

Sallitut apuvälineet: kirjoitusvälineet, funktiolaskin sekä A4-kokoinen käsinkirjoitettu muistilappu. Muistilappu on palautettava koevastausten mukana. Perustele käyttämäsi kaavat ja ratkaisujen välivaiheet. Esittele vastauksessasi esiintyvät symbolit ja niiden merkitykset. Ratkaise jokainen tehtävä omalle sivulleen.

Kaikissa tehtävissä vastauksista arvioidaan sekä esitystapa että sisällön oikeellisuus. Jokainen tehtävä arvioidaan asteikolla 0-6 pistettä.

On tärkeää että ainakin yrität jokaista tehtävää.

1. Määrittele seuraavien kvanttifysiikan termien/käsitteiden merkitys enintään noin 30 sanalla / termi. Pelkkä kaava ei ole riittävä vastaus. Merkittävästi ylipitkä vastaus vähentää pisteitä.

- | | | |
|------------------|-------------------------|------------------------|
| (a) Degeneraatio | (c) Balmerin sarja | (e) Stimuloitu emissio |
| (b) Spin | (d) Paulin kieltosääntö | (f) Qubit |

Vastaa seuraavaan kysymykseen maksimissaan noin 200 sanalla per alakohta, vastaa kuitenkin käyttäen kokonaislauseita. Merkittävästi ylipitkä tai heikosti jäsenneilty vastaus vähentää pisteitä. Voit käyttää vastauksesi tukena piirrosta, mutta pelkkä piirros ei ole riittävä vastaus.

2. (a) Selitä kvalitatiivisesti Sternin ja Gerlachin kokeen koejärjestely ja kokeen tulosten merkitys.
- (b) Selitä laserin perustoimintaperiaate ja lasertoiminnan edellytykset.
- (c) Vetyatomin elektronin liikemäärämomentin neliö -operaattorin ominaisarvojen ja -tilojen lauseke on

$$\hat{L}^2 Y_{\ell, m_\ell} = \ell(\ell + 1) \hbar^2 Y_{\ell, m_\ell}$$

Kuitenkin tiedetään että kvanttiluku ℓ voidaan valita $\ell = 0$. Mitä tämä valinta tarkoittaa fysikaalisesti ja rikotaanko tässä valinnassa Heisenbergin epätarkkuusperiaatetta? Perustele.

3. Elektroni on suljettu äärettömään potentiaalikaivoon, jonka sivun pituudet ovat L_x , $L_y = 2L_x$ ja $L_z = 3L_x$. Etsi 10 alimman energiatilan kvanttiluvut n_x , n_y ja n_z ja niitä vastaavat aaltofunktiot.
4. Erästä vapaata hiukkasta kuvataan tasoallolla. Osoita, että tasoallolle vaihenopeus on puolet hiukkasen todellisesta nopeudesta ja että ryhmänopeus on sama kuin hiukkasen todellinen nopeus. Laske hiukkasen nopeuden odotusarvo ja vertaa sitä tasoallion vaihesekä ryhmänopeuteen.
5. Määritä vetyatomin perustilalla olevan elektronin potentiaalienergian odotusarvo. Tarkastele ainoastaan avaruudellisia aaltofunktioita.

Tillåtna hjälpmedel: skrivredskap, funktionsräknare och handskrivna anteckningar på en A4-papper. Du måste lämna in dina anteckningar med sina svar. Motivera i dina svar de formler som du använder och mellanstegen och antaganden i lösningarna. Förklara symbolerna du använder och deras betydelse. Lös varje uppgift på en egen sida.

I alla uppgifter bedöms både presentationen och innehållet med 0-6 poäng.

Det är viktigt att du åtminstone försöker lösa varje uppgift. Lycka till!

1. Definiera följande termer/begrepp med maximalt ca 30 ord / term. Enbart en formel är inte ett tillräckligt svar. Ett betydligt för långt svar drar ner på poängen.

- | | |
|-------------------|--------------------------------|
| (a) Degeneration | (d) Paulis uteslutningsprincip |
| (b) Spin | (e) Stimulerad emission |
| (c) Balmers serie | (f) Qubit |

Besvara frågor i nedan med maximalt ca 200 ord per fråga. Använda hela satser. Ett betydligt för långt eller dåligt disponerat svar drar ner på poängen. Du kan använda en figur som stöd för ditt svar, men enbart en figur är inte ett tillräckligt svar.

2. (a) Förklara på ett kvalitativt sätt Stern och Gerlachs experiment och ge en mening på dessa resultaten
- (b) Förklara fundamentala principer när det gäller lasers verksamhet och dess nödvändiga förutsättningar
- (c) Rörelsemängtmoments kvadrat operator för väteets elektron har följande uttrycket:

$$\hat{L}^2 Y_{\ell, m_\ell} = \ell(\ell + 1) \hbar^2 Y_{\ell, m_\ell}$$

Det här uttrycket ger elektronens egenvärder och egenfunktioner. Man vet att kvanttal ℓ kan väljas så att $\ell = 0$. Vad ska det här betyda enligt fysikens teori? Är det mot Heisenbergs osäkerhetsprincip? Motivera ditt svar.

3. En elektron ligger i en infinit potentialbrunn, som har kantlängder L_x , $L_y = 2L_x$ ja $L_z = 3L_x$. Bestäm 10 kvanttal och motsvarande vågfunktioner med lägsta energi.
4. Ett fri partikel beskrivas med ett planvåg. Visa att den här planvågs fashastighet är en halv av partikels verkliga hastighet och att dess grupphastighet är det samma som partikels verkliga hastighet. Bestäm partikels hastighets väntevärde och jämför resultatet mot motsvarande planvågs fas- och grupphastighet.
5. Bestäm väntevärde för väteatoms elektron, om det ligger på grundtillståndet. Ta i beaktande endast steriska (dvs. rymdliga) vågfunktioner.

l, ml	$Y_{lm_l}(\theta, \phi)$
0, 0	$\sqrt{\frac{1}{4\pi}}$
1, 0	$\sqrt{\frac{3}{4\pi}} \cos \theta$
1, ± 1	$\sqrt{\frac{3}{8\pi}} \sin \theta e^{\pm i\phi}$
2, 0	$\sqrt{\frac{5}{16\pi}} (3 \cos^2 \theta - 1)$
2, ± 1	$\sqrt{\frac{15}{8\pi}} \cos \theta \sin \theta e^{\pm i\phi}$
2, ± 2	$\sqrt{\frac{15}{32\pi}} \sin^2 \theta e^{\pm 2i\phi}$

n, ℓ	$R_{n\ell}(r)$
1, 0	$\frac{1}{(a_0)^{3/2}} 2 e^{-r/a_0}$
2, 0	$\frac{1}{(2a_0)^{3/2}} 2 \left(1 - \frac{r}{2a_0}\right) e^{-r/2a_0}$
2, 1	$\frac{1}{(2a_0)^{3/2}} \frac{r}{\sqrt{3}a_0} e^{-r/2a_0}$
3, 0	$\frac{1}{(3a_0)^{3/2}} \left(2 - \frac{4r}{3a_0} + \frac{4r^2}{27a_0^2}\right) e^{-r/3a_0}$
3, 1	$\frac{1}{(3a_0)^{3/2}} \frac{4\sqrt{2}r}{9a_0} \left(1 - \frac{r}{6a_0}\right) e^{-r/3a_0}$
3, 2	$\frac{1}{(3a_0)^{3/2}} \frac{2\sqrt{2}r^2}{27\sqrt{5}a_0^2} e^{-r/3a_0}$