

Sallitut apuvälineet: kirjoitusvälineet, laskin sekä A4-kokoinen käsinkirjoitettu muistilappu. 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.

Palauta muistilappu ja erikseen jaettu integraali- ja luonnonvakiotaulukko koevastaustesi mukana. ÄLÄ tee merkintöjä integraali- ja vakiotaulukkoon. **Tehtävissä ei tarvitse laskea numeroarvoja.**

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) No-cloning theorem          | (d) Paulin kieltosääntö |
| (b) Bosoni                      | (e) Stimuloitu emissio  |
| (c) Lomittuminen (entanglement) | (f) Qubit               |

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

2. Elektronin liikemäärämomenti vetyatomin yhteydessä. Mitä sillä tarkoitetaan? Miten se liittyy elektronin spiniin ja kvanttimekaniikan historialliseen kehitykseen? Selitä kvalitatiivisesti.
3. Elektroni on suljettu äärettömään potentiaalikaivoon, jonka sivun pituudet ovat  $L_x$ ,  $L_y = 2L_x$  ja  $L_z = 3L_x$ . Määritä kuinka degeneroituneita elektronin 10 alinta energiatilaa on (lukumäärä).
4. Määritä vetyatomin perustilalla olevan elektronin potentiaalienergian odotusarvo. Spinin vaikutusta ei tarvitse huomioida. NB:  $\int_0^{\infty} x^m e^{-bx} dx = \frac{m!}{b^{m+1}}$  ja pallokoordinaatistossa  $dV = r^2 \sin \theta dr d\theta d\varphi$ .
5. Yksiulotteisessa potentiaalikaivossa ( $U = 0$ , kun  $0 \leq x \leq L$ ;  $U = \infty$ , muuten) on kaksi identtistä hiukkasta. Toinen hiukkasista on tilalla  $n = 1$  ja toinen tilalla  $n' = 2$  (tilat viittaavat kaivon yksihiukkastiloihin). Määritä todennäköisyys löytää molemmat hiukkaset yhtäaikaaisesti alueelta  $x \in [0, L/2]$ , kun hiukkaset ovat
- (a) bosoneja tai
- (b) fermioneja.

Hiukkasten yhteisaaltofunktion normalisointivakio on  $\sqrt{2}/L$ .

NB:  $\sin^2 \theta = \frac{1 - \cos(2\theta)}{2}$  ja  $2 \sin \theta \sin \varphi = \cos(\theta - \varphi) - \cos(\theta + \varphi)$ .

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

$n, \ell$	$R_{n\ell}(r)$
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	$\frac{1}{(3a_0)^{3/2}} \frac{2\sqrt{2}r^2}{27\sqrt{5}a_0^2} e^{-r/3a_0}$

Kirjoita SELVÄSTI nimesi, opiskelijanumerosi, opintojaksokoodi sekä kokeen päivämäärä jokaiseen koepaperiin. Ratkaise jokainen tehtävä omalle sivulleen.