

## Identtiset hiukkaset

Kahden (tai useamman) identtisen hiukkeen täytyy toteuttaa (anti)symmetria ehto:

$$\psi(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = \pm \psi(\vec{r}_2, \vec{r}_1)$$

↑  
bosonit  $\rightarrow +$ , symmetrisen  
fermionit  $\rightarrow -$ , antisymmetrisen

Jos yksi hiukkeen tilalla  $\varphi_A(\vec{r})$  ja toinen tilalla  $\varphi_B(\vec{r})$

$\Rightarrow$  ei-identtisille hiukkeille

$$\psi_E(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = \varphi_A(\vec{r}_1) \cdot \varphi_B(\vec{r}_2)$$

Identtisille fermioneille

$$\psi_F(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = \frac{1}{\sqrt{2}} [\varphi_A(\vec{r}_1)\varphi_B(\vec{r}_2) - \varphi_A(\vec{r}_2)\varphi_B(\vec{r}_1)]$$

identtisille bosoneille

$$\psi_B(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = \frac{1}{\sqrt{2}} [\varphi_A(\vec{r}_1)\varphi_B(\vec{r}_2) + \varphi_A(\vec{r}_2)\varphi_B(\vec{r}_1)]$$

Paulin keltoräätähti:

jos  $\varphi_A(\vec{r}) = \varphi_B(\vec{r})$

$\Rightarrow$

$\psi_F(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = 0 \rightarrow$  ei mahdollista!

$\Rightarrow$  kaksi identtistä

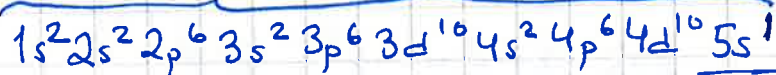
fermionia ei voi olla

samalla kvanttikillalla.

$\Rightarrow$  SIMULATIOT

# Stern-Gerlach koe ja hopea-atomit

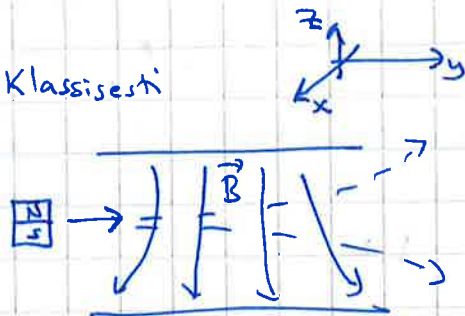
Hopea-atomin elektronikuviranne:  
47 elektronia



pariton  
elektroni  
↓  
elektronin spin-tila  
määrittää toista atomin  
magneettisen momentin

- elektronin rata p.m. kumoutuvat (kaikki m-luvut mielitetty)
- uloin elektroni  $l=0$  (s-tila)
- Vain ulomman elektronin spin- $\frac{1}{2}$ -tila määrää magneettisen momentin

Klassisesti



1. Magneettisen momentin  $\vec{\mu}$  potentiaalienergia

$$U_B(\vec{r}) = \vec{\mu} \cdot \vec{B}(y)$$

$B_z(y) \hat{k}$

$$= \mu_z B_z(y)$$

$$\Rightarrow \vec{F} = -\nabla U_B(\vec{r})$$

→ voima ylös tai alas

Pistekeima mittaa  $\mu_z$ in.

↓  
Mittaa  $l^2$ in.