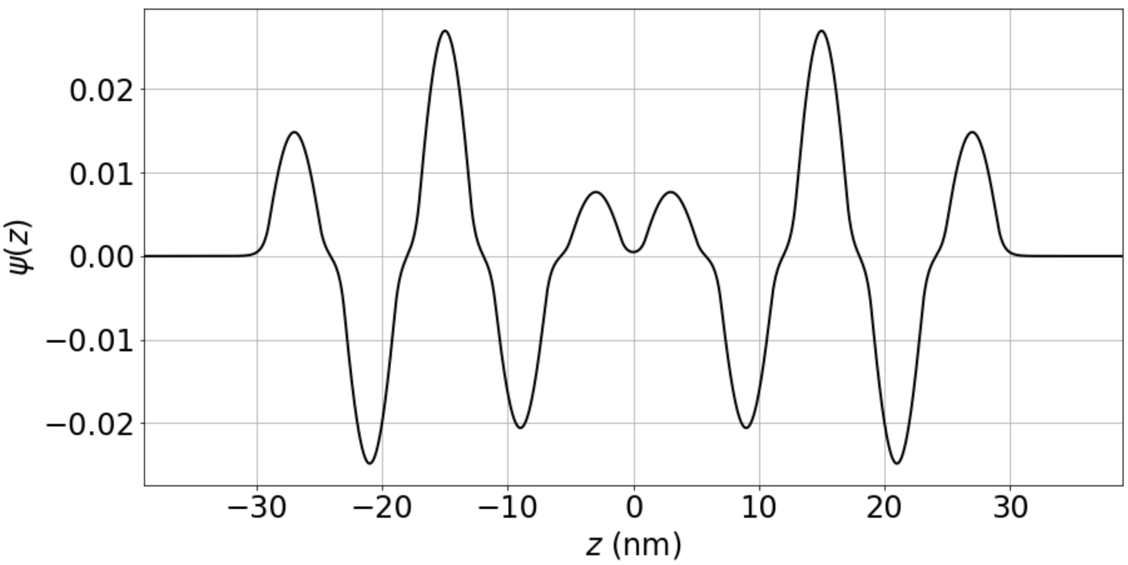
Maks poeng: 1

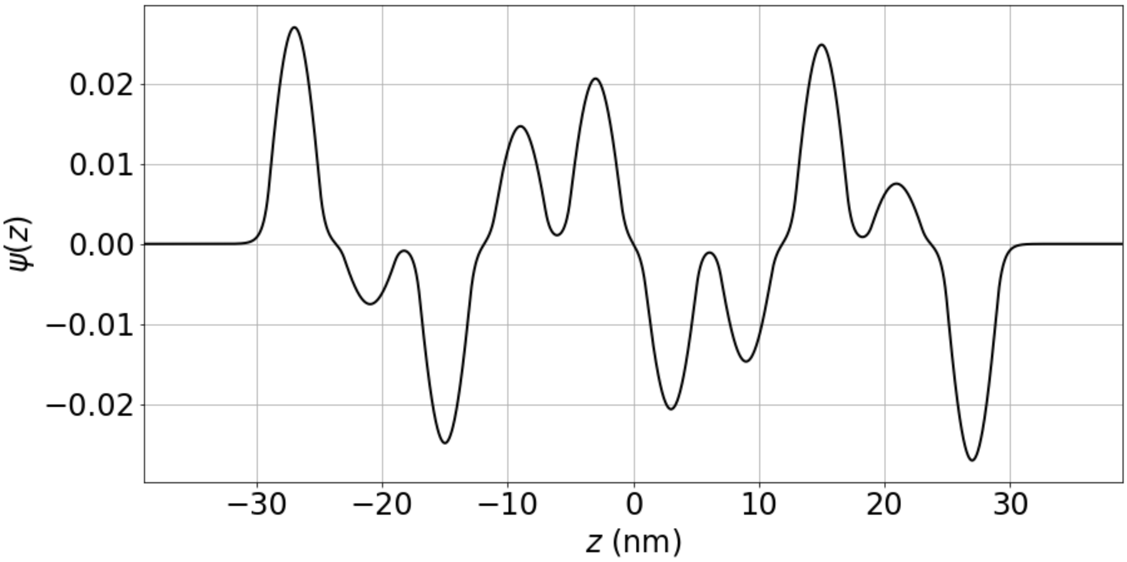
16 Oppgavene 16-18:

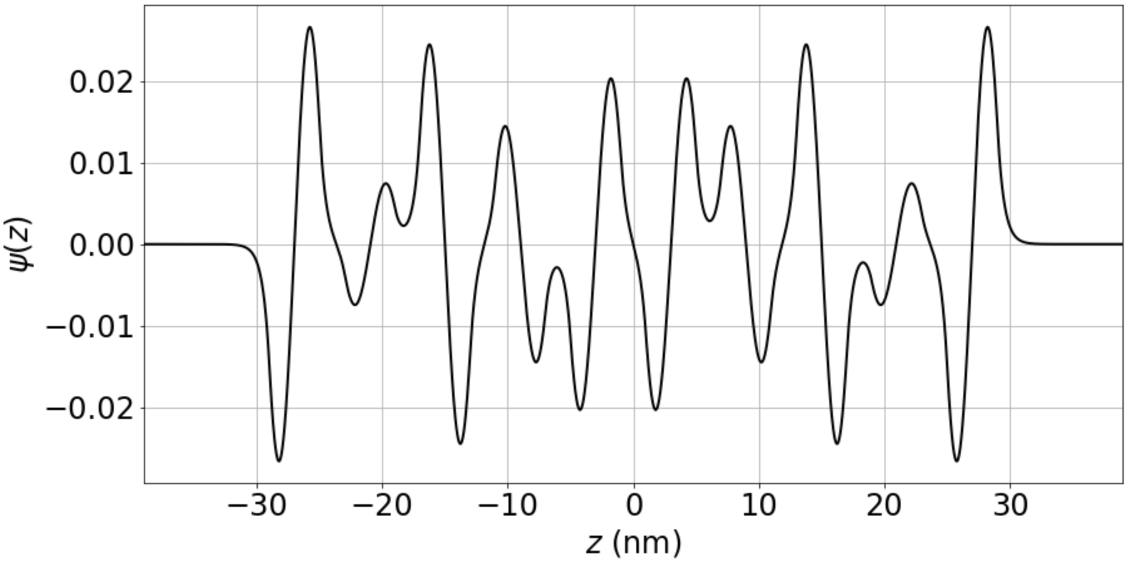
En lagdelt struktur med vekselvis GaAs og AlGaAs gir opphav til et "supergitter" bestående av 10 potensialbrønner (GaAs; bredde 4 nm; V = -0.20 eV) adskilt med tynne barrierer (AlGaAs; bredde 2 nm; V = 0):



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). Figurene nedenfor viser tre av disse bundne tilstandene. Hvilke energibånd tilhører disse tilstandene, regnet fra øverste til nederste figur?





