

LANG ÁGOTA

Szeret(ne)-e Isten részecskékkel kártyázni?

Arra vonatkozóan, hogy kockázni szeret-e, megoszlanak a vélemények. Einstein szerint „Isten nem kockázik”, míg Hawking szerint „Isten nemcsak kockázik, hanem néha oda dobja a kockákat, ahol nem lehet látni azokat.” Einstein ezzel a mondásával arra célzott, hogy számára nem szimpatikus a kvantummechanika valószínűségeen alapuló értelmezése. Akkor vajon mit szólna ma egy olyan tudományos bejelentéshez, amely szerint „a CMS detektor legújabb eredményei szerint egy új részecskét találtak 125,3 \pm 0,6 GeV tömeggel¹ és 4,9 szigma valószínűséggel” (a CERN 2012. július 4-i közleményéből)? Ha még hozzávesszük, hogy ez az új részecske a fizikusok reményei szerint az „isteni részecske”, akkor teljesen jogosnak tűnhet a cím. A kérdésnek azonban részéről nincsenek mély filozófiai gyökerei, hanem egy, a kifejlesztői által egyszerűen *Részecskés kártyajáték*nek elnevezett pakli adta hozzá az ihletet. Először 2010-ben, a 19. Ifjúsági Tudományos és Innovációs Tehetségkutató Verseny díjazott, illetve dicséretben részesített pályamunkáinak² bemutatóján volt alkalmam játszani vele, méghozzá az egyik kitalálója, *Török Csaba* ellen (a társa *Csörgő Judit*). Nem sok esélyem volt, de a játék nagyon megtetszett. Felderengett előttem, ahogyan diákjaim magyar kártya helyett majd ezzel verik a blattot az iskolában – mit ne mondjak, megtetszett ez a kép. Ugyan két évet kellett rá várnom, hogy valamilyen szinten valóssá váljon, de 2012-ben több alkalommal „teszteltem” a kártyát.

Mielőtt azonban bemutatnám magát a kártyacsomagot és elmesélném, hogy miért is jó, ha ultizás helyett „antiznak” a fiatalok, ismételjük át egy kicsit, mit is tudunk a részecskékről napjainkban! Az oszthatatlannak hitt atom 1897-ben esett szét negatív töltésű elektronokra és egy pozitív töltésű

részre. Ehhez a kezdőlökést *J.J. Thomson* adta, aki beazonosította az általa elektronnak elnevezett részecskét (és ettől kezdve ő lett Mr. Elektron). A pozitív töltésű részről *Rutherford* szórás kísérletei szolgálták felvilágosítással, bár ezek eredményeit – képzeljük el, hogy egy tekegolyót begurítunk a bábok közé, és az visszagurul hozzánk³ – nem volt egyszerű értelmezni. Rutherfordnak is több hónapja telt, amíg megtalálta a legjobb magyarázatot: a bábuk között van egy nagy tömegű, és ha éppen azt találjuk el, akkor arról visszapattan a golyó. Azaz a pozitív töltésű rész kicsiny méretű, de nagy tömegű – ez az atommag nevet kapta. Ezek alapján Rutherford úgy képzelte el az atomot, hogy az elektronok keringenek az atommag körül, mint a bolygók a Nap körül. Ez az elképzelés annyira látványos, hogy még ma is sokszor így rajzolják meg az atomot, bár már tudjuk, hogy az elektronok mozgását a cikázik ige jobban leírja. Az atommagot tehát egy úgynevezett elektronfelhő veszi körül, amelyen belül az elektronok bárhol előfordulhatnak, de a maghoz közelebb nagyobb valószínűséggel. A legegyszerűbb elem, a hidrogén atommagja külön elbánásban részesült, ugyanis saját neve lett: proton. Ezt azzal érdemelte ki, hogy az akkori mérések szerint minden atommag tömege az ő tömegének egész számú többszöröse volt. Így, az 1900-as évek elején, logikusnak tűnt az elképzelés, hogy a magot protonok alkotják. Azonban volt egy kis bibi: a töltés alapján kevesebb protonnak kellene lennie a magban, mint a tömeg alapján. A problémát a neutron oldotta meg 1932-ben, *Chadwick*nek köszönhetően, mivel tömege közel annyi, mint a protoné, de elektromosan semleges.

