

dés, mind a normális (például sebgyógyulás [13]) és a kóros folyamatok (például rákos sejtek viselkedése) megértéséhez alapvető fontosságú [14]. A csoportos mozgás alapelveinek mesterséges egyedekbe ültetésével pedig a világ első sokegyedes önszerveződő drónrajai is Tamás keze közül kerültek ki [15].

A kezdetben szigorúan alapkutatási eredmények tényleges piaci hasznosításában is kiemelkedő példa Tamás munkássága, aki az ELTE-n számos startup-céget is alapított, amelyek közül több azóta is gyors ütemű sikeres növekedési szakaszban van, például a hálózat kutatás (Maven7) vagy a drónrajok (CollMot) világában.

A díjhoz ezúton is gratulálunk és kívánunk további hosszú, eredményes és örömteli kutatómunkát!

Vásárhelyi Gábor, Nagy Máté, Zafeiris Anna

Irodalom

1. <https://www.aps.org/programs/honors/prizes/onsager.cfm>
2. https://mta.hu/mta_hirei/vicsek-tamas-az-mta-rendes-tagja-elnyerte-az-onsager-dijat-109990
3. Vicsek, T.: *Fractal growth phenomena*. World Scientific, 1992.
4. Palla, G., Derényi, I., Farkas, I., Vicsek, T.: Uncovering the overlapping community structure of complex networks in nature and society. *Nature* 435/7043 (2005) 814.
5. Vicsek, T., Zafeiris, A.: Collective motion. *Physics Reports* 517/3–4 (2012) 71–140.
6. Zafeiris, A., Vicsek, T.: *Why We Live in Hierarchies?: A Quantitative Treatise*. Springer, 2017.
7. Vicsek, T., Czirók, A., Ben-Jacob, E., Cohen, I., Shochet, O.: Novel type of phase transition in a system of self-driven particles. *Physical Review Letters* 75/6 (1995) 1226.
8. Toner, J., Tu, Y.: Long-range order in a two-dimensional dynamical XY model: how birds fly together. *Physical Review Letters* 75/23 (1995) 4326.
9. Reynolds, C. W.: Flocks, herds, and schools: A distributed behavioral model. *Computer Graphics* (1987) 25–34.
10. Aoki, I.: A simulation study on the schooling mechanism in fish. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 8 (1982) 1081–1088.
11. Helbing, D., Farkas, I., Vicsek, T.: Simulating dynamical features of escape panic. *Nature* 407/6803 (2000) 487.
12. Nagy, M., Akos, Z., Biro, D., Vicsek, T.: Hierarchical group dynamics in pigeon flocks. *Nature* 464/7290 (2010) 890.
13. Szabo, B., Szöllösi, G. J., Gönci, B., Jurányi, Z., Selmeczi, D., Vicsek, T.: Phase transition in the collective migration of tissue cells: experiment and model. *Physical Review E* 74/6 (2006) 061908.
14. Méhes, E., Vicsek, T.: Collective motion of cells: from experiments to models. *Integrative Biology* 6/9 (2014) 831–854.
15. Vásárhelyi, G., Virágh, C., Somorjai, G., Tarcai, N., Szörényi, T., Nepusz, T., Vicsek, T.: Outdoor flocking and formation flight with autonomous aerial robots. In *2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. IEEE (2014) 3866–3873.

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 sajátperdületje, 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.

