

- (a) Bepaal een (oordeelkundige) basis van dit eindig-dimensioneel systeem en de matrix-elementen van de Hamiltoniaan.
- (b) Bereken de tijdsevolutie van de 2-deeltjes golffunctie $\psi_1 \otimes \psi_2$
4. Een waterstofatoom wordt in een electromagnetisch veld geplaatst: $\vec{B} = B\vec{e}_z$ en $\vec{E} = E\vec{e}_x$, en heeft Hamiltoniaan:

$$\hat{H}_0 + \frac{e}{2M} \vec{L} \cdot \vec{B} + e\vec{r} \cdot \vec{E}$$

met \hat{H}_0 de hamiltoniaan van het gewone ongestoorde waterstofatoom.

- (a) Bereken de verwachtingswaarde van de energie van de (niet noodzakelijk genormeerde) toestand $|\psi\rangle$

$$\langle r | \psi \rangle = \sqrt{\frac{1}{8\pi}} \left(\cos(\varphi) \sin(\theta) \frac{r}{a^{3/2}} e^{-r/2a} + \frac{2}{a^{3/2}} e^{-r/a} \right)$$

- (b) Gegeven dat $\langle l \dots | \vec{r} \cdot \vec{E} | l' \dots \rangle \neq 0 \Rightarrow l = l'$, bereken de eerste orde correctie(s) op het ongestoorde energieniveau E_2

Hint: een of meer van onderstaande integralen kan van pas komen:

- $\int_0^\infty r^n e^{-ar} dr = \Gamma(n+1) = n!$
- $\int_{-\infty}^\infty e^{-r^2+br} dr = \sqrt{\pi} e^{b^2/4}$
- $\int_0^\pi \cos^{n+1} \theta d\theta = \frac{(n)!}{(n+1)!} \left(\frac{\pi}{2}\right)^n \text{ mod } 2$