Ezzel a három részecskével egészen jól elváltak a fizikusok a XX. század elején, úgy látszott, hogy belőlük minden összerakható. Persze, néhány jelenség azért sejtetni engedte, hogy nem ilyen egyszerű az élet. Például a radioaktív b-sugárzást előidéző bomlásoknál nem stimmel az energiamérleg. *Pauli* szerint a hiányzó energiát egy huncut kis részecske viszi el, ami semleges és nagyon kicsiny tömegű, és ezen tulajdonságai miatt nagyon nehéz elcsipni. Az akkor

még csak feltételezett részecskét neutrínóknak nevezték el, és csak kb. 20 évvel később sikerült detektálni. Bár a neutrínók körülvesznek minket – pl. a Napból is nagyon sok érkezik, és amíg ezt a mondatot elolvassa a kedves olvasó, több millió neutrínó halad át a testén –, a mai napig sem ismerjük a pontos tömegüket.

A másik új részecske *Dirac*-ot kergette kis híján örületbe. Egyenletének ugyanis az elektron mellett egy másik megoldása is volt, amelyről azt lehetett tudni, hogy szinte minden tulajdonsága – pl. tömeg, töltés nagysága – megegyezik az elektronnal, csak éppen pozitív előjelű a töltése. Ezért is lett a neve pozitív elektron, azaz pozitron, aminek sikerült megszereznie az elsőséget az antirészecskék között. Felfedezésére itt is várt két év a dirac-i jóslathoz képest, de 1932-ben *Anderson* kb. 5 km magasságban kimutatta a nyomát egy ballonban felküldött ködkamrában. Lentebb azért nem találkozunk vele, mert nagy valószínűséggel összeakad egy elektronnal, és lejátszódik az, ami minden részecske-antirészecske pár találkozásakor: a tökéletes megsemmisülés, amely során két nagy energiájú gamma-foton keletkezik belőlük. A részecskék mellé tehát kezdtek felsorakozni a párjaik: az antirészecskék. Rájuk az jellemző, hogy ellentétes töltésűek, mint a részecske-párjaik. A „töltés” szót a fizikusok itt tágabb értelemben használják, és nem csak az elektromos töltést értik alatta, hanem a részecskék jellemzésére bevezetett újabb mennyiségek közül a lepton- vagy bariontöltést és a helicitást. Azért fontos ezt megemlíteni, mert különben nem érthetnénk meg, hogyan létezhet antineutrínó, mikor a neutrínó elektromosan semleges.

Ugyancsak a kozmikus – vagyis az űrből a Földre érkező – sugárzás vizsgálata során bukkantak rá a műnionak elnevezett részecske nyomaira 1936-ban, hasonló módon, mint a pozitronéra. A műion bizonyos szempontból az elektronnal mutat rokonságot, de tömege kb. 200-szor nagyobb annál.

Eddig még csak számon lehetett tartani a részecskéket, azonban a technika fejlődésével az 1950-es évektől rohamosan nőtt a számuk. Ez egyrészt a detektálásra alkalmas eszközök finomodásának köszönhető,

1 Az MeV (megaelektronvolt) az energia részecskefizikában használatos mértékegysége. Azonban az Einstein-féle $E=mc^2$ összefüggés alapján a fizikusok gyakran a részecskék tömegét is ebben az egységben adják meg.

2 A *Részecskés kártyajáték* – Csörgő Judit, Török Csaba pályázók és mentoruk, Csörgő Tamás műve – kiemelt dicséretben részesült ezen a versenyen.

3 Leon Lederman: *Az isteni atom című könyve* alapján

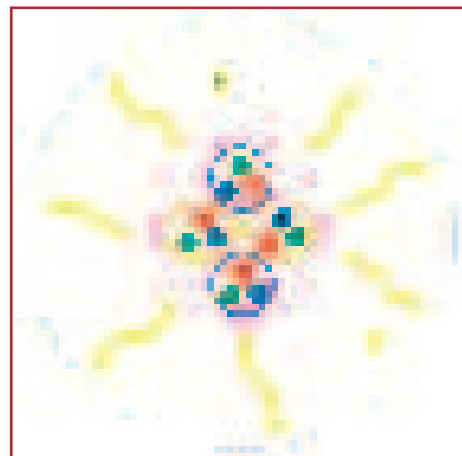
másrészt a részecskegyorsítóknak. A fizikusok számára új terepet jelentett a kozmikus sugárzás mellett a felgyorsított részecskék ütközése során lejátszódó reakciók vizsgálata, az ezek során keletkező részecskék azonosítása. Így egyre nőtt a részecskék népes tábora, manapság több mint 300 részecskét tartanak számon. Ezek közül még néhányat megemlítek: pionok (p) – több változatban: mindkét féle elektromos töltéssel és semleges is van –, kaonok (ugyancsak K^+ , K^- , és K^0 formában), tau-részecske (t).

