

b) Laske ensimmäisen kertaluvun tilakorjauksen

$$\phi_n^{(1)}(x) = \langle x|n^{(1)}\rangle = \langle x| \sum_{m \neq n} \frac{\langle m^{(0)}|H'|n^{(0)}\rangle}{E_n^{(0)} - E_m^{(0)}} |m^{(0)}\rangle$$

neljä ensimmäistä termiä ($m = 1, 2, 3, 4$) perustilalle $n = 0$ paikkaesityksessä. Miksi osa termeistä on nollia?

3. (6p) Sirontateoriaa

Kirjoita essee selvittäen mistä on kyse kvanttimekaanisessa sirontateoriasa. Tarkastele aihetta suhteessa klassiseen hiukkasten sekä aaltojen sirontaan. Kerro lisäksi miten seuraavat käsitteet liittyvät toisiinsa sekä mitattaviin suuriin

- (differentiaalinen) sirontavaikutusala
- tasoalto
- vaihesiirto
- Ramsauer-Townsend ja/tai Fano-Feshbach efektit

Voit vapaasti käyttää kuvia ja yhtälöitä asioiden esitykseen.

4. (6p) Identtiset hiukkaset

Tarkastellaan kahta (ei välttämättä identtistä) hiukkasta, joista kumpikin voi olla kahdessa paikka-avaruuden tilassa $|A\rangle$ ja $|B\rangle$ ($\phi_A(x) = \langle x|A\rangle$, $\phi_B(x) = \langle x|B\rangle$).

- a) Identtiset hiukkaset ovat aina joko fermioneja tai bosoneita. Mitä ehtoja tästä seuraa systeemin fysikaalisesti sallituille tiloille?

Määritellään operaattori joka mittaa hiukkasten välisen etäisyyden neliön $\hat{d}^2 = (\hat{x}_1 - \hat{x}_2)^2$, jossa operaattori \hat{x}_i antaa hiukkasen i paikan. Oletetaan ensin, että hiukkaset ovat ei-identtiset ja että ne ovat tulotilalla $|A\rangle|B\rangle = |AB\rangle$. Hiukkasten välisen etäisyyden odotusarvo on nyt

$$\begin{aligned} \langle \hat{d}^2 \rangle_0 &= \langle AB | (\hat{x}_1 - \hat{x}_2)^2 | AB \rangle \\ &= \int dx_1 \int dx_2 \phi_A(x_1)^* \phi_B(x_2)^* (x_1 - x_2)^2 \phi_A(x_1) \phi_B(x_2). \end{aligned}$$

- b) Kuinka etäisyyden neliön odotusarvo muuttuu jos hiukkaset ovatkin identtisiä fermioneja tai bosoneja?
- c) Kuinka tämä hiukkasten identtisyysvaikutus etäisyyden odotusarvoon näkyy käytännön systeemeissä esimerkiksi Heliumin energiaspektreissä tai molekyyliidoksissa?