Eksamen i: FYS2140 Kvantefysikk
Dato: 7. juni 2023

Konstanter (som eventuelt kan være nyttige):
$m = 0.511\,\mathrm{MeV/c^2}$ er elektronets masse
$c = 2.998 \times 10^8\,\mathrm{m/s}$ er lyshastigheten
$e = 1.602 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}$ er elektronets ladning
$\hbar = h/2\pi$, der $h = 6.626 \times 10^{-34}$ Js er Plancks konstant
$k_e = 1/4\pi\varepsilon_0 = 8.988 \times 10^9$ Jm/C^2 er Coulombs konstant
$a_0 = \hbar^2/mk_e e^2 \approx 0.053\,\mathrm{nm}$ er Bohr-radius

Formler (som eventuelt kan være nyttige):
$\int_a^b u\,v'\,dx = u\,v|_a^b - \int_a^b u'\,v\,dx$

$\int_0^\infty x^n e^{-\beta x}\,dx = \frac{n!}{\beta^{n+1}}$ for $n = 0, 1, 2, ...$ og $Re(\beta) > 0$
$\int_{-\infty}^\infty e^{-\beta x^2}\,dx = \sqrt{\frac{\pi}{\beta}}, \quad Re(\beta) > 0$
$\int_{-\infty}^\infty x^2\,e^{-\beta x^2}\,dx = \frac{1}{2\beta}\sqrt{\frac{\pi}{\beta}}, \quad Re(\beta) > 0$

$\int \sin(\beta x)\,dx = \frac{-1}{\beta}\cos(\beta x) \quad + konst.$
$\int \cos(\beta x)\,dx = \frac{+1}{\beta}\sin(\beta x) \quad + konst.$

$\int \sin^2(\beta x)\,dx = \frac{x}{2} - \frac{1}{4\beta}\sin(2\beta x) \quad + konst.$
$\int \cos^2(\beta x)\,dx = \frac{x}{2} + \frac{1}{4\beta}\sin(2\beta x) \quad + konst.$

$\int \sin^3(\beta x)\,dx = \frac{1}{12\beta}(\cos(3\beta x) - 9\cos(\beta x)) \quad + konst.$
$\int \cos^3(\beta x)\,dx = \frac{1}{12\beta}\sin(\beta x)(2\cos(2\beta x) + 10) \quad + konst.$

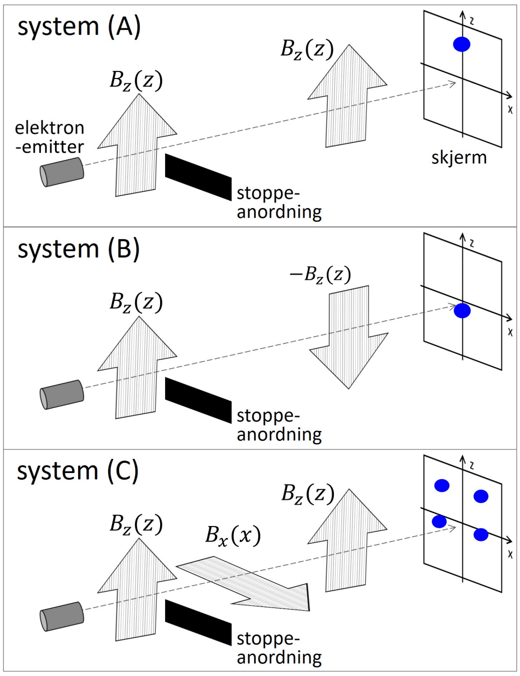
$\int e^{\alpha x}\sin(\beta x)\,dx = \frac{e^{\alpha x}}{\alpha^2+\beta^2}(\alpha\sin(\beta x) - \beta\cos(\beta x)) \quad + konst.$
$\int e^{\alpha x}\cos(\beta x)\,dx = \frac{e^{\alpha x}}{\alpha^2+\beta^2}(\alpha\cos(\beta x) + \beta\sin(\beta x)) \quad + konst.$