Ennyi részecske között csak úgy ismerhetjük ki magunkat, ha rendbe szedjük őket, azaz valamilyen szempont(ok) alapján csoportokba soroljuk őket. Első körben tömeg szerinti csoportosítást hajtottak végre a tudósok. Eszerint vannak a könnyű részecskék, az ún. leptonok – ide tartozik az elektron, müon, tau-részecske és neutrínó-társaik –, illetve a nehezebb részecskék: a hadronok. Őket szétválogatták még mezonokra (ezek a középnehéz részecskék, mint például a pionok vagy kaonok), illetve barionokra (ezek pedig a szupernehéz részecskék, mint például a proton, neutron). A hadronok jelentős tömege felvetette annak lehetőségét, hogy ők nem elemi, azaz tovább nem bontható részecskék, hanem még „laknak” bennük mások. Így indult meg a vadászat a kvarkok után, amely sikerrel járt: hat különböző kvarkot sikerült azonosítani, évek kemény munkájával. Ezek pl. tömegükben térnek el, míg töltésük pontosan kétféle lehet: az elektron – addig eleminek tekintett – töltésének (-) egyharmada vagy (+) kétharmada. Ezzel megint megdőlt egy oszthatatlanság: az elektron töltése nem a legkisebb többé.

A kvarkok felfedezésével pillanatnyilag 12 építőelemre tudják a fizikusok visszavezetni az anyagot: a hat leptonra és a hat kvarkra (illetve ezek antirészecskéire). A mezonokat két kvark alkotja, a barionokat három. Természetesen a kvarkoknak egyrészt úgy kell kombinálódniuk, hogy tömegük és töltésük összege kiadja a belőlük felépülő részecske tömegét és töltését, de emellett még egy újabb fontos szabály is belépett, annak köszönhetően, hogy a kvarkok rendelkeznek úgynevezett színtöltéssel. Ez háromféle lehet: piros, kék és zöld és mind a hatféle kvark rendelkezhet bármelyik színnel. Ez a tulajdonság azért lett a színekről elnevezve, mert az RGB színkeveréshez hasonlóan, ahol a 3 szín összekeverve fehéret ad, a 3 fajta színtöltés is semlegesíti egymást. Tehát a barionokban a három kvark színe eltérő kell, hogy legyen, hiszen maguk a barionok „fehérek”, nincs színtöltésük. Hogyan működik ez a mezonokban, amelyeket csak két kvark alkot? Ezek közül az egyik antikvark kell, hogy legyen, aminek a színtöltése is „anti”. Ha egy mezonban a kvark pl. piros, akkor a mellette lévő antikvark színtöltése „antipiros”.

Az 1. ábra segítségével ismételjük át az eddig olvasottakat egy héliumatom segítségével! (Meggjegyzem, hogy az ilyen ábrák nem méretarányosak – nem is tudnak azok lenni, hiszen az atom mérete minimum százszorosa az atommagénak.) Az atomon (szürke) belül megtaláljuk egy elektronfelhő (sárga) közepében az atommagot (magenta), amelyet 2 proton (narancs) és két neutron (sötétlila) alkot. Mivel ők barionok, ezért 3–3 kvarkból épülnek fel, amelyek eltérő színűek. Azonban amíg a protont 2 u-kvark és egy d-kvark alkotja, addig a neutront pont fordítva: 2 d-kvark és egy u-kvark.