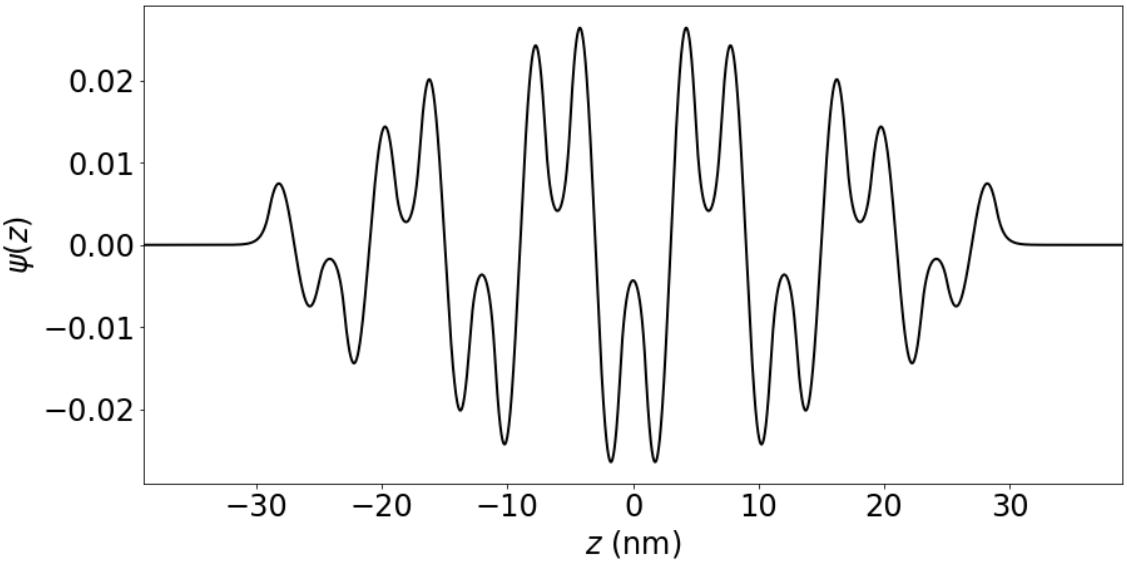


Velg ett alternativ

- Øverst: 1, Midten:2 , Nederst: 3
- Øverst: 2, Midten:3 , Nederst: 3
- Øverst: 3, Midten:1 , Nederst: 2
- Øverst: 2, Midten:2 , Nederst: 1
- Øverst: 3, Midten:1 , Nederst: 1
- Øverst: 1, Midten:1 , Nederst: 2

Maks poeng: 1

17



Bølgefunksjonene i det "kvasiperiodiske" potensialet i forrige oppgave kan over supergitterets totale utstrekning (dvs på intervallet −29 nm < z < 29 nm) med god tilnærmelse skrives på formen

$$\psi(z) = u(z)\,\sin kz \quad \text{eller} \quad \psi(z) = u(z)\,\cos kz$$

der funksjonen $u(z)$ gjentar seg fra brønn til brønn. (Dette er essensielt Blochs teorem.) Hva er, i enheten nm, omtrent verdien av størrelsen $2\pi/k$ for bølgefunksjonen i figuren ovenfor?

Velg ett alternativ

- 58 nm
- 39 nm
- 6 nm
- 29 nm
- 23 nm
- 116 nm

Maks poeng: 1

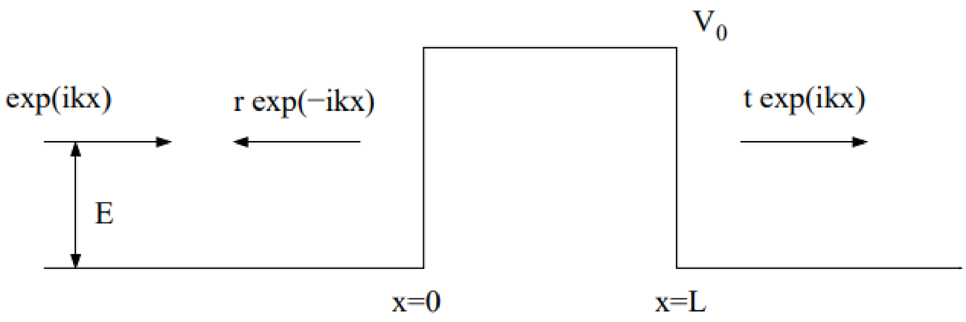
18 Halvlederstrukturen i oppgave 16 kan brukes til å lage en laser basert på strålingsoverganger fra tilstander i energibånd nr 2 til tilstander i energibånd nr 1 (se nummerering i figur i oppgave 16). Hva blir denne laserens bølgelengde? (Dvs, hva er bølgelengden til de emitterte fotonene?)

