

i Institutt for fysikk

Eksamensoppgave i TFY4215 Innføring i kvantefysikk

Eksamensdato: 18. august 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 for en gass med C_2H_6 - molekyler ved romtemperatur (300 K)? Atomære masser for C og H er hhv omtrent 12u og 1u.

Velg ett alternativ

- 19.1 pm
- 15.7 pm
- 17.1 pm
- 21.9 pm
- 36.6 pm
- 26.5 pm

Maks poeng: 1

- 2 Frigjøringsarbeidet i As er 3.75 eV. Hva slags bølgelengder har fotoner som kan gi fotoelektrisk effekt i dette metallet?

Velg ett alternativ

- $\lambda < 387 \text{ nm}$
- $\lambda < 262 \text{ nm}$
- $\lambda < 458 \text{ nm}$
- $\lambda < 330 \text{ nm}$
- $\lambda < 302 \text{ nm}$
- $\lambda < 547 \text{ nm}$

Maks poeng: 1

- 3 $5.5 \cdot 10^{11}$ røntgenfotoner fra en In-anode, per sekund, med en midlere bølgelengde 51.2 pm, faller normalt inn mot en flate på 1.0 cm^2 . Hva er intensiteten, i enheten W/m^2 ?

Velg ett alternativ

- 9.2
- 1.4
- 21.3
- 62.5
- 3.2
- 15.6

Maks poeng: 1

- 4 Atomære enheter oppnås ved å sette tallverdien av m_e (elektronmassen), e (elementærladningen), \hbar (den reduserte Plancks konstant) og $4\pi\epsilon_0$ (den inverse coulombkonstanten) lik 1. Det innebærer at størrelsen $\hbar/a_0 \simeq 1.99 \cdot 10^{-24} \text{ kg m/s}$ tilsvarer 1 atomær enhet for impuls. Hva er da impulsen, angitt i atomær enhet, til fotoner med bølgelengde 400 nm?

Velg ett alternativ:

- $6.0 \cdot 10^{-4}$
- $5.1 \cdot 10^{-4}$
- $5.5 \cdot 10^{-4}$
- $6.6 \cdot 10^{-4}$
- $8.3 \cdot 10^{-4}$
- $7.4 \cdot 10^{-4}$

Maks poeng: 1

5 Hva er bølgelengden til metanmolekyler med masse 16u og hastighet 16 m/s?

Velg ett alternativ:

- 0.44 nm
- 54 pm
- 77 pm
- 0.12 nm
- 1.6 nm
- 0.21 nm

Maks poeng: 1

6 En relativistisk partikkel har masse $80.4 \text{ MeV}/c^2$ og kinetisk energi lik 4 ganger partikkelens hvileenergi mc^2 . Hva er da partikkelens impuls, i enheten GeV/c ?

Velg ett alternativ:

- 0.394
- 0.300
- 0.866
- 3.63
- 0.540
- 1.63

Maks poeng: 1

- 7 I atomære enheter er tallverdien av Bohrradien a_0 lik 1. Hva er da, i atomære enheter, baneradien i 1. eksiterte tilstand i O^{7+} i henhold til Bohrs atommodell?

Velg ett alternativ:

- 2.25
- 1.13
- 1.50
- 0.67
- 1.00
- 0.50

Maks poeng: 1

- 8 I atomære enheter, med $\hbar = e = a_0 = m_e = 1$, gir Bohrs atommodell en banefart lik 1 for elektronet i hydrogenatomets grunntilstand. Hva gir Bohrmodellen da for banefarten til elektronet i 1. eksiterte tilstand i F^{8+} , målt i atomære enheter?

Velg ett alternativ:

- 2.33
- 4.50
- 2.00
- 5.00
- 4.00
- 1.67

Maks poeng: 1

- 9 Et elektron (masse m_e) befinner seg i en endimensjonal uendelig dyp potensialbrønn som er plassert på intervallet $0 < x < L$, med bredde $L = 3.0$ nm og konstant potensial $V = 0$. Anta at elektronet foretar en overgang fra 2. eksiterte tilstand til grunntilstanden slik at det sendes ut et foton. Hva er omtrent fotonets bølgelengde, i enheten mikrometer?

Velg ett alternativ:

- 6.6
- 34
- 3.7
- 1.7
- 27
- 20

Maks poeng: 1

- 10 Et elektron (masse m_e) befinner seg i en endimensjonal uendelig dyp potensialbrønn som er plassert på intervallet $0 < x < L$, med bredde $L = 5.00$ nm og konstant potensial $V = 0$. Anta at elektronet beskrives av den ikke-stasjonære tilstanden

$$\Psi(x, t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \psi_2(x) e^{-iE_2t/\hbar} + \frac{1}{\sqrt{2}} \psi_3(x) e^{-iE_3t/\hbar}.$$

Med hvilken frekvens, målt i enheten THz, oscillerer nå sannsynlighetstettheten

$$|\Psi(x, t)|^2 ?$$

(1 THz = 10^{12} Hz)

Velg ett alternativ:

- 9.2
- 7.1
- 12.6
- 5.6
- 18.1
- 28.3

Maks poeng: 1

- 11 Et elektron (masse m_e) befinner seg i en endimensjonal uendelig dyp potensialbrønn på intervallet $0 < x < L$, med konstant potensial $V = 0$. Anta at elektronet befinner seg i 2. eksiterte tilstand $\psi_3(x) = \sqrt{2/L} \sin(3\pi x/L)$. Hva er sannsynligheten for at en måling av elektronets posisjon gir en verdi mellom 0 og $4L/5$?

