

Paulis uteslutningsprincip

19 okt. 2026, 3 min läsning

UTKAST

#fysik #atomfysik #princip

Kurs: F0005T Förkunskaper: Elektronspin, Kvanttal

Inga två elektroner i samma system kan ha samma uppsättning kvanttal (n, l, m_l, m_s) . Principen är det som tvingar elektroner att fylla allt högre orbitaler i stället för att samlas i det lägsta tillståndet, och därmed det som ger atomerna deras skalstruktur.

Formeln, symbol för symbol

$$\underbrace{N_l}_{\text{platser i underskalet}} = \underbrace{2}_{\text{spinn upp, ner}} \cdot \underbrace{(2l + 1)}_{\text{värden på } m_l}$$
$$\underbrace{N_n}_{\text{platser i skalet}} = \underbrace{2}_{\text{spinn}} \cdot \underbrace{n^2}_{\text{orbitaler } (l, m_l)}$$

Varje orbital (n, l, m_l) är en ruta med plats för två elektroner, en med spinn upp och en med spinn ner. Att räkna platser är att räkna rutor och dubbla.

1. Principen

En elektrons tillstånd i en atom anges av fyra kvanttal: n , l och m_l för rörelsen kring kärnan och m_s för spinnet (se [Elektronspin](#)). Paulis uteslutningsprincip säger att två elektroner aldrig kan dela alla fyra. Två elektroner kan alltså dela orbital (n, l, m_l) bara om de har motsatt spinn.

Principen gäller alla partiklar med halvtaligt spinn — elektroner, protoner och neutroner — men inte fotoner. Kvantmekaniskt kommer den av att vågfunktionen för två identiska elektroner måste byta tecken när partiklarna byter plats. Sätts båda i samma tillstånd blir vågfunktionen noll, se [Kvantintrassling](#).

2. Att räkna tillstånd

Principen gör det enkelt att räkna hur många elektroner ett underskal eller ett skal rymmer. För givet l finns $2l + 1$ värden på m_l , och för vart och ett två värden på m_s :

$$N_l = 2(2l + 1)$$

Ett skal med huvudkvanttal n innehåller underskalen $l = 0, 1, \dots, n - 1$:

$$N_n = \sum_{l=0}^{n-1} 2(2l + 1) = 4 \sum_{l=0}^{n-1} l + 2n$$

$$N_n = 4 \cdot \frac{(n-1)n}{2} + 2n = 2n^2$$

$$N_l = 2(2l + 1) \quad N_n = 2n^2$$

Fysika: Fd3 (Pauliprincipen och kvanttal, som antalen bygger på)

Underskal	s	p	d	f
l	0	1	2	3
platser $2(2l + 1)$	2	6	10	14

Skal	K	L	M	N
n	1	2	3	4
platser $2n^2$	2	8	18	32

tillåtet



$(n, l, m_l, +\frac{1}{2})$
 $(n, l, m_l, -\frac{1}{2})$

förbjudet



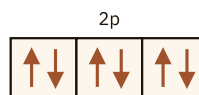
en tredje elektron
måste dela alla fyra
kvanttal med någon

L-skalet, $n = 2$



$l = 0$
 $m_l = 0$

$m_l =$



$l = 1$

$$= 2 + 6 = 8 = 2n^2$$

$2(2l + 1)$ platser per underskal

Vänster: en orbital rymmer två elektroner med motsatt spinn, och en tredje skulle få samma fyra kvanttal som en av dem. Höger: L-skalet har en 2s-orbital och tre 2p-orbitaler, alltså $2 + 6 = 8 = 2n^2$ platser.

3. Pauli är ingen kraft

Utan principen skulle alla elektroner i en atom falla ner i $1s$, och atomer med många elektroner skulle bli mindre och mindre med växande Z . Så ser det inte ut: atomer har ungefär samma storlek genom hela periodiska systemet, och den kemiska skillnaden mellan grannelement är stor. Orsaken är inte den elektriska repulsionen mellan elektronerna — den finns också, men den kan inte hindra två elektroner från att hamna i samma tillstånd. Det är uteslutningsprincipen som tvingar varje ny elektron upp i nästa lediga tillstånd och därmed ger **skalstrukturen**.

Samma princip styr elektronerna i en metall, där den leder till **Fermi-Dirac-fördelningen**.

Vanliga fel

- n^2 i stället för $2n^2$. n^2 är antalet orbitaler (l, m_l) i skalet. Spinnet dubblar antalet platser.
- “Två elektroner per orbital” missförstås. Det gäller per trippel (n, l, m_l) , inte per underskal. Ett p-underskal rymmer sex, inte två.
- l får gå upp till n . Det största värdet är $l = n - 1$, så skalet $n = 2$ har bara s och p.
- Principen används på fotoner. Fotoner har heltaligt spinn och kan gärna vara många i samma tillstånd; det är det en **Laser** utnyttjar.

4. Lösta exempel

Exempel — Hur många elektroner får plats?

Hur många elektroner i en atom kan ha (a) $n = 4$, (b) $n = 4$ och $l = 2$, (c) $n = 3$ och $m_l = +1$?

Lösning

a) Hela skalet $n = 4$:

$$N = 2n^2 = 2 \cdot 4^2 = \boxed{32}$$

b) Ett d-underskal, oberoende av n :

$$N = 2(2l + 1) = 2 \cdot 5 = \boxed{10}$$

c) $m_l = +1$ kräver $l \geq 1$. För $n = 3$ ger det $l = 1$ eller $l = 2$, alltså två orbitaler $(3, 1, +1)$ och $(3, 2, +1)$. Var och en rymmer två spinnlägen:

$$N = 2 \cdot 2 = \boxed{4}$$

Ej kontrollerat mot facit – två oberoende lösningar stämmer överens.

Läsning

- 41.6 Many-Electron Atoms and the Exclusion Principle