Velg ett alternativ

- $57\,\mu\mathrm{m}$
- $27\,\mu\mathrm{m}$
- $37\,\mu\mathrm{m}$
- $67\,\mu\mathrm{m}$
- $47\,\mu\mathrm{m}$
- $77\,\mu\mathrm{m}$

Maks poeng: 1

19



Et elektron som kommer inn fra venstre, med veldefinert impuls $p_i = \hbar k$, kinetisk energi $E(k) = \hbar^2 k^2/2m^*$ og effektiv masse m^*, beskrives med den plane bølgen $\psi_i(x) = \exp(ikx)$. Elektronet har en viss sannsynlighet for å bli reflektert og en (resterende) sannsynlighet for å bli transmittert. Et reflektert elektron kan beskrives med $\psi_r(x) = r\ \exp(-ikx)$ mens et transmittert elektron kan beskrives med $\psi_t(x) = t\ \exp(ikx)$. Dette systemet kan realiseres med lagdelte halvledermaterialer, med f eks AlGaAs som barriere ($0 < x < L$) mellom GaAs "kontakter" ($x < 0$ og $x > L$). Den angitte potensialprofilen ($V(x) = 0$ i kontaktene og $V(x) = V_0$ i barrieren) representerer da laveste tillatte energi for elektroner i ledningsbåndet i det aktuelle materialet. Det oppgis at transmisjonssannsynligheten for $E \geq V_0$ er

$$T = \left[1 + \frac{\sin^2\left(k_0 L\sqrt{E/V_0 - 1}\right)}{4(E/V_0 - 1)E/V_0}\right]^{-1}$$

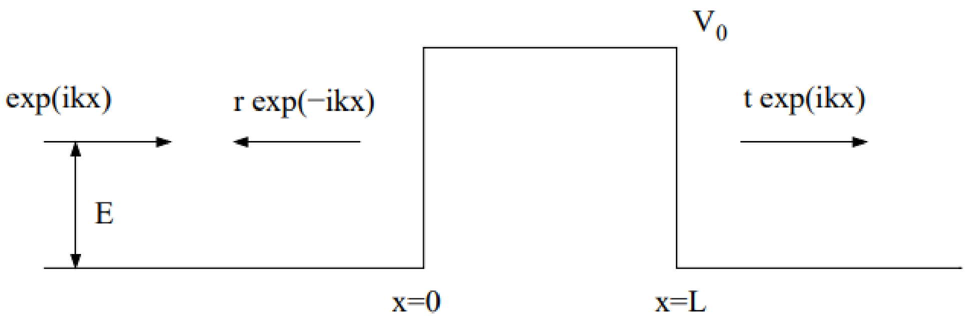
Her er $k_0 = \sqrt{2m^* V_0}/\hbar$. Anta at $V_0 = 230\ \mathrm{meV},\quad L = 15.0\ \mathrm{nm},\quad m^* = 0.067\, m_e$.
Hva er transmisjonssannsynligheten dersom $E = 1.01\, V_0$?

Velg ett alternativ:

- 0.728
- 0.329
- 0.837
- 0.057
- 0.530
- 0.998

Maks poeng: 1

20



Et elektron som kommer inn fra venstre, med veldefinert impuls $p_i = \hbar k$, kinetisk energi $E(k) = \hbar^2 k^2/2m^*$ og effektiv masse m^*, beskrives med den plane bølgen $\psi_i(x) = \exp(ikx)$. Elektronet har en viss sannsynlighet for å bli reflektert og en (resterende) sannsynlighet for å bli transmittert. Et reflektert elektron kan beskrives med $\psi_r(x) = r\ \exp(-ikx)$ mens et transmittert elektron kan beskrives med $\psi_t(x) = t\ \exp(ikx)$. Dette systemet kan realiseres med lagdelte halvledermaterialer, med f eks AlGaAs som barriere ($0 < x < L$) mellom GaAs "kontakter" ($x < 0$ og $x > L$). Den angitte potensialprofilen ($V(x) = 0$ i kontaktene og $V(x) = V_0$ i barrieren) representerer da laveste tillatte energi for elektroner i ledningsbåndet i det aktuelle materialet. Anta (som i forrige oppgave) $V_0 = 230\ \mathrm{meV},\ \ m^* = 0.067\, m_e$.
Men her lar vi $L \to \infty$ slik at det innkommende elektronet møter på et potensialtrinn med høyde V_0 i posisjon $x = 0$. Hva er transmisjonssannsynligheten dersom $E = 1.11\, V_0$?