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

Velg ett alternativ:

- 0.6505
- 0.3495
- 0.8261
- 0.7281
- 0.5963
- 0.7688

Maks poeng: 1

- 12 Et elektron (masse m_e) befinner seg i en endimensjonal uendelig dyp potensialbrønn på intervallet $0 < x < L$, med konstant potensial $V = 0$. Anta at elektronet ved tidspunktet $t = 0$ befinner seg i den normerte tilstanden

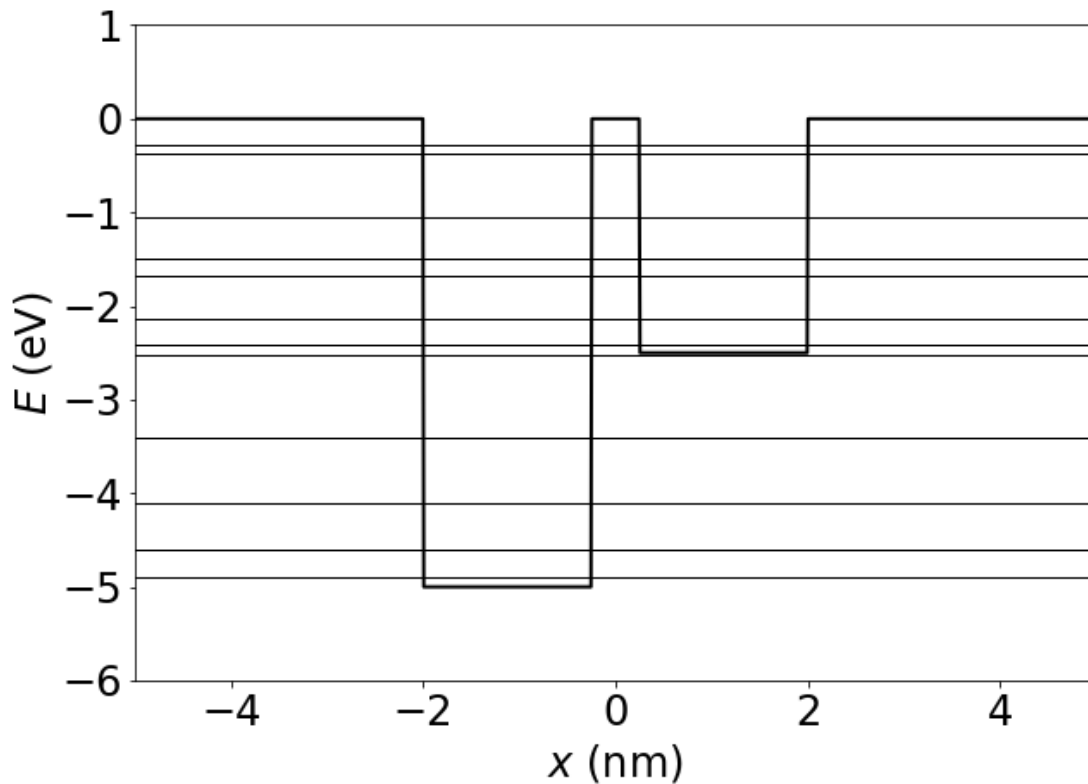
$$\Psi(x, 0) = \frac{1}{4} \psi_1(x) + \frac{1}{4} \psi_3(x) + \frac{1}{4} \psi_5(x) + c_7 \psi_7(x).$$

Hva er da sannsynligheten for at en måling av elektronets energi gir verdien E_7 ?

Velg ett alternativ:

- 0.9167
- 0.8125
- 0.9388
- 0.6667
- 0.8800
- 0.9531

Maks poeng: 1



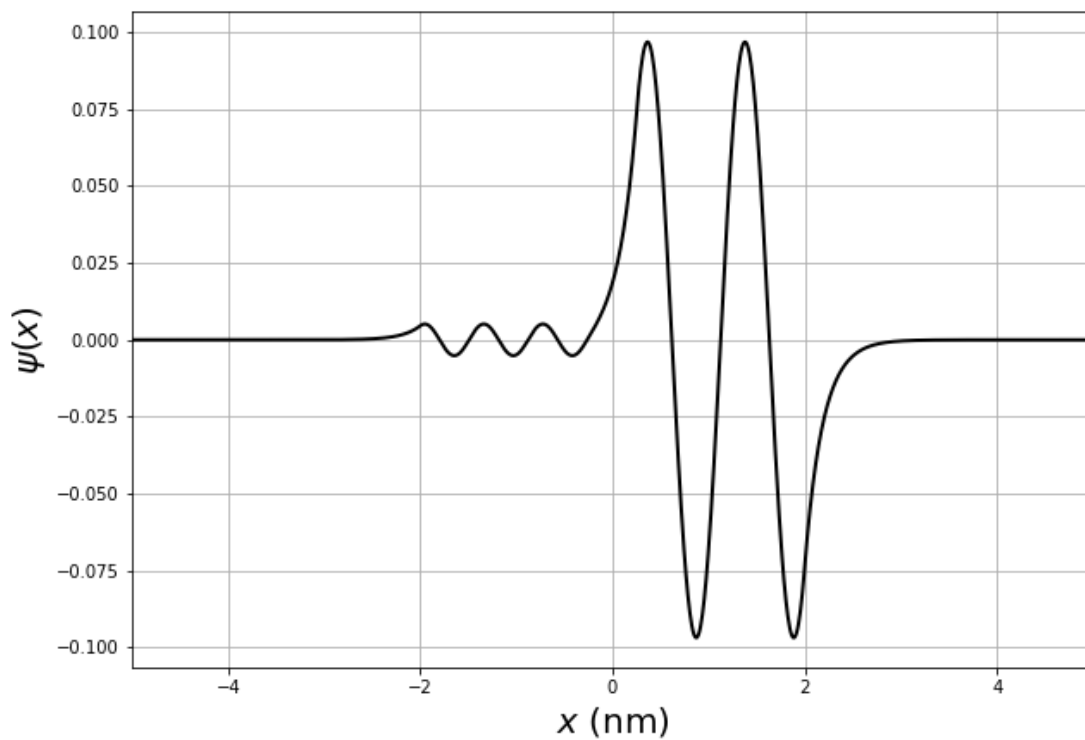
Et elektron befinner seg i det asymmetriske dobbelbrønnpotensialet illustrert i figuren over. Brønn dybdene er hhv 5.00 eV (til venstre) og 2.50 eV (til høyre), og hver brønn har bredde 1.75 nm. Barrieren mellom de to brønnene har bredde 0.50 nm. Nullpunkt for potensialet er valgt mellom og på hver side av de to brønnene.

