

AZ ATOMNÁL KISEBB MÉRETŰ RÉSZECSKÉK ÖSSZEFOGLALÓ RENDSZEREZÉSE

Tóth Miklós
Budapest

Az alábbi írás bemutatja az atomnál kisebb méretű részecskék áttekinthető, összefoglaló rendszerezését. Áttekintjük azokat a fogalmakat, amelyek alapján a részecskék osztályozása és tulajdonságai összefoglalhatók.

Kvantumszám a kvantummechanikában a részecskéknek valamely tulajdonságát kifejező mennyiség, a részecskék megkülönböztetésére is használjuk.

A *részecskék alapvető osztályozása* két szempont alapján történhet. Az egyik szempont a *spin*, a másik a *részecske szerkezete*.

Köszönetemet fejezem ki *Raics Péternek* és *Trócsányi Zoltánnak* a hasznos tanácsokért és a lektori munkáért.



Tóth Miklós (1940) BME-n szerzett vegyészmérnöki és irányítástechnikai szakmérnöki oklevelet. Mérnöki munkái során részt vett a magyar papíripar és nyomdaipar hazai és külföldi legnagyobb beruházásai technológus tervezői, illetve a beruházások tervezői munkáit fogta össze, mint létesítményfőmérnök.

A *spin* a részecske sajátperdület, amely azonban nem a részecske forgásából származik, hanem annak az *elemi* (a mozgásához nem köthető) *mágneses momentumát leíró kvantumszáma*. A spin alapján megkülönböztetünk 0 és pozitív egész számú, valamint feles spinű részecskéket. Előbbiekbe a *bozonok*, utóbbiakba a *fermionok* tartoznak. Az atomok elektron-szerkezeténél már megismert *Pauli-elv* – természetesen – a részecskefizikában is érvényes. Eszerint két vagy több fermion összes kvantumszáma nem egyezhet meg. A *bozonokra a Pauli-elv nem érvényes*: akárhány bozon lehet ugyanabban az állapotban, vagyis megengedett, hogy két vagy több bozon minden kvantumszáma megegyezzen.

A *részecske szerkezete alapján* megkülönböztetünk *elemi részecskéket* – amelyek mai ismeretünk szerint – további részekre nem bonthatók, valamint *összetett részecskéket*, amelyek az előbbiekből épülnek fel.

Az elemi részecskék a *leptonok* és a *kvarkok*, amelyek között a mértékbozonok közvetítik az erőket (kölsönhatásokat). A táblázat *kölsönhatás* oszlopában az szerepel, hogy az általánosan elfogadott *standard modellben* az egyes részecskék milyen kölsönhatásokban vesznek részt: elektromágneses (e.m.), erős, gyenge, gravitációs.