Itt az ideje, hogy a kvarkokkal is közelebbről megismerkedjünk a 2. ábra táblázatának segítségével! Itt a töltés egysége az elektron töltése, és mindenki ellenőrizheti, hogy pl. a neutronban lévő kvarkok



1. ábra. A „feltört” atom belseje

Neutrínó	Lepton	kvark	Mezon	Barion
ν_e	e^-	u	$u\bar{d}$	uud
ν_μ	μ^-	d	$d\bar{u}$	udd
ν_τ	τ^-	s	$s\bar{c}$	usc
$\bar{\nu}_e$	e^+	\bar{u}	$\bar{u}d$	$\bar{u}ud$
$\bar{\nu}_\mu$	μ^+	\bar{d}	$\bar{d}u$	$\bar{d}ud$
$\bar{\nu}_\tau$	τ^+	\bar{s}	$\bar{s}c$	$\bar{u}sc$

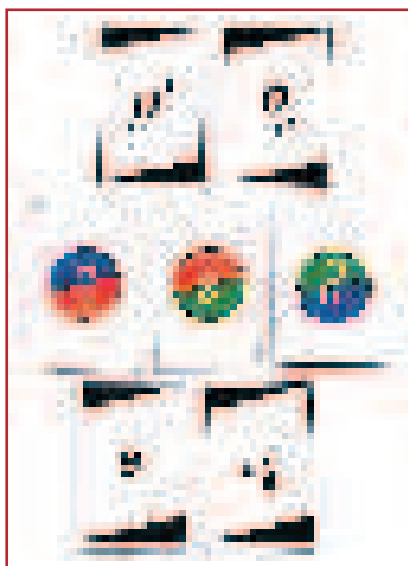
2. ábra. A 6 kvarktípus és jellemzőik

össztöltése: $2 \cdot (-1/3) + (2/3) = 0$, azaz valóban elektromosan semleges bariont kapunk. Ahogyan már említettem, a kvarkok tömege különböző, ez a táblázatban lefelé növekszik.

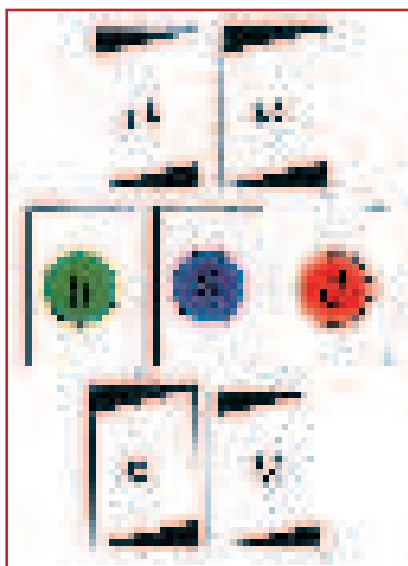
Úgy tippeltem, a kedves olvasó most teszi fel a kérdést: na, akkor kártyázunk már végre? (Legalábbis a diákjaim kb. itt tették fel. ☺) Igen, egy pillanat, de ne menjünk el a részecskék eltérő tömege mellett, hiszen a CERN Nagy Hardonütköztetőjében (LHC) folyó kísérletek egyik célja megválaszolni azt a kérdést, hogy miért lett más a tömege az elemi részecskéknek? Roppantul leegyszerűsítve az egyik elképzelést, amely Peter Higgs nevéhez fűződik, azt mondhatom, hogy van itt a sarokban még egy részecske elbújva, ami annakidején leosztotta, hogy ki mekkora tömeget kapjon. Ő lenne a Higgs-részecske (higgs) vagy „isten-részecske” és őt szeretnék elkapni a nagy energiákon fo-

lyó kísérletekben. Ugyanis ez az „annakidején” olyan magas hőmérsékleten és a hozzá tartozó nagy energiájú állapotában történt a táguló anyagnak, amikor még a kvarkok is szabadon mozoghattak. A fizikusok reményei/számításai szerint ez TeV^4 nagyságrendű lehet, és az LHC-t is erre az energiára tervezték. Aztán ahogy a tágulással csökkent a hőmérséklet és a részecskék energiája, a kvarkok egy életre bezáródtak a mezonokba, illetve a barionokba. Legközelebbi esélyük a kiszabadulásra a Nagy Reccsben lenne, amikor is a jelenleg táguló anyag sarkon fordulván, ismét összetalálkozik egy pontban. Azonban az Univerzum jövője – amelynek a Nagy Reccs csak az egyik lehetséges kimenetele – azon múlik, van-e a neutrínóknak tömege, és ha igen, mekkora.