I figuren er energien til systemets i alt 12 bundne (romlige) tilstander markert med horisontale linjer. Hva er omtrent energiegenverdien til 9. eksiterte (romlige) tilstand?

Velg ett alternativ:

- 2.41 eV
- 4.60 eV
- 3.41 eV
- 0.29 eV
- 1.05 eV
- 1.67 eV

Maks poeng: 1

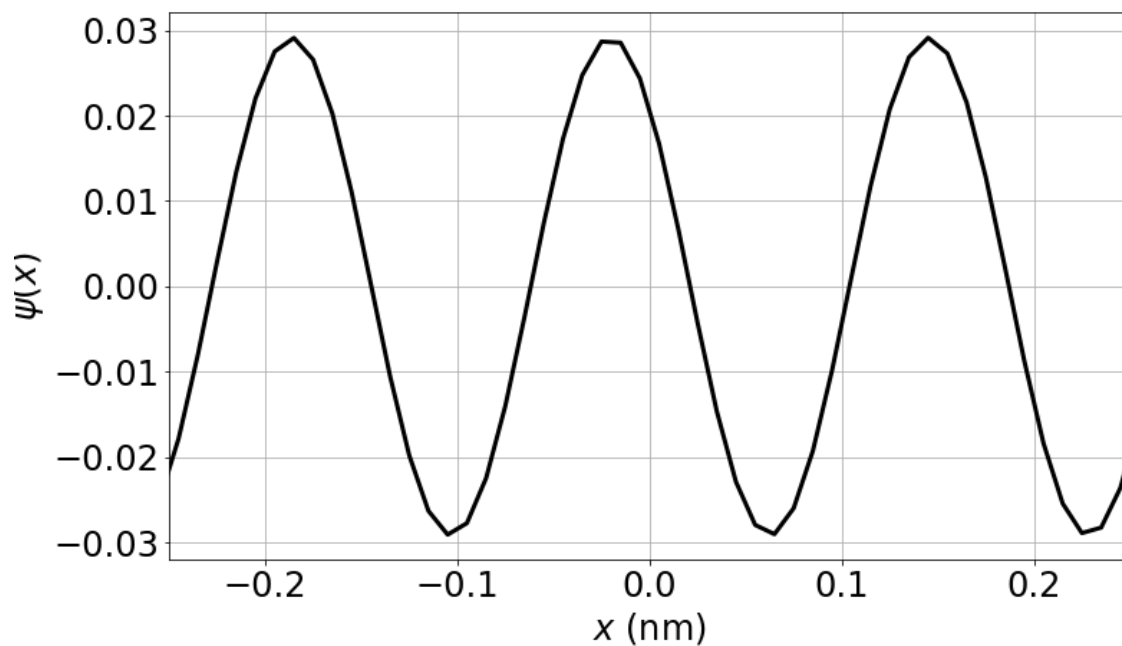


Figuren over viser en av de bundne energieigenstandene for dobbelbrønnen i forrige oppgave. Hva er tilhørende energieigenverdi?

Velg ett alternativ:

- 3.41 eV
- 1.67 eV
- 2.41 eV
- 1.05 eV
- 0.29 eV
- 4.60 eV

Maks poeng: 1

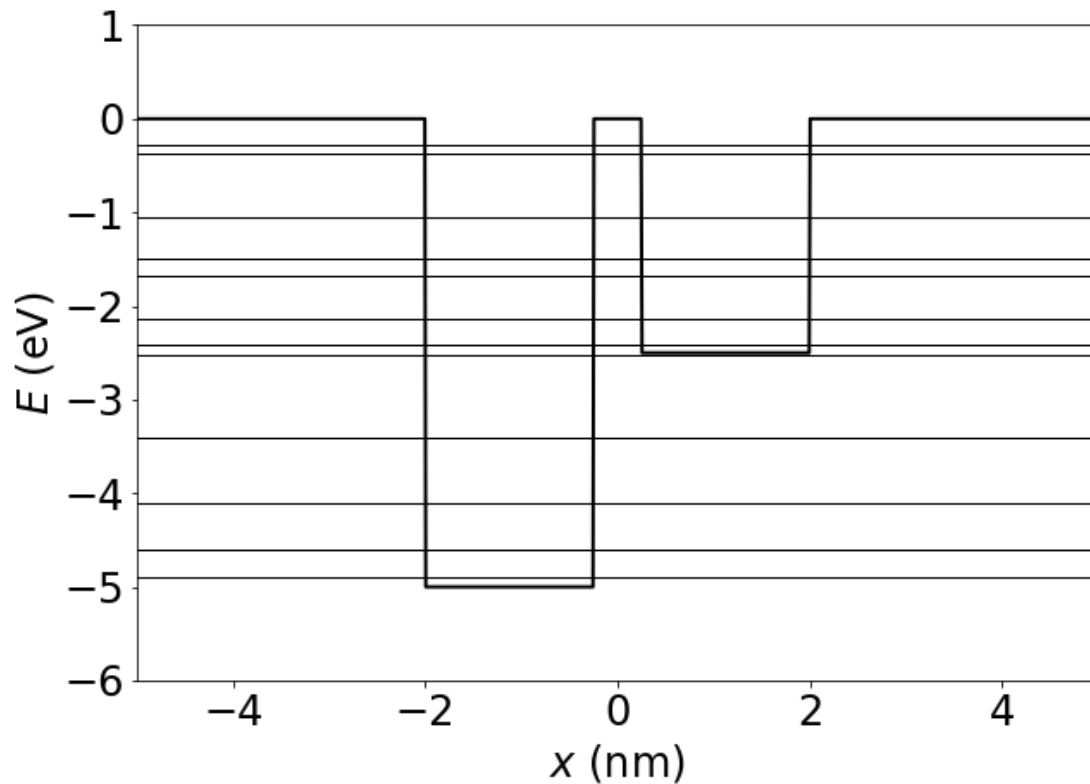


Figuren over viser en av de ubundne energiegentilstandene for dobbelbrønnen i oppgave 13, på det 0.5 nm brede intervallet der barrieren mellom brønnene befinner seg. Figuren kan brukes til å estimere tilhørende energiegenverdi. Ditt estimat er nærmest verdien ...

Velg ett alternativ:

- 84 eV
- 54 eV
- 114 eV
- 24 eV
- 174 eV
- 144 eV

Maks poeng: 1

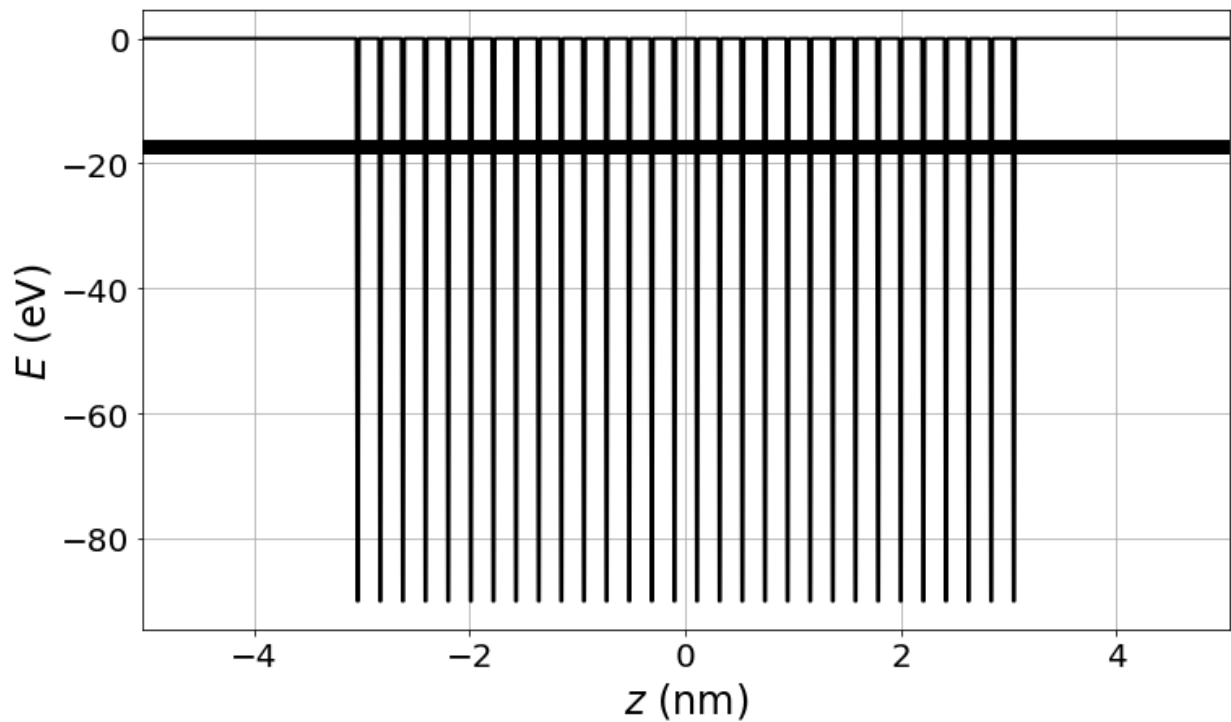


Dobbelbrønnen i oppgave 13 (figur fra oppgave 13 gjentas her) benyttes som en forenklet endimensjonal modell for molekylet HF (hydrogenfluorid, atomnumre hhv 1 og 9). Anta at elektronene ikke vekselvirker med hverandre, men at de er partikler med spinn $1/2$ som adlyder Paulis eksklusjonsprinsipp. Hva er omtrent dette molekylets totale energi (dvs: summen av alle elektronenes energi) i grunntilstanden?

Velg ett alternativ:

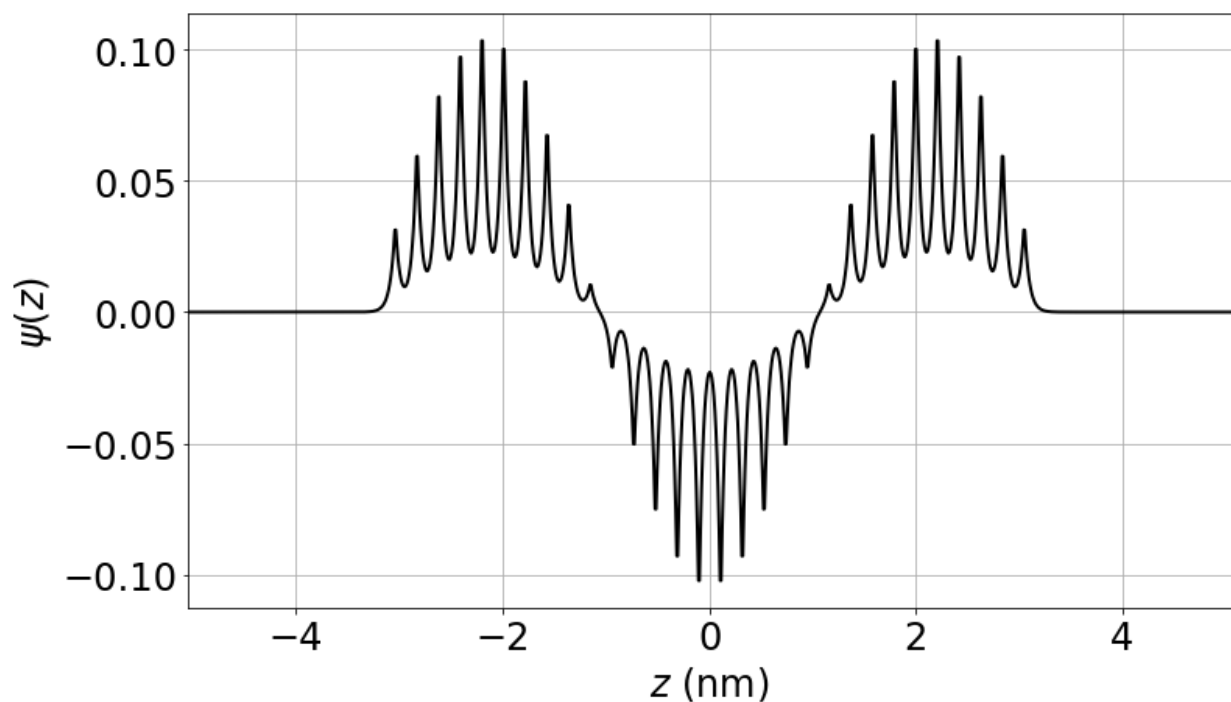
- 49 eV
- 39 eV
- 69 eV
- 89 eV
- 59 eV
- 79 eV

Maks poeng: 1



Som modell for en krystall bruker vi potensialet i figuren ovenfor. Det består av 30 potensialbrønner, hver med bredde 0.020 nm og potensial lik -90 eV, adskilt av potensialbarrierer, hver med bredde 0.190 nm og potensial 0 eV. På høyre og venstre side er potensialet konstant med verdi 0 eV. Den tykke horisontale linjen angir energieigenverdiene til de 30 bundne (romlige) tilstandene for elektroner i dette potensialet. Energinivåene ligger så tett at de danner et kvasikontinuerlig energibånd (mellom -18.03 eV og -16.44 eV).

Figuren nedenfor viser en av disse bundne tilstandene:

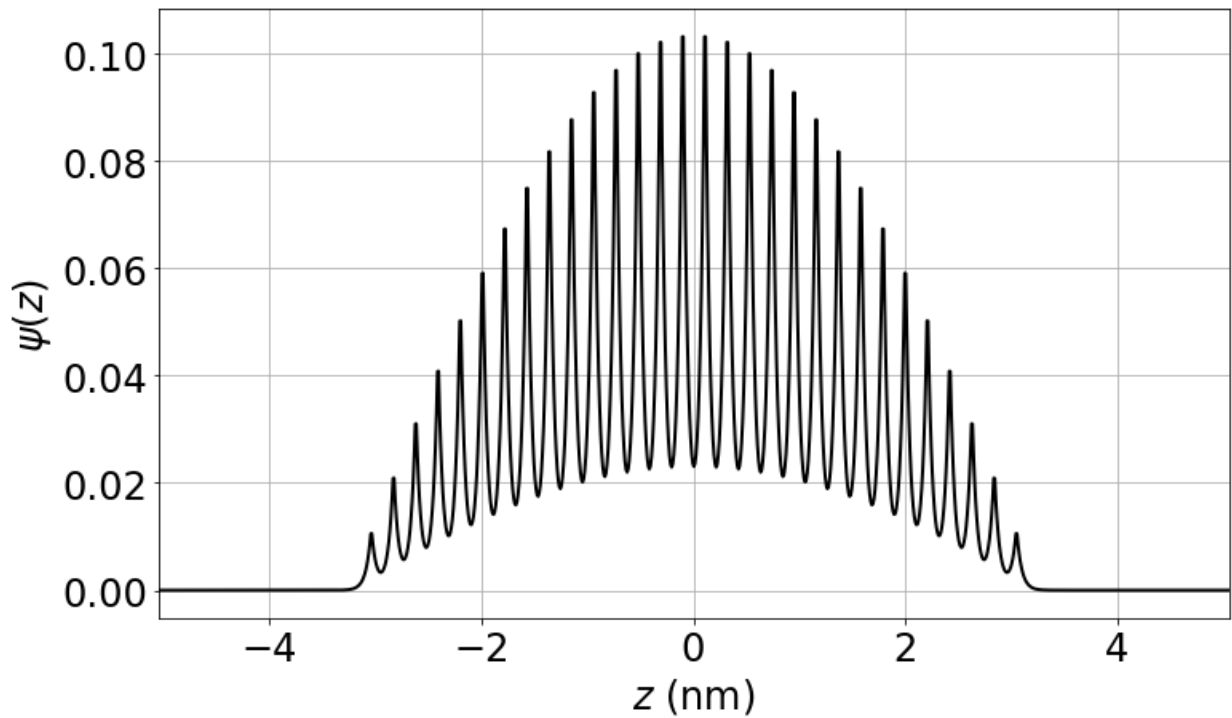


Hvilken tilstand er dette?