osztályozás			név	jel		elektromos töltés (Q/e)	kvarkösszetétel	kölcsonhatás	kvantumszámok										Pauli-elv							
spin alapján	szerkezet alapján			részecske	anti-részecske				spin	paritás	izospin		gyenge izospin		szín	íz (flavour, zamat)				leptonszám	barionszám					
	elemi részecske	összetett részecske									I	I ₃	T	T ₃		a = r, g, b anti: $\bar{a} = \bar{r}, \bar{g}, \bar{b}$	C	S				T*	B*	L	B	
bozon	térvantum (mértékbozon)		foton	γ		0		e.m.	1	-							0	0								
			gyenge bozon	W ⁺		+1		gyenge	1									0	0							
				W ⁻		-1			1										0	0						
				Z ⁰		0			0										0	0						
				Higgs-bozon	H ⁰		0			0									0	0						
			graviton			0		gravit.	2	+								0	0							
			gluon	g_i (i=1-8)		0		erős	1	-	0		$a_i \bar{a}_i$ $a_i, a_j=r,g,b \ a_i \neq a_j$													
	pi-mezon (pion)	π^0		0	$(1/\sqrt{2})(u\bar{u}-d\bar{d})$	0	-		1	0		$a\bar{a}$	0	0	0	0	0	0	0							
		π^+	π^-	+1	-1	$u\bar{d}$	$\bar{u}d$		0	-	1	+1	-1					0	0							
	K-mezon (kaon)	K ⁺	K ⁻	+1	-1	$u\bar{s}$	$\bar{u}s$		0	-	1/2	+1/2	-1/2					0	0							
		K ⁰	\bar{K}^0	0		$d\bar{s}$	$\bar{d}s$		0	-	1/2	+1/2						0	0							
	éta-mezon	η^0		0	$(1/\sqrt{2})(u\bar{u}+d\bar{d})$	0	-		0	0		$a\bar{a}$	0	0	0	0	0	0	0							
	ró-mezon	ρ^0		0	$(1/\sqrt{2})(u\bar{u}-d\bar{d})$	1	-		0	0		$a\bar{a}$	0	0	0	0	0	0	0							
	J-psi mezon	J/ψ		0	$c\bar{c}$	1	-	0	0		$a\bar{a}$	0	0	0	0	0	0	0								
hadron	nukleon	proton	p	\bar{p}	+1	-1	uud	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	1/2	+	1/2	+1/2				0	+1	-1								
		neutron	n	\bar{n}	0		udd	$\bar{u}\bar{d}\bar{d}$	1/2	+	1/2	-1/2				0	+1	-1								
	lambda-hiperon	Λ^0		0	uds	1/2	+	0	0		rgb	0	-1	0	0	0	+1									
		Δ^{++}		2	uuu	3/2	+	3/2	+3/2		rgb	0	0	0	0	0	+1									
	hiperon	Σ^+	$\bar{\Sigma}^+$	+1	-1	uus	$\bar{u}\bar{u}\bar{s}$	1/2	+	1	+1					0	+1	-1								
		Σ^0	$\bar{\Sigma}^0$	0		uds	$\bar{u}\bar{d}\bar{s}$	1/2	+	1	0					0	+1	-1								
		Σ^-	$\bar{\Sigma}^-$	-1	+1	dds	$\bar{d}\bar{d}\bar{s}$	1/2	+	1	-1					0	+1	-1								
		Ξ^0	$\bar{\Xi}^0$	0		uss	$\bar{u}\bar{s}\bar{s}$	1/2	+	1/2	+1/2					0	+1	-1								
		Ξ^-	$\bar{\Xi}^-$	-1	+1	dds	$\bar{d}\bar{d}\bar{s}$	1/2	+	1/2	-1/2					0	+1	-1								
	omega-hiperon	Ω^-	$\bar{\Omega}^-$	-1	+1	sss	$\bar{s}\bar{s}\bar{s}$	3/2	+	0	0					0	+1	-1								
	fermion	lepton		ízek																						
				I. család																						
				elektronneutrínó	ν_e	$\bar{\nu}_e$	0			gyenge	1/2			1/2	+1/2	-1/2			+1	-1	0					
				elektron	e^-	e^+	-1	+1			e.m., gyenge	1/2			1/2	-1/2	+1/2			+1	-1	0				
II. család																										
müonneutrínó				ν_μ	$\bar{\nu}_\mu$	0			gyenge	1/2			1/2	+1/2	-1/2			+1	-1	0						
müon				μ^-	μ^+	-1	+1			e.m., gyenge	1/2			1/2	-1/2	+1/2			+1	-1	0					
III. család																										
tau-neutrínó		ν_τ	$\bar{\nu}_\tau$	0			gyenge	1/2			1/2	+1/2	-1/2			+1	-1	0								
tau		τ^-	τ^+	-1	+1			e.m., gyenge	1/2			1/2	-1/2	+1/2			+1	-1	0							
kvark			ízek																							
			I. család																							
			u-kvark	u	\bar{u}	+2/3	-2/3			e.m., gyenge, erős	1/2	+	1/2	+1/2	1/2	+1/2	-1/2	a	\bar{a}	0	0	0	0	0	+1/3	-1/3
			d-kvark	d	\bar{d}	-1/3	+1/3				1/2	+	1/2	-1/2	1/2	-1/2	+1/2	a	\bar{a}	0	0	0	0	0	+1/3	-1/3
	II. család																									
	c-kvark		c	\bar{c}	+2/3	-2/3			1/2		+	0	0	1/2	+1/2	-1/2	a	\bar{a}	+1	-1	0	0	0	+1/3	-1/3	
	s-kvark		s	\bar{s}	-1/3	+1/3			1/2		+	0	0	1/2	-1/2	+1/2	a	\bar{a}	0	-1	+1	0	0	+1/3	-1/3	
	III. család																									
t-kvark	t	\bar{t}	+2/3	-2/3			1/2	+	0		0	1/2	+1/2	-1/2	a	\bar{a}	0	0	+1	-1	0	0	+1/3	-1/3		
b-kvark	b	\bar{b}	-1/3	+1/3			1/2	+	0		0	1/2	-1/2	+1/2	a	\bar{a}	0	0	0	-1	+1	0	+1/3	-1/3		