4 TeV: terraelektronvolt, a MeV milliószorosa



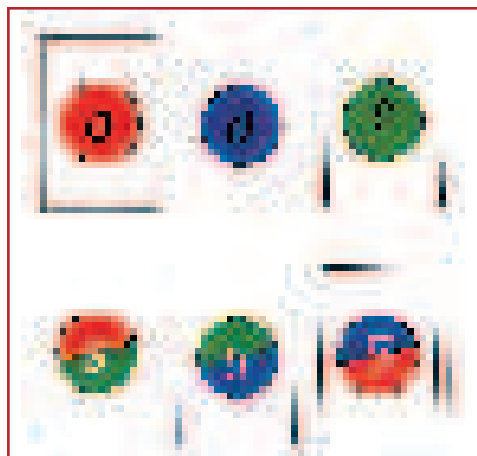
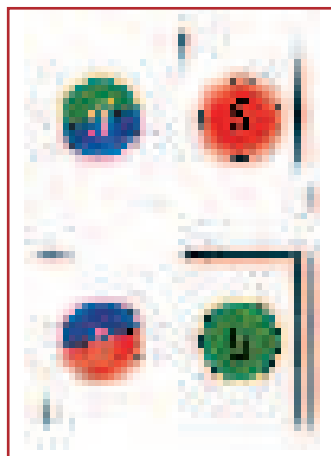
3. ábra. Részecskék a kártyajátékban...



4. ábra. ... és antirészecskék

Na, jó, azt hiszem, most kell kiterítenünk a kártyalapokat!

A Részecskés kártyajáték lapjain az anyagot felépítő 12 részecskéből a következőket szerepeltetik: 4 leptont (e^- , m^- , ezek neutrínó-párjai: n_u , n_m) illetve ezek antirészecskéit, valamint 3 kvarkot (u , d , s) – mindhárom színben –, illetve ezek antirészecskéit: mindhárom antiszínben. Azért ezek a kiválasztottak, mert ők fordulnak elő gyakrabban a természetben is. Ugyanez tükröződik abban, hogy a kvarkok között kevesebb az s -kvark, és antikvarkból csak éppen annyi van, hogy minden fajta és színű kvarknak legyen egy antirészecskéje. Ahogy az a képen látható, az antiszín ötletesen úgy oldották meg, hogy pl. az antipiros felelésben kék, felelésben zöld, így nem kérdés, hogy egy pi-

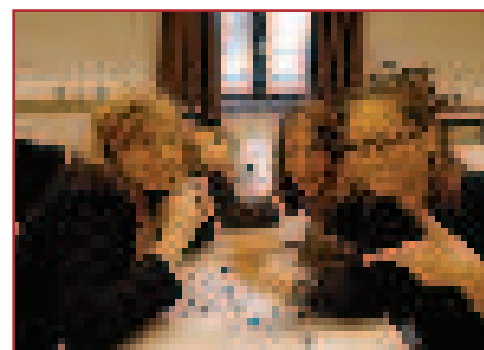


5. ábra. Mezonok, barion és antibarion összeállítása a kártyalapokból

ros színtől téssel kerülhet csak egybe. A leptonok – hogy ne keveredjünk meg a színekkel – sima fekete jelölést kaptak.

És akkor végre játszunk! Kártyákkal lehet természetesen kártyázni, de lehet memóriajátékot is játszani, vagy éppen egy Ősrobbanást szimulálni. Utóbbihoz a kártyákat részecskés oldalukkal felfelé egy kis kupacba felhalmozzuk – ez a kvarkanyag, amelyet hagyunk tágulni, azaz a játékosok rávetik magukat és elkezdnek keresgélni benne. Először a neutrínókat kell kiválogatni közös erővel, és ezekért nem jár pont, mivel őket nagyon nehéz detektálni. Ezután az e^-e^+ illetve m^-m^+ párok begyűjtése folyik, most már pontért. Ez a lépés azt szimbolizálja, hogy a magas hőmérsékleten lepton-antilepton párok keletkeznek (ez a tökéletes megsemmisülés ellentétes folyamata), amelyek elhagyják a kvarkanyagot. Végül a játékosok igyekeznek olyan kvarkokra szert tenni, amiből össze tudnak tenni valamilyen mezonot vagy bariont vagy antibariont. A képek segítenek felidézni, mit is mondtunk ezek összetételéről. Haladó szinten csak akkor vehetik ki a 2 vagy 3 kártyát, ha azt is megmondják, hogy milyen részecskét alkotnak ezek. (Például a képen a felső mezon egy semleges antikvark, az alsó egy pozitív kvark, a barion egy negatív szigma-részecske, alatta pedig egy pozitív anti-sigma részecske – nos, sok sikert!)