Velg ett alternativ:

- 3. eksiterte tilstand
- 30. eksiterte tilstand
- 29. eksiterte tilstand
- Grunntilstanden
- 2. eksiterte tilstand
- 1. eksiterte tilstand

Maks poeng: 1



Bølgefunksjonene i det periodiske potensialet i forrige oppgave kan, på intervallet $-3.14 \text{ nm} < z < 3.14 \text{ nm}$ med god tilnærming, skrives på formen

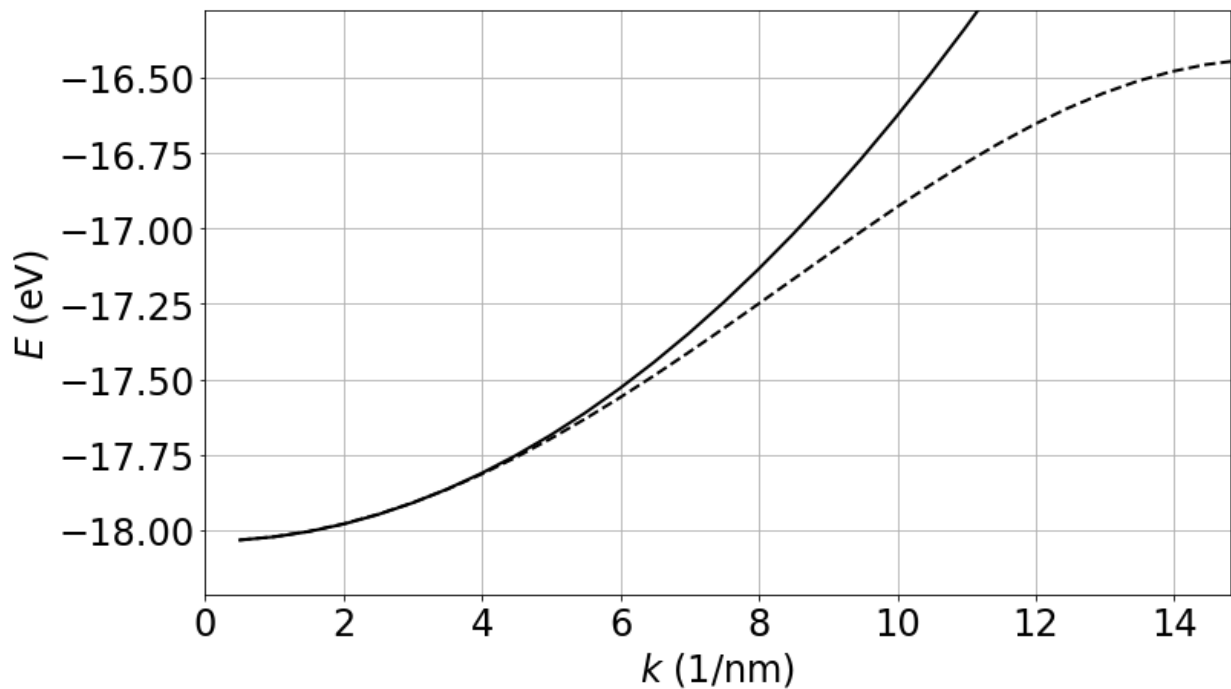
$$\psi(z) = u(z) \sin kz \quad \text{eller} \quad \psi(z) = u(z) \cos kz$$

der funksjonen $u(z)$ har samme periodisitet som "krystallen". (Dette er Blochs teorem.) Hva er, i enheten nm^{-1} , omtrent verdien av størrelsen k for bølgefunksjonen i figuren ovenfor?

Velg ett alternativ:

- 12.6
- 1.57
- 1.00
- 3.14
- 0.50
- 6.28

Maks poeng: 1



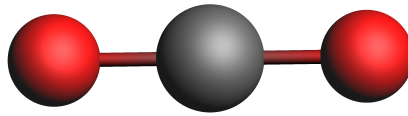
Størrelsen k i forrige oppgave er bølgetallet til elektronene i det periodiske potensialet. Den stiplede linjen i figuren ovenfor angir sammenhengen mellom energien E og bølgetallet k for de 30 bundne tilstandene. (Dvs: Den stiplede linjen interpolerer mellom de 30 sammenhørende verdiene av E og k .) Den heltrukne linjen er en kvadratisk tilnærming på formen

$$E(k) = E(0) + \frac{\hbar^2 k^2}{2m^*}$$

med $E(0) = -18.036$ eV. Vi ser at den kvadratiske tilnærmingen er meget god for små verdier av k . Med andre ord, elektroner med energi like over bunnen av energibåndet oppfører seg som frie elektroner, med en effektiv masse m^* som ikke nødvendigvis er lik elektronets "egentlige" masse m_e . Hva er elektronenes effektive masse her?

Velg ett alternativ:

- 2.68 m_e
- 3.68 m_e
- 1.68 m_e
- 6.68 m_e
- 4.68 m_e
- 5.68 m_e



I oppgavene 20 - 22 betrakter vi molekylet CO_2 . I den ene av vibrasjonsmodene i CO_2 står karbonatomet (grå, i midten) i ro mens de to oksygenatomene (røde, på hver sin side av karbonatomet) svinger fram og tilbake (langs molekylets akse) omkring hver sin likevektsposisjon, slik at molekylets massesenter til enhver tid står i ro. Det er med andre ord snakk om en vekselvis forlengelse og sammenpressing av de to C-O-bindingene, en såkalt symmetrisk strekk. Vibrasjonsfrekvensen er i en nøyaktig kvantemekanisk beregning funnet å være 38.76 THz. Et oksygenatom har masse 16u. Dersom vi beskriver denne vibrasjonsbevegelsen som en enkel harmonisk oscillator, hva er fjærkonstanten, angitt i enheten N/m?

Velg ett alternativ:

- 2595
- 1065
- 3105
- 1575
- 3615
- 2085

Maks poeng: 1

21 I en gass med CO_2 -molekyler er sannsynligheten for at et gitt molekyl har vibrasjonsenergi $E_n = (n + 1/2)\hbar\omega$ proporsjonal med boltzmannfaktoren $\exp(-E_n/k_B T)$. Her er k_B Boltzmanns konstant, og T er gassens (absolutte) temperatur. La N_0 og N_1 angi antall molekyler som befinner seg i henholdsvis grunntilstanden og 1. eksiterte vibrasjonstilstand, med hensyn på den symmetriske strekkbevegelsen diskutert i forrige oppgave. Hvor stort er forholdet N_1/N_0 i en CO_2 - gass ved 250 K?