Velg ett alternativ:

- 0.837
- 0.728
- 0.530
- 0.998
- 0.329
- 0.057

Maks poeng: 1

21 I oppgavene 21 - 23 betrakter vi en todimensjonal isotrop harmonisk oscillator,

$$V(r) = \frac{1}{2}m\omega^2 r^2 \qquad (r^2 = x^2 + y^2)$$

med energiegenfunksjoner

$$(n_x\, n_y) \equiv \psi_{n_x}(x)\, \psi_{n_y}(y) \qquad (n_x, n_y = 0, 1, 2, \ldots)$$

på produktform, med envariabelfunksjoner som i formelvedlegget.
Hva er L_z for tilstanden $(0\,1)$?

Oppgitt: $\hat{L}_z = \frac{\hbar}{i}\left(x\frac{\partial}{\partial y} - y\frac{\partial}{\partial x}\right)$

Velg ett alternativ:

- $-\hbar$
- $-2\hbar$
- $2\hbar$
- $\hbar$
- Null
- Uskarp

Maks poeng: 1

22 Hva er $\langle L_z \rangle$ for tilstanden $(1\,1)$?

Velg ett alternativ:

- $2\hbar$
- $-2\hbar$
- $\hbar$
- $-\hbar$
- Null
- Uskarp

Maks poeng: 1

23 Hva er L^2 for tilstanden $(1\,0)$?

Oppgitt:
$\hat{L}^2 = -\hbar^2 \frac{\partial^2}{\partial \phi^2}$

Velg ett alternativ:

- $4\hbar^2$
- Uskarp
- $3\hbar^2$
- $2\hbar^2$
- Null
- $\hbar^2$

Maks poeng: 1

24 I oppgavene 24 - 25 betrakter vi en todimensjonal anisotrop harmonisk oscillator,

$$V(r) = \frac{1}{2}m(\omega_x^2 x^2 + \omega_y^2 y^2)$$

med $\omega_x = \omega$ og $\omega_y = 3\omega$, og med energiegenfunksjoner

$$(n_x\, n_y) \equiv \psi_{n_x}(x)\, \psi_{n_y}(y) \qquad (n_x, n_y = 0, 1, 2, \ldots)$$

på produktform, med envariabelfunksjoner som i formelvedlegget.
Hva er (den romlige) degenerasjonsgraden for energinivået $9\hbar\omega$?

Velg ett alternativ:

- 2
- 4
- 5
- 6
- 1
- 3

Maks poeng: 1

25 For denne todimensjonale anisotrope harmoniske oscillatoren,

$$V(r) = \frac{1}{2}m(\omega_x^2 x^2 + \omega_y^2 y^2)$$

med $\omega_x = \omega$ og $\omega_y = 3\omega$, hva er energien i tilstanden $(n_x\, n_y) = (2\, 3)$?

Velg ett alternativ:

- $11\hbar\omega$
- $15\hbar\omega$
- $13\hbar\omega$
- $9\hbar\omega$
- $17\hbar\omega$
- $7\hbar\omega$

Maks poeng: 1

26 I oppgavene 26 - 27 betrakter vi en kubisk potensialboks med sidekanter L, og med koordinatsystem slik at potensialet er $V = 0$ for $0 < x < L \;\; , \;\; 0 < y < L \;\; , \;\; 0 < z < L$ og $V = \infty$ ellers. Energiegenfunksjonene er da

$$(n_x \, n_y \, n_z) \equiv \psi_{n_x}(x) \, \psi_{n_y}(y) \, \psi_{n_z}(z) \qquad\qquad (n_x, n_y, n_z = 1, 2, 3, \ldots)$$

dvs på produktform, med envariabelfunksjoner som i formelvedlegget. Dersom "terningen" er tilstrekkelig liten, kan vi ikke helt se bort fra at elektronenes kinetiske energi er kvantisert, i hvert fall ikke ved tilstrekkelig lave temperaturer. Dersom $L = 2.0\,\mathrm{nm}$, hva er kinetisk energi for et elektron (masse m_e) som befinner seg i tilstanden $(1\,2\,3)$?