A szerzők az „Anti” nevet adták annak a játéknak, ami engem a pasziánsz két résztvevős változatára emlékeztet. A játékosok megfelelő kártyacsomagot és mindig 4 lapot fordíthatnak fel belőle maguk előtt. A közös rész, ahova pakolni lehet, szintén 4 kártyával indul, mégpedig a széleken 2 lepton, középpütt pedig kvarkok és/vagy antikvarkok. Ezekre lehet a játékosoknak rátenni a saját lapjaikból, szigorúan betartva a természet szabályait, így például a színtöltésre vonatkozó szabály szerint egy bizonyos színre rakhatjuk az antiszínét vagy a két másik színt. A másik fontos szabály az



A lányok neutrínóvadászok lesznek!

elektromos töltés megmaradását szemlélteti, így pl. bármilyen + töltésű részecskére rátehetünk bármilyen – töltésűt és viszont. A cél: mihamarabb megszabadulni a kártyáinktól. Sorrend nincs, az a játékos tesz, akinek van mit tennie és gyorsabb. Azonban néha érdemes átfogó tekintetet vetni a négy középső lapra, ugyanis bizonyos állásoknál „anti”-t bemozdva felvetethetjük az ellenféllel az addig lepakolt lapokat, meg-növelve ezzel saját győzelmünk esélyét. Tipikus antihelyzet, ha középen egy kvark mellett az antirészecskéje van, természetesen megfelelő antiszínrel, vagy ha a széleken lepton-antilepton párok vannak. Talán a legegyszerűbb antieset, ha minden lapon antirészecskét látunk. Természetesen, ha valaki antit mond úgy, hogy nem áll fenn, akkor ő öröklí meg a lerakott lapokat. Így aztán nem lehet büntetlenül dobálózni az „antik”-kal, hanem oda kell figyelni.

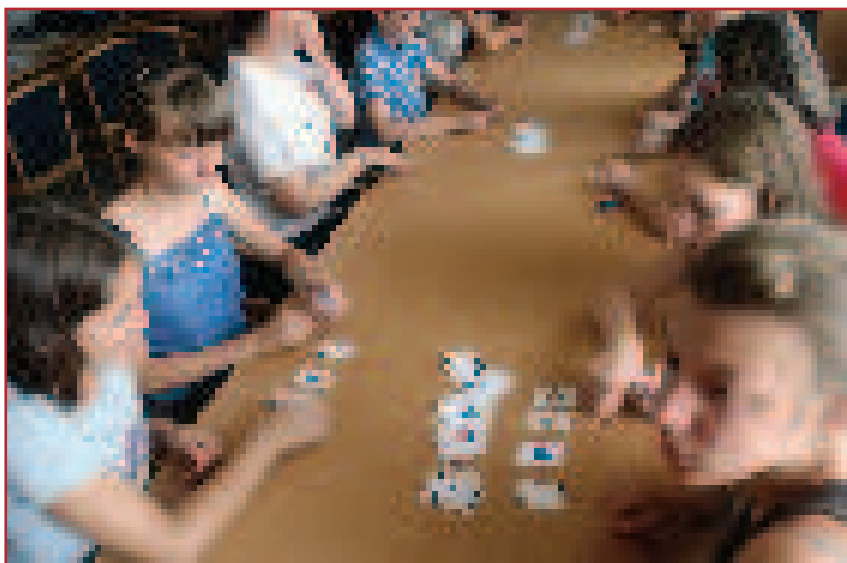
Az úgynevezett Kvarkanyag memóriajáték is kicsit átalakított szabályokkal fut a jól ismert memóriajátékokhoz képest. Itt ugyanis nem egyforma lapokat gyűjtögetünk, hanem lepton-antilepton párokat, mezonokat, sőt, ha olyan az első két felfordított lap, hogy lehet belőle barion vagy antibarion, akkor egy harmadikkal is meg lehet próbálkozni. Az abszolút nyerő játékos azonban az, aki