Velg ett alternativ:

- 0.0006
- 0.006
- 0.000006
- 0.00006
- 0.6
- 0.06

Maks poeng: 1

22 Anta at CO_2 kan betraktes som en stiv rotator, med C-O bindingslengde 117.7 pm. I en gass med slike molekyler er sannsynligheten for at et gitt molekyl har rotasjonsenergi $K_l = l(l + 1)\hbar^2/2I_0$ proporsjonal med boltzmannfaktoren $\exp(-K_l/k_B T)$. Her er I_0 molekylets treghetsmoment, og $l = 0, 1, 2, \dots$ er dreieimpulskvantetallet. La N_0 og N_1 angi antall molekyler som befinner seg i henholdsvis grunntilstanden og 1. eksiterte rotasjonstilstand. Ved hvilken temperatur T er forholdet $N_1/N_0 = 1/2$ i en gass med slike molekyler?

Velg ett alternativ:

- 157 mK
- 1.57 K
- 1.57 mK
- 157 K
- 15.7 mK
- 15.7 K

Maks poeng: 1

23 I oppgavene 23 - 25 betrakter vi en tredimensjonal harmonisk oscillator,

$$V(r) = \frac{1}{2}m\omega^2(x^2 + 4y^2 + 9z^2)$$

med energieigenfunksjoner

$$\psi_{n_x n_y n_z}(x, y, z) = \psi_{n_x}(x) \psi_{n_y}(y) \psi_{n_z}(z) \quad (n_x, n_y, n_z = 0, 1, 2, \dots)$$

på produktform, med envariabelfunksjoner som i formelvedlegget.

Hva er (den romlige) degenerasjonsgraden til energinivået $7\hbar\omega$?

Velg ett alternativ:

- 5
- 2
- 7
- 3
- 4
- 6

Maks poeng: 1

24 Hva er energien i tilstanden ψ_{123} ?

Velg ett alternativ:

- $17\hbar\omega$
- $11\hbar\omega$
- $5\hbar\omega$
- $14\hbar\omega$
- $8\hbar\omega$
- $20\hbar\omega$

Maks poeng: 1

25 Hva er pariteten til tilstanden $\psi_{n_x n_y n_z}$?

Velg ett alternativ:

- $(-1)^{n_x+n_y+n_z}$
- $+1$
- $(-1)^{n_x+2n_y+3n_z}$
- $\sqrt{n_x^2 + n_y^2 + n_z^2}$
- $\sqrt{n_x^2 + 4n_y^2 + 9n_z^2}$
- -1

Maks poeng: 1

26 Et endimensjonalt potensial $V(x)$ er konstant lik $V_0 > 0$ på et intervall $-a < x < 0$ og konstant lik 0 på et intervall $0 < x < a$. En energiegentilstand med energi $0 < E < V_0$ kan da, for en partikkel med masse m , uttrykkes på formen $\psi(x) = A \exp(\kappa x) + B \exp(-\kappa x)$ på $-a < x < 0$ og $\psi(x) = C \exp(ikx) + D \exp(-ikx)$ på $0 < x < a$. Hva er riktig uttrykk for størrelsen κ ?

Velg ett alternativ:

- \hbar/V_0
- $(V_0 - E)/\hbar$
- $\sqrt{2m(V_0 - E)/\hbar^2}$
- $\sqrt{2mV_0/\hbar^2}$
- $\sqrt{2mE/\hbar^2}$
- $\sqrt{\hbar/2m(V_0 - E)}$

Maks poeng: 1

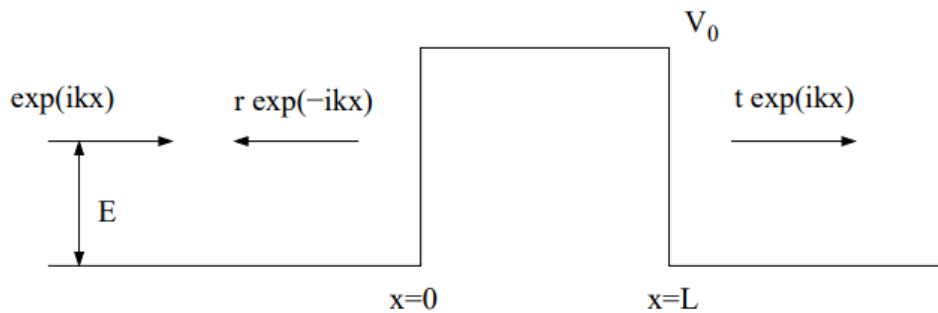
- 27 Et endimensjonalt potensial $V(x)$ er konstant lik $V_0 > 0$ på et intervall $-a < x < 0$ og konstant lik 0 på et intervall $0 < x < a$. En energiegentilstand med energi $0 < E < V_0$ kan da, for en partikkel med masse m , uttrykkes på formen $\psi(x) = A \exp(\kappa x) + B \exp(-\kappa x)$ på $-a < x < 0$ og $\psi(x) = C \exp(ikx) + D \exp(-ikx)$ på $0 < x < a$. Hva er riktig uttrykk for størrelsen k ?

Velg ett alternativ:

- $\sqrt{2mE/\hbar^2}$
- $\sqrt{2mV_0/\hbar^2}$
- \hbar/V_0
- $(V_0 - E)/\hbar$
- $\sqrt{2m(V_0 - E)/\hbar^2}$
- $\sqrt{\hbar/2m(V_0 - E)}$

Maks poeng: 1

28 Oppgavene 28 - 30 dreier seg om endimensjonal elastisk spredning av elektroner mot en potensialbarriere:



Innledning:

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 $E \leq V_0$ er

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

og for $E \geq V_0$

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

Her er $k_0 = \sqrt{2m^*V_0}/\hbar$.