Velg ett alternativ:

- 2.52 eV
- 9.42 eV
- 1.31 eV
- 3.36 eV
- 6.44 eV
- 4.67 eV

Maks poeng: 1

27 I denne oppgaven bruker vi potensialboksen som modell for valenselektronene i et metall. Anta en kubisk metallbit med $n = N/V = 8.5 \cdot 10^{28}$ frie elektroner pr kubikkmeter. Hva er energien til de mest energirike elektronene, den såkalte Fermienergien E_F ?
Du kan anta lav temperatur, og vi minner om Pauliprinsippet.

Oppgitt: I tre dimensjoner er tilstandstettheten for frie elektroner (dvs antall enpartikkeltilstander pr energienhet, inklusive spinndegenerasjonen $g_s = 2$) gitt ved uttrykket $\frac{\pi}{2}\left(\frac{2m_e}{\pi^2\hbar^2}\right)^{3/2} V\,\sqrt{E}$. Her er systemets volum $V = L^3$ tilstrekkelig stort til at energispekteret kan betraktes som kontinuerlig.

Velg ett alternativ:

- 4.58 eV
- 7.00 eV
- 5.23 eV
- 5.85 eV
- 6.44 eV
- 3.87 eV

Maks poeng: 1

28 I oppgavene 28 - 29 betrakter vi en tredimensjonal isotrop harmonisk oscillator,

$$V(r) = \frac{1}{2}m\omega^2 r^2 \qquad (r^2 = x^2 + y^2 + z^2)$$

med energiegenfunksjoner

$$(n_x\, n_y\, n_z) \equiv \psi_{n_x}(x)\,\psi_{n_y}(y)\,\psi_{n_z}(z) \qquad (n_x, n_y, n_z = 0, 1, 2, \ldots)$$

på produktform, med envariabelfunksjoner som i formelvedlegget, og med energiegenverdier

$$E_{n_x\, n_y\, n_z} = (n_x + n_y + n_z + 3/2)\hbar\omega$$

Det *effektive* potensialet er da

$$V_{\text{eff}}^{(l)}(r) = \frac{1}{2}m\omega^2 r^2 + \frac{l(l+1)\hbar^2}{2mr^2}$$

Dersom partikkelen har skarp dreieimpuls (kvadrert) lik $L^2 = 2\hbar^2$, hva er minimumsverdien til det effektive potensialet?

Velg ett alternativ:

- $2.45\,\hbar\omega$
- $1.41\,\hbar\omega$
- $3.46\,\hbar\omega$
- $4.47\,\hbar\omega$
- $5.48\,\hbar\omega$
- $6.48\,\hbar\omega$

Maks poeng: 1

29 Anta at partikkelen befinner seg i en stasjonær tilstand med energi $E = 21\hbar\omega/2$ og dreieimpuls (kvadrert) lik $L^2 = 20\hbar^2$. Hvor nært origo kan partikkelen komme, sett fra et klassisk synspunkt, og uttrykt i enheter av størrelsen $\sqrt{\hbar/m\omega}$? (Med andre ord: Hva er den indre klassiske venderadien?)

Velg ett alternativ:

- 1.216
- 1.000
- 1.128
- 1.516
- 1.058
- 1.335

Maks poeng: 1

30 Oppgavene 30 - 34 dreier seg om tilstander i hydrogenatomet,

$$\psi_{nlm}(r,\theta,\phi) = R_{nl}(r)Y_{lm}(\theta,\phi)$$

For et elektron i tilstanden med $n = 10$, $l = 8$, $m = 1$, hva er vinkelen mellom xy-planet og dreieimpulsvektoren $\boldsymbol{L}$?

Velg ett alternativ:

- $16°$
- $45°$
- $50°$
- $7°$
- $42°$
- $11°$

Maks poeng: 1

31 Hvor mange nullpunkter har radialfunksjonen $R_{nl}(r)$ dersom $n = 6$ og $l = 3$?
(Her teller vi *ikke* med "nullpunktet" i $r \to \infty$ eller et eventuelt nullpunkt i $r = 0$.)