nem érvényes

érvényes

Az összetett részecskék közé a hadronok tartoznak. A részecskék kvarkösszetétele csak itt játszik szerepet. A hadronok a spin alapján két csoportra oszthatók: a 0 és egész spinű mezonokra, amelyek egyúttal bozonok is, valamint a feles spinű barionokra, amelyek a fermionok közé tartoznak.

A barionok közül az atommag két fontos alkotórészét, a protonokat és neutronokat gyűjtő néven nukleonoknak, a többit pedig hiperonoknak nevezik.

A részecskék elektromos töltése az elemi töltés előjeles egységében szerepel.

A részecskék színtöltése nem megfigyelhető, mert a detektorok által észlelt részecskék mindig színsemlegesek. Így a feltüntetett színkvantumszámok az elemi részecskék esetén az elvi lehetőségeket fejezik ki, az irodalomban szokásos r, g és b jeleket használva a három lehetőségre. Az összetett részecskéknél pedig a lehetőségeken túl a színsemlegességet is tartalmazza a jelölés. A mezonok esetén ugyanaz a szín- és antiszíntöltés (a \bar{a} , a = r, g vagy b) biztosítja a színsemlegességet, a barionokban pedig a három kvark három különböző színtöltése (rgb) lesz a színsemleges kombináció. A gluon különleges: mindig egy színből és a tőle különböző antiszínből áll.

A táblázatban a jelenleg ismert több ezer összetett részecskének csak töredéke szerepel, de az osztályozás szempontjai és a részecskék tulajdonságait kifejező, jelenleg ismert és használt kvantumszámokkal

minden részecske beilleszthető e rendszerbe. A ma már ismert, de a táblázatból jelenleg hiányzó részecskék elhelyezése egyszerűen újabb sorok beszúrásával megoldható. Ha a részecskefizika a jövőben újabb részecskéket fedez fel és emiatt esetleg újabb kvantumszámokat kell bevezetni, akkor az egyszerűen újabb sorok és oszlopok beszúrásával megoldható. Ugyanis a részecskefizikában eddig az volt a gyakorlat, hogy ha olyan részecskét fedeztek fel a kísérletek során, amelynek tulajdonságai az addig használt kvantumszámokkal nem voltak értelmezhetők, akkor új kvantumszám és esetleg új megmaradási törvény bevezetésével sikerült a kísérletek tapasztalataival összhangba hozni az elméletet.

Úgy véljük, hogy a táblázat gyors áttekinthetősége és rendszerszemlélete elősegíti, hogy az új eredményeket hatékonyan illeszthessük be a meglévő ismereteink közé.

A részletesebb fizikai alapok és a felhasznált adatok a következő munkákban találhatóak:

Fényes Tibor: *Atommagfizika II. Részecskék és kölcsönhatásaik*. 3. korszerűsített kiadás, Debreceni Egyetemi Kiadó, 2013.

M. Tanabashi et al. (Particle Data Group), *Phys. Rev. D* 98 (2018) 030001., http://pdg.lbl.gov/2018/html/computer_read.html

Raics Péter: *Atommag- és részecskefizika*. eMagreszfiz.pdf és kiegészítő anyagai a <http://falcon.phys.klte.hu/~raics/public/11eMagReszFiz/>

Horváth Dezső, Trócsányi Zoltán: *Bevezetés az elemi részecskék fizikájába*. Typotex, Budapest, 2017.