Opplysninger gitt så langt gjelder for oppgavene 28 og 29.

Anta følgende parameterverdier i denne og i neste oppgave:

$$V_0 = 250 \text{ meV}, \quad L = 3.20 \text{ nm}, \quad m^* = 0.33 m_e$$

Hva er transmisjonssannsynligheten for et innkommende elektron som har energi $E = 4V_0/5$?

Velg ett alternativ:

- 0.067
- 0.027
- 0.047
- 0.077
- 0.037
- 0.057

Maks poeng: 1

29 Med samme parameterverdier som i forrige oppgave, hva er minste energi E som gir transmisjonssannsynlighet $T = 1$?

Velg ett alternativ:

- 460 meV
- 760 meV
- 260 meV
- 560 meV
- 660 meV
- 360 meV

Maks poeng: 1

30 Anta i *denne* oppgaven følgende parameterverdier:

$$V_0 \rightarrow \infty, \quad L \rightarrow 0, \quad m^* = 0.33 m_e$$

Anta at deltafunksjonsbarrieren har "styrke" $\beta = V_0 L = 3.3$ i enheten eV · nm.

Hva er da transmisjonssannsynligheten når elektronets energi er $E = 3.3$ eV ?

Velg ett alternativ:

- 0.12
- 0.45
- 0.56
- 0.34
- 0.67
- 0.23

Maks poeng: 1

31 Oppgavene 31 - 35 dreier seg om tilstander i hydrogenatomet,

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

For et elektron i tilstanden ψ_{651} , hva er vinkelen mellom xy -planet og dreieimpulsvektoren \mathbf{L} ?

Velg ett alternativ:

- 11°
- 41°
- 51°
- 31°
- 61°
- 21°

Maks poeng: 1

32 Radialfunksjonen for $6h$ - tilstander er på formen

$$R_{65}(r) \sim r^5 \exp(-r/6a_0).$$

I hvilken avstand fra atomkjernen (origo) er radialtettheten $(rR_{65})^2$ størst?

Velg ett alternativ:

- $16a_0$
- $12a_0$
- $25a_0$
- $30a_0$
- $11a_0$
- $36a_0$

Maks poeng: 1

33 Hvor ligger "tyngdepunktet" $\langle \mathbf{r} \rangle$ for tilstanden

$$\frac{1}{5} \left(\sqrt{5}\psi_{200} + \sqrt{10}i\psi_{300} + \sqrt{10}\psi_{500} \right) ?$$

Velg ett alternativ:

- I origo
- På z-aksen
- På y-aksen
- På x-aksen
- På linjen $y=z$ i yz -planet
- På linjen $x=z$ i xz -planet

Maks poeng: 1

- 34 De sfæriske harmoniske $Y_{lm}(\theta, \phi)$ kan alternativt uttrykkes ved hjelp av kartesiske koordinater. Bortsett fra en normeringskonstant, hvordan uttrykkes $Y_{30} \sim 5 \cos^3 \theta - 3 \cos \theta$ i kartesiske koordinater?

Velg ett alternativ:

- $\frac{(x+iy)^3}{r^3}$
- $\frac{(x+y+z)^3}{r^3}$
- $\frac{(x+iy)z^2}{r^3}$
- $\frac{x^2y+y^2z+xz^2}{r^3}$
- $\frac{z(5z^2-3r^2)}{r^3}$
- $\frac{x^3+y^3+z^3}{r^3}$

Maks poeng: 1

- 35 Et elektron i tilstanden ψ_{651} gjennomgår en overgang til tilstanden ψ_{541} i et hydrogenatom. Hva er bølgelengden til det emitterte fotonet?

Velg ett alternativ:

- 6553 nm
- 3886 nm
- 4775 nm
- 5664 nm
- 2997 nm
- 7442 nm

Maks poeng: 1

36 Oppgave 36 - 38: Spinn-1/2-partikkel.

En partikkel med spinn 1/2 befinner seg i spinntilstanden

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

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

Velg ett alternativ

- $1/\sqrt{78}$
- $1/\sqrt{38}$
- $1/\sqrt{58}$
- $1/\sqrt{68}$
- $1/\sqrt{88}$
- $1/\sqrt{48}$

Maks poeng: 1

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

$$\chi = \frac{1}{\sqrt{30}} \begin{pmatrix} 2i \\ 1 - 5i \end{pmatrix}$$

Hva er $\langle S_z \rangle$?

Velg ett alternativ

- $11\hbar/30$
- $7\hbar/15$
- $-\hbar/15$
- $\hbar/15$
- $-11\hbar/30$
- $-7\hbar/15$

Maks poeng: 1

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

$$\chi = \frac{1}{\sqrt{33}} \begin{pmatrix} 4i \\ 1 - 4i \end{pmatrix}$$

Hva er ΔS_x ?

Velg ett alternativ

- 0.395 \hbar
- 0.122 \hbar
- 0.575 \hbar
- 0.665 \hbar
- 0.445 \hbar
- 0.285 \hbar

Maks poeng: 1

39 Hva er kommutatoren $[\hat{L}_x, \hat{p}_x]$?

Velg ett alternativ:

- $i\hbar$
- $i\hbar\hat{p}_z$
- $-i\hbar\hat{p}_y$
- $-i\hbar y$
- Null
- $i\hbar x$

Maks poeng: 1

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

Velg ett alternativ:

- $2\hbar x/i$
- $i\hbar$
- $i\hbar x^2$
- Null
- $2x/i\hbar$
- $i\hbar x$

Maks poeng: 1