$\int_{-\infty}^\infty \; e^{-(\alpha x^2+2\beta x+\gamma)}\,dx = \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}}\,e^{(\beta^2-\alpha\gamma)/\alpha}, \quad \alpha > 0$
$\int_{-\infty}^\infty x\; e^{-(\alpha x^2+2\beta x+\gamma)}\,dx = \frac{-\beta}{\alpha}\sqrt{\frac{\pi}{\alpha}}\,e^{(\beta^2-\alpha\gamma)/\alpha}, \quad \alpha > 0$
$\int_{-\infty}^\infty x^2\,e^{-(\alpha x^2+2\beta x+\gamma)}\,dx = \frac{\alpha+2\beta^2}{2\alpha^2}\sqrt{\frac{\pi}{\alpha}}\,e^{(\beta^2-\alpha\gamma)/\alpha}, \quad \alpha > 0$

Oppgave 1 Stern-Gerlach-eksperimentet

a) Hvilken kvantefysisk egenskap ble oppdaget gjennom Stern-Gerlach-eksperimentet? Beskriv kort eksperimentet og resultatet som påviste egenskapen.
Svar: Spinn. Sølvatomer (senere hydrogenatomer) ble sendt gjennom et inhomogent magnetfelt. Atomet har et løst bundet ytre elektron som er i en grunntilstanden slik en s-orbital med angulærmomentet $l = 0$ og magnetisk kvantetall $m_l = 0$. Siden en magnetisk dipol påvirkes av en kraft i et inhomogent magnetfelt, regnet man derfor med å observere en forskjellig grad av avbøyning, avhengig av verdien på m_l, når man sendte atomene gjennom et slikt felt. For s-orbital med kvantetall $m_l = 0$ forventet men ikke noe avbøyning, og bare en linje på detektoren. Hvis det ytre elektronet var i en eksiterte p-orbital ville man forventet tre linjer (for $m_l = -1, 0$ og 1). Men resultatene fra eksperimentet viste to linjer. Det ble senere forklart med spinn med magnetisk dipolmoment fra $m_s = -1/2$ og $1/2$.)

b) Se figur 1. Elektroner sendes ut fra en elektronemitter gjennom et system av inhomogene magnetfelter. Hva er forventede resultater på skjermen hvis du sender inn 1000 elektroner gjennom system (A), 1000 elektroner gjennom system (B) og 1000 elektroner gjennom system (C), med magnetfelt som vist i figuren. Hvor mange elektroner vil nå skjermen, og hvor på skjermen vil de treffe den?



Figur 1: Tre systemer med to eller tre inhomogene magnetfelter B etter hverandre og med stoppe-anordning for de elektronene som bøyes nedover i z-retning. $B_z(z)$ er et magnetfelt i z-retning (vertikalt opp), $-B_z(z)$ er et magnetfelt i $-z$-retning (vertikalt ned) og $B_x(x)$ er et magnetfelt i x-retning (horisontalt mot høyre). Stiplet linje viser den rette veien fra emitteren til skjermen når det ikke er magnetfelter.

Svar: (A): Omtrent 500 på positiv z-aksen. (B): Slik som for system A men lavere på z-aksen. (C): Omtrent 125 på hvert punkt i en rektangel (se bildet).

Oppgave 2 Fotoelektrisk effekt

I denne oppgaven skal du se på den fotoelektriske effekten, og tilhørende eksperimenter med måling av fotostrøm som funksjon av spenning.

a) Beskriv tre eksperimentelle resultater som ikke kan forklares ved hjelp av elektromagnetisk bølgeteori for lys.
Svar: (1) Fotostrømmen går til null ved en gitt negativ spenning $-V_0$ som er uavhengig av intensiteten. Dette må bety at det finnes en øvre grense K_{maks} for den kinetiske energien til elektronene som slås løs fra metallplaten. (2) Det er en minste frekvens $\nu_0 > 0$ den innkommende elektromagnetiske strålingen må ha for at elektroner skal bli sendt ut i det hele tatt (elektronenes maksimale kinetiske energi øker lineært med lysets frekvens). (3) Fotostrøm oppstår (nesten) umiddelbart når lys er slått på. Klassisk burde det ta litt tid fra når elektronene begynner å absorbere elektromagnetisk stråling til de slipper fri fra materialet.

