Princip nerozlišitelnosti částic a Pauliho (vylučovací) princip

Při zkoumání systému více částic (např. elektrony v atomovém obalu, ...) se v kvantové mechanice projeví dva nové fyzikální zákony, které nemají obdobu v makrosvětě:

1. princip nerozlišitelnosti částic

ČÁSTICE TÉHOŽ DRUHU JSOU NEROZLIŠITELNÉ.

Na rozdíl od jakýchkoliv dvou makroskopických objektů (zrnka písku, mravenci, listy na stromě, lidé, ...), které dovedeme vždy rozlišit, jsou částice téhož druhu (např. elektrony) všechny zcela stejné, tj. nelze je žádným způsobem označit (obarvit, očíslovat, ...). Tato skutečnost je experimentálně ověřená a hraje podstatnou roli v chemické vazbě.

Pomocí kvantových čísel číslujeme nikoliv jednotlivé částice (např. elektrony), ale kvantové stavy, v nichž se částice nachází.

Analogicky např. při hledání spojení MHD v Praze zjistíme, že máme jet linkou číslo 22. Čekáme tedy na zastávce na příjezd tramvaje označené číslem 22, což je číslo linky (trati). Číslo (výrobní číslo) příslušného tramvajového vozidla nás nezajímá!

2. Pauliho vylučovací princip (z roku 1924)

V DANÉM SYSTÉMU NEMOHOU EXISTOVAT SOUČASNĚ DVĚ ČÁSTICE V TÉMŽ KVANTOVÉM STAVU, TJ. S TÝMIŽ HODNOTAMI KVANTOVÝCH ČÍSEL n, l, m, m_s.

V závislosti na platnosti (resp. neplatnosti) Pauliho principu rozdělujeme částice na dva druhy:

1. fermiony - částice hmoty, jejichž úplný popis vypracoval italský fyzik Enrico Fermi (1901 - 1954, Nobelova cena v roce 1938) a k nimž patří elektron, proton, neutron, ... Jedná o částice s poločíselným spinem, které tvoří veškerou látku vesmíru (hvězdy, planety, zvířata, lidi, ...) a pro něž platí Pauliho vylučovací princip
2. bosony - částice silových interakcí, jejichž popis vypracoval indický fyzik Satyendra Nath Bose (1854 - 1948) spolu s A. Einsteinem a k nimž patří foton, mezon a další částice zprostředkující silové interakce mezi částicemi látky; jde o částice s celočíselným spinem a Pauliho vylučovací princip pro ně neplatí

Rozdíl mezi fermiony a bosony lze lépe pochopit na příkladě návštěvníků kina. Přijdou-li na představení snobi, tj. lidi, kteří nesnesou vedle sebe nikoho jiného a budou chtít ukázat svoji důležitost, bude v každé řadě kina sedět jen jeden divák (fermion). Pouze bude-li jich v kině více než je řad, sednou si do řady po dvou, ale vždy jeden v řadě si sedne demonstrativně čelem vzad, aby se nějak odlišil. Pokud přijdou na představení děti (bosony), natlačí se všechny do předních řad, aby dobře viděly a nic ji neuniklo, zatímco zadní řady zůstanou prázdné.

Řady sedadel v kině v uvedené analogii představují jednotlivé energetické hladiny. Přitom první řada odpovídá nejnižší energii. Všechny částice (jak bosony tak fermiony) zaujmou vždy takovou pozici, aby celková energie systému, který je z daných částic vytvořen, byla minimální. Bosony žádná pravidla dodržovat nemusí - budou prostě obsazovat ty nejnižší energetické hladiny. Fermiony přitom musí dodržovat Pauliho vylučovací princip - jednotlivé energetické hladiny (řady sedadel v kině) musí obsazovat tak, aby se lišily minimálně spinem (jeden divák otočený k plátnu, druhý od plátna).