kvantumszámok										Pauli- elv	
gyenge izospin		szín	íz (flavour, zamat)				leptonszám	barionszám			
T	T ₃	a = r, g, b anti: $\bar{a} = \bar{r}, \bar{g}, \bar{b}$	C	S	T*	B*	L	B			
							0	0		nem érvényes	
							0	0			
							0	0			
							0	0			
							0	0			
							0	0			
		$\bar{a}_i \bar{a}_j$ $\bar{a}_i, \bar{a}_j = r, g, b \quad a_i \neq a_j$									nem érvényes
		$\bar{a}\bar{a}$	0	0	0	0	0	0			
		$\bar{a}\bar{a} \quad \bar{a}\bar{a}$	0	0	0	0	0	0			
		$\bar{a}\bar{a} \quad \bar{a}\bar{a}$	0	+1 -1	0	0	0	0			
		$\bar{a}\bar{a} \quad \bar{a}\bar{a}$	1	+1 -1	0	0	0	0			
		$\bar{a}\bar{a}$	0	0	0	0	0	0			
		$\bar{a}\bar{a}$	0	0	0	0	0	0			
		$\bar{a}\bar{a}$	0	0	0	0	0	0			
		rgb $\overline{\text{rgb}}$	0	0	0	0	0	+1	-1		
		rgb $\overline{\text{rgb}}$	0	0	0	0	0	+1	-1		
		rgb	0	-1	0	0	0	+1			
		rgb	0	0	0	0	0	+1			
		rgb $\overline{\text{rgb}}$	0	-1 +1	0	0	0	+1	-1		
		rgb $\overline{\text{rgb}}$	0	-1 +1	0	0	0	+1	-1		
		rgb $\overline{\text{rgb}}$	0	-1 +1	0	0	0	+1	-1		
		rgb $\overline{\text{rgb}}$	0	-2 +2	0	0	0	+1	-1		
		rgb $\overline{\text{rgb}}$	0	-2 +2	0	0	0	+1	-1		
		rgb $\overline{\text{rgb}}$	0	-3 +3	0	0	0	+1	-1		
										érvényes	
1/2	+1/2 -1/2						+1 -1	0			
1/2	-1/2 +1/2						+1 -1	0			
1/2	+1/2 -1/2						+1 -1	0			
1/2	-1/2 +1/2						+1 -1	0			
1/2	+1/2 -1/2						+1 -1	0			
1/2	-1/2 +1/2						+1 -1	0			
1/2	+1/2 -1/2	a \bar{a}	0	0	0	0	0	+1/3	-1/3		
1/2	-1/2 +1/2	a \bar{a}	0	0	0	0	0	+1/3	-1/3		
1/2	+1/2 -1/2	a \bar{a}	+1 -1	0	0	0	0	+1/3	-1/3		
1/2	-1/2 +1/2	a \bar{a}	0	-1 +1	0	0	0	+1/3	-1/3		
1/2	+1/2 -1/2	a \bar{a}	0	0	+1 -1	0	0	+1/3	-1/3		
1/2	-1/2 +1/2	a \bar{a}	0	0	0	-1 +1	0	+1/3	-1/3		

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 többi 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.

SiPM-TESZTELÉSSEL A PONTOSABB MÉRÉSÉRT

– a precíziós orvosi képalkotásban és a részecskefizikában

A SiPM (Silicon PhotoMultiplier, szilícium alapú foton számláló) egy félvezető-technológiával gyártott érzékelő, ami nagy sebességgel, másodpercenként akár milliárdszor is képes a felületére érkező fotonok számával arányos jelet adni. Ezt fogják használni az Európai Nukleáris Kutatási Szervezet (CERN) CMS (Compact Muon Solenoid) detektorának precíziós időmérő eszközében. A fizikai célok eléréséhez elengedhetetlen a szenzorok alapos tesztelése, és a CERN projektjében való részvétel számos kutatócsoport álma, egy igazi minőségi jelző az ipar számára is. *Ujvári*



Ujvári Balázs fizikus, adjunktus lassan 20 éve a Debreceni Egyetem oktatója. Két nagy részecskefizikai központ, a CERN és a BNL csoportok vezetője. Évente tucatnyi egyetemista – BSc/MSc – és PhD-hallgató témavezetője, általában a részecskefizika és a detektorok témaköréből.

Balázs vezetésével a Debreceni Egyetem CMS csoportja ezért jelenleg százezernyi SiPM tesztelését vállalta egy másik projekt keretében, amely fontos mérföldkő lehet számukra, hiszen esélyt adhat bekerülni a CERN projektjébe. Erről és a SiPM tesztelés precíziós orvosi képalkotásban várható jelentőségéről beszélgettünk Ujvári Balázzsal, a Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológia Kara Fizikai Intézetének adjunktusával.

– *Miért különleges az Ön által vezetett kutatás, amelynek során SiPM félvezető technológiával gyártott érzékelőt tesztelnek?*

– A fotonok számlálásának sok évtizedes múltja van, az ipar több jól működő szenzort képes tömegtermelésben előállítani, ezzel segítve a költséghatékony detektorok elterjedését a fizikában, de még inkább az orvosi képalkotásban (például PET). A felhasználási feltételek azonban sokat változtak, ma erős mágneses térben is működő, nagyon gyors és vékony, nagy dinamikai tartományban lineárisan mérni képes érzékelőre van szükség. Ezeket az igényeket ma csak SiPM szenzorokkal lehet lefedni, de