b) Beskriv hypotesen for lys som Einstein presenterte i 1905, og beskriv hvordan han forklarte de tre eksperimentelle resultatene fra oppgave a).
Svar: Energien i elektromagnetisk stråling er kvantisert i små pakker (lyskvanter, senere kalt fotoner) med energi bestemt av frekvensen $E = h\nu$. Energien fra en pakke overføres til et elekron. (1) Den kinetisk energin er $K = h\nu - w_0$, hvor w_0 er arbeidet som kreves for å fjerne et elektron fra metallet, er kun avhengig av frekvens og ikke av intensitet. Det betyr i tillegg at (2) at $\nu_0 = w_0/h > 0$ er minste frekvens for fotostrøm. (3) I den fotoelektriske effekt blir fotonet fullstendig absorbert av elektronet (atomet/metallet opplever en rekyl). Et foton river løs et elektron, og dette skjer (nesten) øyeblikkelig.

Oppgave 3 Hydrogenatomet

Energi-egentilstander for hydrogenatomet er $\psi_{nlm_l} = R_{nl}(r)\, Y_l^{m_l}(\theta, \phi)$ med energi E_n. Se bort ifra spinn i denne oppgaven.

a) Hvilke energi-egentilstander eksisterer i det tredje energinivået, dvs. hvilke par av kvantetall $\{l, m_l\}$ er mulige for $n = 3$?
Svar: s-orbital: $\{l, m_l\} = \{0, 0\}$
. p-orbital: $\{l, m_l\} = \{1, -1\}, \{1, 0\}, \{1, 1\}$
. d-orbital: $\{l, m_l\} = \{2, -2\}, \{2, -1\}, \{2, 0\}, \{2, 1\}, \{2, 2\}$

b) Beregn frekvensen og bølgelengden til fotonet som sendes ut dersom et elektron i det tredje energinivået faller tilbake til grunntilstanden.
Svar: $E_\gamma = -13.6\,\text{eV} \cdot (1/3^2 - 1/1^2) = 12.1\,\text{eV}$.
$E_\gamma = h\nu \ \Rightarrow \nu = 12.1 \cdot 1.602 \times 10^{-19}/h = 2930\,\text{THz}$, og $\lambda = c/\nu = 102$ nm.

c) Beregn forventningsverdiene for den asimutale angulær-posisjonen, $\langle\phi\rangle$, og for den polare angulær-posisjonen, $\langle\theta\rangle$, til egentilstanden ψ_{310} der
$R_{31}(r) = \frac{8}{27\sqrt{6}} a_0^{-3/2}\left(1 - \frac{r}{6a_0}\right)\frac{r}{a_0} e^{-r/3a_0}$ og $Y_1^0(\theta,\phi) = \sqrt{\frac{3}{4\pi}}\cos\theta$.
HINT: Formler på side 1.
Svar: Forventningsverdiene for posisjon: $\langle\phi\rangle = \int \psi^*_{nlm_l}(\mathbf{r})\ \phi\ \psi_{nlm_l}(\mathbf{r})\,d\mathbf{r}$.
Den radielle funksjonen og vinkelfunksjonen er begge normerte hver for seg.

$\langle\phi\rangle = \int R^*_{31}R_{31}r^2dr \int\int Y_1^{0*}\ \phi\ Y_1^0 \sin\theta d\theta d\phi = (3/4\pi)\int\int \cos^2\theta\ \phi\ \sin\theta d\theta d\phi$
$= (3/4\pi)\int_0^\pi \cos^2\theta \sin\theta d\theta \int_0^{2\pi}\phi d\phi = (3/4\pi)(-1/3)\cos^3\theta\,|_0^\pi \ \cdot\ (1/2)\phi^2\,|_0^{2\pi} =$
$(3/4\pi)(2/3)\cdot 2\pi^2 = \pi$.