Pauliho princip vede k závěru, že může existovat jen určitý počet druhů atomů s přesným rozložením elektronů ve svých obalech. Vysvětluje zákonitosti periodické soustavy prvků a tím i celého bohatství chemických sloučenin i biologických systémů. Je to princip „strukturotvorný“, neboť umožňuje existenci celého našeho světa (věcí, zvířat, lidí, ...). Fotony, pro které Pauliho princip neplatí, mohou být všechny v témž kvantovém stavu, s touž energií a frekvencí, mohou vytvářet elektromagnetickou vlnu, ale nelze z nich vytvářet žádné struktury.

Při postupném „vytváření“ složitějších prvků než je vodík, přidáváme vždy jeden elektron. Ten zaujme pokaždé takový kvantový stav, aby:

1. energie dalšího (takto vzniklého složitějšího) atomu v základním stavu byla nejnižší;
2. nebyl přitom narušen Pauliho vylučovací princip

Celková soustava elektronů, které vytvářejí obal atomu a jsou rozloženy podle kvantových stavů, se nazývá **elektronová konfigurace** daného prvku. Zapisuje se tak, že se počet elektronů s daným hlavním a vedlejším kvantovým číslem vyjadřuje pomocí exponentu nad příslušným symbolem. Takových stavů může být vždy nejvýše $2\sum_{l=0}^{n-1}(2l+1)=2n^2$. Například elektronová konfigurace železa s 26 elektrony je $(1s)^2(2s)^2(2p)^6(3s)^2(3p)^6(4s)^2(3d)^6$.

Z historických důvodů se stavy s kvantovými čísly $n=1,2,3,4,5,\ldots$ nazývají **slupky** a označují se písmeny $K,L,M,N,O,\ldots$. V každé slupce pak rozlišujeme **podslupky** $s,p,d,f,g,\ldots$. Celkový počet elektronů v jednotlivých slupkách a podslupkách je:

	K	L		M			N				O					...
	1*s*	2*s*	2*p*	3*s*	3*p*	3*d*	4*s*	4*p*	4*d*	4*f*	5*s*	5*p*	5*d*	5*f*	5*g*	...
	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	14	18	...
	2	8		18			32				50					
Počet prvků:	2	8		8			18				18					

tab. 1

Označení jednotlivých slupek (*K*, *L*, *M*, ...) lze chápat také jako označení jednotlivých period periodické soustavy prvků, přičemž perioda je označena podle nejvyššího *n*.

Ve skutečnosti se jednotlivé slupky a podslupky nezaplňují přesně v tomto pořadí. Rozhodující totiž je dosažení nejnižší energie a ta, jak bylo zmíněno a na obr. 50 naznačeno, nemusí vždy odpovídat rostoucímu pořadí kvantových čísel.

Názvy slupek:

1. **vnitřní** - slupky s nižšími kvantovými čísly, elektrony jsou v nich blíže k jádru a jsou k němu pevněji vázány a méně ovlivňují chemické vlastnosti prvků.
2. **valenční** - poslední, vnější slupka. Počet elektronů v ní rozhoduje o chemické vaznosti prvku:

a) je v ní 1 elektron - je jen slabě vázán k jádru a atom je chemicky velmi reaktivní, protože tento elektron se může snadno uvolnit resp. podílet se na chemické vazbě (alkalické kovy - Li, Na, K, Rb, Cs, Fr)

b) 1 elektron chybí do úplného zaplnění slupky - atom velice snadno reaguje s ostatními atomy, které jsou schopny tento jeden chybějící elektron dodat. Jedná se o halogeny (F, Cl, Br, I, At)

c) slupka je zcela zaplněna - atomy jsou chemicky značně netečné (vzácné plyny - He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn)

© Encyklopedie Fyziky (http://fyzika.jreichl.com); Jaroslav Reichl, Martin Všetička
Licence http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/ zakazuje úpravy a komerční distribuci.