Velg ett alternativ:

- 4
- 2
- 5
- 1
- 0
- 3

Maks poeng: 1

32 Hvor er nullpunktene til radialfunksjonen $R_{nl}(r)$ dersom $n = 5$ og $l = 2$?

Oppgitt:

$$R_{52} = \frac{84}{1875\sqrt{70}a_0^{3/2}}\left(1 - \frac{2r}{15a_0} + \frac{2r^2}{525a_0^2}\right)\left(\frac{r}{a_0}\right)^2 \exp(-r/5a_0)$$

Velg ett alternativ:

- $r \simeq 5.53a_0$ og $r \simeq 14.47a_0$
- $r \simeq 3.01a_0$ og $r \simeq 9.42a_0$
- $r \simeq 2.83a_0$ og $r \simeq 4.15a_0$
- $r \simeq 0.66a_0$ og $r \simeq 1.11a_0$
- $r \simeq 1.90a_0$ og $r \simeq 7.10a_0$
- $r \simeq 10.89a_0$ og $r \simeq 24.11a_0$

Maks poeng: 1

33 Hva er L_x i tilstanden $\frac{1}{\sqrt{2}}(\psi_{21-1} - \psi_{211})$?

Velg ett alternativ:

- $-2\hbar$
- 0
- $\hbar$
- Uskarp
- $2\hbar$
- $-\hbar$

Maks poeng: 1

34 Hva er L_x i tilstanden ψ_{65-2} ?

Velg ett alternativ:

- $-3\hbar$
- 0
- $3\hbar$
- $-2\hbar$
- Uskarp
- $2\hbar$

Maks poeng: 1

35 Oppgave 35 - 38: Spinn-1/2-partikkel.

En partikkel med spinn 1/2 befinner seg i spinntilstanden

$$\chi = A\begin{pmatrix} 2-3i \\ 4+5i \end{pmatrix}$$

Dersom normeringskonstanten A velges som et positivt reelt tall, hva er dens verdi?

Velg ett alternativ

- $1/\sqrt{45}$
- $1/\sqrt{63}$
- $1/\sqrt{39}$
- $1/\sqrt{54}$
- $1/\sqrt{31}$
- $1/\sqrt{70}$

Maks poeng: 1

36 En partikkel med spinn 1/2 befinner seg i den normerte spinntilstanden

$$\chi = \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix} -i \\ 1 \end{pmatrix}$$

Hva er S_y for denne partikkelen?

Velg ett alternativ

- $\hbar$
- Null
- $\hbar/2$
- $-\hbar/2$
- $-\hbar$
- Uskarp

Maks poeng: 1

37 En partikkel med spinn 1/2 befinner seg i den normerte spinntilstanden

$$\chi = \frac{1}{\sqrt{30}} \begin{pmatrix} 3i+1 \\ 4i-2 \end{pmatrix}$$

Hva er $\langle S_x \rangle$ for denne partikkelen?

Velg ett alternativ

- $\hbar$
- $-\hbar/3$
- $\hbar/3$
- $\hbar/6$
- $-\hbar/6$
- $-\hbar$

Maks poeng: 1

38 En partikkel med spinn 1/2 befinner seg i den (unormerte) spinntilstanden

$$\chi = \begin{pmatrix} 4-2i \\ i+7 \end{pmatrix}$$

Hva er sannsynligheten for å måle $S_z = +\hbar/2$ for denne partikkelen?

Velg ett alternativ

- 0.333
- 0.540
- 0.241
- 0.286
- 0.161
- 0.111

Maks poeng: 1

39 Hva er kommutatoren $\left[\hat{p}_x^3, \hat{p}_y\right]$?

Velg ett alternativ:

- Null
- $\hat{p}_z^3$
- $\hat{p}_z^2$
- $\hbar^4$
- $-\hat{p}_z^4$
- $-\hat{p}_z$

Maks poeng: 1

40 Hva er kommutatoren $\left[\hat{L}_y, z^2\right]$?

Velg ett alternativ:

- $2i\hbar xz$
- $i\hbar x$
- $i\hbar y$
- $i\hbar z$
- $2i\hbar xy$
- $2i\hbar yz$

Maks poeng: 1