$\langle\theta\rangle = (3/4\pi)\int_0^\pi \theta\cos^2\theta\ \sin\theta d\theta \int_0^{2\pi} d\phi = (3/2)\int_0^\pi \theta\cos^2\theta\ \sin\theta d\theta =$
/delvis integrasjon/$= (3/2)\Big(\theta(-1/3)\cos^3\theta\,|_0^\pi - \int_0^\pi(-1/3)\cos^3\theta d\theta\Big) =$
$(-1/2)\Big(\theta\cos^3\theta - \sin^3\theta\big[2\cos(2\theta) + 10\big]/12\Big)\,|_0^\pi = (-1/2)\Big(\theta\cos^3\theta\Big)\,|_0^\pi = \pi/2$.

Oppgave 4 Superposisjon

I denne oppgaven skal du studere følgende superposisjon for elektronet i hydrogenatomet (se bort ifra spinn):

$$\psi_A = \frac{1}{\sqrt{2}}\big(\psi_{410} - \psi_{420}\big), \tag{1}$$

der ψ_{nlm_l} er de ortonormerte løsningene til
$\hat{H}\,\psi_{nlm_l} = E_n\,\psi_{nlm_l}$,
$\hat{L}^2\,\psi_{nlm_l} = \hbar^2 l(l+1)\,\psi_{nlm_l}$ og
$\hat{L}_z\,\psi_{nlm_l} = \hbar m_l\,\psi_{nlm_l}$.

a) Forklar forskjellen på en superposisjon og en egentilstand for operatoren $\hat{Q}$. Forklar også hva en degenerert tilstand er. Hvis du gjør en måling av den fysiske størrelsen Q på hver av disse tre typene tilstander, hva kan du si om resultatet av målingene?
Svar: En egentilstand er en løsning til egenverdi-ligningen $\hat{Q}\psi_{nlm_l} = q\,\psi_{nlm_l}$, der q er et reellt tall. De har skarpt verdi ved målingen, dvs. $\sigma_Q = 0$. Superposisjon er en generell tilstand som er en løsning til TASL, og som kan beskrives som en lineærkombinasjon av egenfunksjoner til $\hat{Q}$. Før måling vet vi kun forventningsverdi, standardavvik, og sannsynlighet for måling av de forskjellige egentilstandenen som superposisjonen er bygget opp av. Ved måling vil tilstanden "kollpase" til en egentilstand for operatoren $\hat{Q}$. En degenerert tilstand er en lineærkombinasjon av egentilstander til $\hat{Q}$, som alle har lik egenverdi. Akkurat som for en egentilstand har degenererte tilstanden et skarpt verdi ved målingen, dvs. $\sigma_Q = 0$.

b) Beregn standardavvikene σ_H, σ_{L^2} og σ_{L_z} til tilstanden ψ_A, dvs. standardavvikene i måleresultat for de fysiske størrelsene som representeres av operatorene $\hat{H}$, $\hat{L}^2$ og $\hat{L}_z$.
Svar: Egentilstand: $\hat{Q}\,\psi_{nlm_l} = q\,\psi_{nlm_l}$.
ψ_{nlm_l} er egenfunksjoner til alle tre operatorene; bruk da $\langle Q\rangle = \sum_i |c_i|^2 q_i$ der $c_1 = 1/\sqrt{2}$ og $c_2 = -1/\sqrt{2}$. Det betyr $\langle Q\rangle = (1/2)(q_1 + q_2)$.

$\langle L^2\rangle = (1/2)(h^2 2 + h^2 6) = 4h^2$; $\langle (L^2)^2\rangle = (1/2)(h^4 4 + h^4 36) = 20h^4$.
$\sigma_{L^2} = \sqrt{\langle (L^2)^2\rangle - \langle L^2\rangle^2} = \sqrt{20h^4 - 16h^4} = 2h^2$.

ψ_A er degeneret egentilstand for operatorene $\hat{H}$ og $\hat{L}_z \Rightarrow \sigma_H = \sigma_{L_z} = 0$.
$\langle H\rangle = (1/2)(E_4 + E_4) = E_4$; $\langle H^2\rangle = (1/2)(E_4^2 + E_4^2) = E_4^2$. Det gir $\sigma_H = 0$.
$\langle L_z\rangle = (1/2)(0+0) = 0$; $\langle L_z^2\rangle = (1/2)(0^2 + 0^2) = 0^2$. Det gir $\sigma_{L_z} = 0$.

c) Beregn kommutatoren $[\hat{H}, \hat{L}^2]$ når den virker på tilstanden ψ_A.
Svar: $[\hat{H}, \hat{L}^2]\psi_A = (\hat{H}\hat{L}^2 - \hat{L}^2\hat{H})\psi_A = \hat{H}\hat{L}^2\psi_A - \hat{L}^2\hat{H}\psi_A =$

$$\frac{1}{\sqrt{2}}\Big(\hat{H}\hat{L}^2(\psi_{410} - \psi_{420}) - \hat{L}^2\hat{H}(\psi_{410} - \psi_{420})\Big) =$$
$$\frac{1}{\sqrt{2}}\Big(\hat{H}(\hbar^2 2\psi_{410} - \hbar^2 6\psi_{420}) - E_4\hat{L}^2(\psi_{410} - \psi_{420})\Big) =$$
$$\frac{1}{\sqrt{2}}\Big(E_4(\hbar^2 2\psi_{410} - \hbar^2 6\psi_{420}) - E_4(\hbar^2 2\psi_{410} - \hbar^2 6\psi_{420})\Big) =$$
$$\frac{2\hbar^2 E_4}{\sqrt{2}}\Big((\psi_{410} - 3\psi_{420}) - (\psi_{410} - 3\psi_{420})\Big) = 0.$$

Det betyr at det er mulig å finne felles egentilstander for $\hat{H}$ og $\hat{L}^2$; som nettopp er settet av tilstandene ψ_{nlm_l}. Merk at ψ_A ikke er egenfunksjon til $\hat{L}^2$.
Argumentasjon: De begge operatorene har *et komplett sett* av felles egenfunksjoner, og da er kommutatoren null for enhver generell funksjon, også ψ_A. Fra $\sigma_H\sigma_{L^2} = 0$ og den generelle uskarphetsrelasjonen, vet vi i hver fall at forventningsverdin $\langle[\hat{H}, \hat{L}^2]\rangle$ er null.

Oppgave 5 Harmonisk oscillator

Denne oppgaven handler om energi-egentilstandene for harmonisk oscillator:

$$\psi_n(x) = \left(\frac{m\omega}{\pi\hbar}\right)^{1/4} \frac{1}{\sqrt{2^n n!}} H_n(\xi)\, e^{-\xi^2/2}, \quad \text{der } \xi = \sqrt{\frac{m\omega}{\hbar}}\, x \tag{2}$$

$$E_n = \left(n + \frac{1}{2}\right)\hbar\omega. \tag{3}$$

De seks første Hermite-polynomene er:
$H_0(\xi) = 1$,
$H_1(\xi) = 2\xi$,
$H_2(\xi) = 4\xi^2 - 2$,
$H_3(\xi) = 8\xi^3 - 12\xi$,
$H_4(\xi) = 16\xi^4 - 48\xi^2 + 12$, og
$H_5(\xi) = 32\xi^5 - 160\xi^3 + 120\xi$.

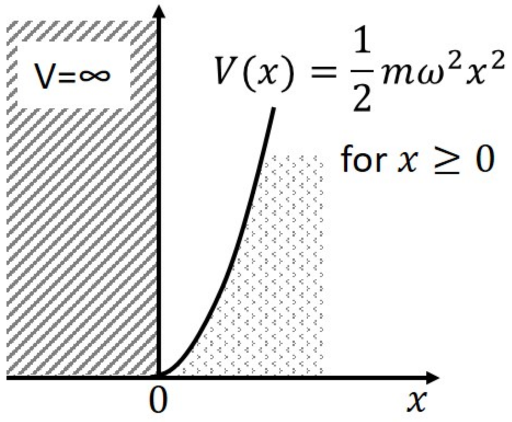
a) Bruk senke-operatoren $\hat{a}_- = \frac{1}{\sqrt{2\hbar m\omega}}(i\hat{p} + m\omega x)$ og beregn $\hat{a}_-\psi_0(x)$.
Svar: Oppgaven viser at ligning 2.59 i Griffiths er sant, og at $(\hat{a}_-)^n\psi_0(x) = 0$ som var en oppgave i midtveiseksamen.
$H_0(\xi) = 1$. Sett $C \equiv \frac{1}{\sqrt{2\hbar m\omega}}\left(\frac{m\omega}{\pi\hbar}\right)^{1/4}\frac{1}{\sqrt{2^0 0!}}$. Da er $\hat{a}_-\psi_0(x) =$
$C\,(i(-i\hbar\, d/dx) + m\omega x)e^{-m\omega x^2/2\hbar} = C\,(\hbar(-2xm\omega/2\hbar) + m\omega x)e^{-m\omega x^2/2\hbar} =$
$C\,(-xm\omega + m\omega x)e^{-m\omega x^2/2\hbar} = 0$.

b) Bestem konstanten K i differensialligningen

$$\left(\frac{d^2}{d\xi^2} - 2\xi\frac{d}{d\xi} + (K-1)\right)H_4(\xi) = 0. \tag{4}$$

Svar: Oppgaven viser at 2.79 i Griffiths er sant med $K = 2n+1$ for $n = 4$.
$\left(4\cdot 3\cdot 16\xi^2 - 2\cdot 1\cdot 48\right) - 2\xi\left(4\cdot 16\xi^3 - 2\cdot 48\xi\right) + (K-1)\left(16\xi^4 - 48\xi^2 + 12\right) =$
$\left(-2\cdot 4\cdot 16 + 16(K-1)\right)\xi^4 + \left(4\cdot 3\cdot 16 + 2\cdot 2\cdot 48 - 48(K-1)\right)\xi^2 + \left(2\cdot 1\cdot 48 + 12(K-1)\right)$.
Alle tre ledd er 0 da $(K-1) = 8$, dvs. $K = 9$.

c) Se nå på potensialet som er vist i figur 2. Beskriv energi-egentilstandene for dette potensialet, basert på tilstandene for harmonisk oscillator i ligning (2) og (3). Begrunn svaret.
Svar: For $x \geq 0$ er løsningene til potesialet samme som for harmonisk oscillator. For $x < 0$ må bølgefunksjonene være 0. Kontinuerlig bølgefunksjon krever da $\psi(0) = 0$. Energi-egentilstandene er derfor de antisymetriske løsningenen til harmonisk oscillator (for $x \geq 0$), med de energiene, men egenfunksjonene må normaliseres. Energi-egentilstandene er $\sqrt{2}\psi_n(x)$ med $E_n = (n+1/2)\hbar\omega$, for $n = 1, 3, 5, \ldots$.



Figur 2: Potensialet til oppgave 5c).

Oppgave 6 To-elektron-system

I denne oppgaven skal du se på to-elektron-systemet. De to elektronene er identiske (dvs. ikke mulig å skille mellom), men vi antar at de ikke vekselvirker via Coulomb-krefter.

a) Skriv ned to-elektron-tilstandene for de fire spinn-konfigurasjonene, der et enkelt elektron beskrives som $\psi_a(\mathbf{r})\chi_{m_s}(s)$. Er rom-delene symmetriske eller antisymmetriske med hensyn på koordinatbytte? Hvilke egenverdier har operatorene $\hat{S}^2$ og $\hat{S}_z$ for hver av disse fire spinn-konfigurasjonene?
Svar: Singlett-tilstanden ($s = 0$; $m_s = 0$); symmetrisk rom-del
Egenverdier for $\hat{S}^2$ og $\hat{S}_z$ er $\hbar^2 s(s+1) = 0$ og $\hbar m_s = 0$
$\frac{1}{2}\big(\psi_a(\mathbf{r}_1)\psi_b(\mathbf{r}_2) + \psi_b(\mathbf{r}_1)\psi_a(\mathbf{r}_2)\big)\big(\chi_{1/2}(s_1)\chi_{-1/2}(s_2) - \chi_{-1/2}(s_1)\chi_{1/2}(s_2)\big)$; $m_s = 0$

Triplett-tilstandene ($s = 1$; $m_s = -1, 0, 1$); antisymmetrisk rom-del.
Egenverdien for $\hat{S}^2$ er $2\hbar^2$ og egenverdiene for $\hat{S}_z$ er $-\hbar$, 0, $\hbar$:
$\frac{1}{2}\big(\psi_a(\mathbf{r}_1)\psi_b(\mathbf{r}_2) - \psi_b(\mathbf{r}_1)\psi_a(\mathbf{r}_2)\big)\big(\chi_{-1/2}(s_1)\chi_{-1/2}(s_2) + \chi_{-1/2}(s_1)\chi_{-1/2}(s_2)\big)$; m_s = -1
$\frac{1}{2}\big(\psi_a(\mathbf{r}_1)\psi_b(\mathbf{r}_2) - \psi_b(\mathbf{r}_1)\psi_a(\mathbf{r}_2)\big)\big(\chi_{1/2}(s_1)\chi_{-1/2}(s_2) + \chi_{-1/2}(s_1)\chi_{1/2}(s_2)\big)$; $m_s = 0$
$\frac{1}{2}\big(\psi_a(\mathbf{r}_1)\psi_b(\mathbf{r}_2) - \psi_b(\mathbf{r}_1)\psi_a(\mathbf{r}_2)\big)\big(\chi_{1/2}(s_1)\chi_{1/2}(s_2) + \chi_{1/2}(s_1)\chi_{1/2}(s_2)\big)$; $m_s = 1$
og for triplettene gjelder at $a \neq b$.

b) Forklar hva utvekslingskraft ('exchange'-kraft) er, og hvordan den effekten innvirker på to-elektron-tilstandene.
Svar: En effekt pga symmetrien på bølgefunksjonen til identiske partikler, dvs. at tilstanden enten forblir uendret (symmetrisk) eller skiftende fortegn (antisymmetrisk) ved koordinatbytte. Effekten gjelder for både fermioner og bosoner. Utvekslingskraften gir kortere avstand mellom elektronene med symmetrisk rom-del, og lengre avstand mellom elektronene med anti-symmetrisk rom-del.

Sensorveiledning for avsluttende eksamen
FYS2140 Vår 2023

Til denne sensurveiledning er det laget et detaljert løsningsforslag som utgjør en viktig del av poengsettingen. Alle oppgaver blir rettet av to lærere/fagpersoner.

Oppgavene rettes med disse maksimale poeng per deloppgave:

1a 2	**2a 2**	**3a 1**	**4a 3**	**5a 3**	**6a 3**
1b 3	**2b 3**	**3b 3**	**4b 3**	**5b 3**	**6b 2**
		3c 4	**4c 3**	**5c 3**	

Totalt er dette 41 poeng som skal tilsvare 80% av totalkarakter på kurset (midtveiseksamen teller 20%). Vi vil derfor gange poengene som gis med faktoren 80/41.

- Det gis null poeng på deloppgaver hvis den ikke er besvart eller at besvarelsen ikke er relevant.
- Det gis fullt poeng på deloppgaver hvis det er i henhold til løsningsforslaget eller løst på annen fornuftig måte. Det skal ikke trekkes poeng hvis besvarelsen er besvart ved hjelp av matematisk/numerisk bevis, selv om det er uttrykt i oppgaveteksten «vis (uten regning) at så og så…» eller liknende.
- Det gis 1/3 ≈ 30% av fullt poeng hvis kandidaten er noe på vei mot riktig svar.
- Det gis 2/3 ≈ 70% av fullt poeng hvis kandidaten er nesten helt framme eller slurvefeil.
- Det gis 1/2 = 50% av fullt poeng hvis deloppgaven er halvferdig besvart.
- Det gis tilnærmet fullt poeng hvis tankemåten er riktig, men følgefeil.
- Det gis ikke tilleggspoeng for tilleggstekst som ikke er relevant for spørsmålet, selv om tekstens innhold er riktig isolert sett.
- Hvis det leveres tilleggstekst som det ikke ble spurt om og som avslører manglene innsikt, gis 90% av foreslått poeng.