Gyűlnek a leptonpárok, mezonok, barionok a memóriajátékban

megtalálja a kvarkanyagban a higgst. Remélem, hogy most sokan felkapják a fejüket: hogyan, hát a higgs nem egy új részecske? Akkor hogy szerepelhet a kártyalapok között? A helyes válaszok: de igen, tehát sehogy. Azonban, ahogy a kvarkokat sem tudták közvetlenül detektálni, hanem csak az ütközés során bekövetkezett átrendeződésükből keletkezett részecskéket; így a higgs sem mutatja meg magát közvetlenül, hanem csak a bomlásain keresztül, azok végtermékeit a nyomokból beazonosítva lehet rá következtetni. Ilyen végtermék lehet például két tetszőleges lepton-antilepton pár, vagy két töltött lepton és neutrínó/antineutrínó párjaik. A Higgs-részecske – pontosabban ezt Higgs-eseménynek nevezik – tehát négy leptonból áll. A játékos két lap felfordítása után – amennyiben azokból akár egy higgs is kikerekedhet – bevállalhat még kettőt. Ha bejön neki, akkor ezzel megnyeri a játékot, ha nem, akkor pl. kimaradással érdemes „büntetni”. Ezt a játékot a kártyákhoz mellékelte 2009-es kiadású könyvecske természetesen még nem tartalmazta. Ez jól mutatja, hogy a Részecskés kártyajáték napjaink felfedezéseihez tökéletesen aktualizálható.

Az említett könyvecske ajánl még két másik játékot is, de nekem a fenti három tetszik legjobban, így a diákjaimnak is ezeket mutattam meg. Örök problémám volt, hogy egy karácsonyi szünet előtti órát vagy a tanév utolsó óráját mivel töltsen ki, hogy valami haszna is legyen, de mégis eltérjen a szokványos tanórától. Ezekkel a játékokkal azonban úgy lehet feldobni ezeket az órákat, hogy közben a részecskefizika alapjaival is megismerkednek a diákok. Előtte azért még rá szoktam szólni egy órát arra, hogy a szükséges fogalmakkal és törvényekkel (pl. szintöltés és ahhoz tartozó szindinamika) tisztában legyenek, mire a játékszabályokat olvassák. Ezeket vagy kivetítem, vagy egy nagy papírra felírva kiteszem a falra, hogy mindig ott legyen a szemük előtt. Mert azért kezdetben



Itt éppen „antiznak” a tábor résztvevői

nehéz észben tartani az anti-eseteket vagy éppen a Higgs-eseményt. A harmadik-negyedik körre azonban már nagy része rögzül, és így szép csöndben belopódzik egy kis részecskefizika a fejekbe. A szerzők 5–99 éves korig ajánlják a játékot, így bármelyik évfolyamon bevethető. Sőt, tavaly a 12 éveseknek szervezett nyári táborunkban is kipróbáltuk. Nos, ha valószínűleg teljes mélységéig nem is látták át a szabályok jelentését, de ők is nagyon jól szórakoztak. Sőt, ez a játék annyira megihlette a tábor szervezőit, hogy a számháborút is átalakítottuk, és nem számokat írtunk a fejen viselendő papírra, hanem 3 (színes) kvark kombinációját.

Végezetül néhány vélemény arról, hogy a diákok miért élvezik.

„Izgalmas, gyors játékmeneteket nyújt. Jó volt játszani társaimmal, és közben belegondolni, hogyan épül fel a Világegyetem.”

„Sok érdekes dolgot megtudtunk a ré-

szecskék tulajdonságairól. Az pedig ráadás volt, hogy mindezt játékos formában tehetjük. Csak az volt a baj, hogy kevés volt az idő a játékra.” (mármost az egy tanóra...)

„Az elején unalmasnak tűnt a játék, de amikor kezdtem megérteni és beleélni magam, akkor egyre izgalmasabb lett.”

„Érdekes volt elszakadni a fizikafüzetétől és játékosabb módon szerezni ismereteket a részecskefizika terén.”

„Szerintem a gyorsaságot és a koncentrációs készségét fejleszti, amellett, hogy új ismereteket is tudunk szerezni a keletkezésével kapcsolatban.”

Visszatérve a címben feltett kérdéshez: számomra úgy tűnik, Isten szeret kártyázni – akár részecskével is, de tart 1–2 lapot talonban. Reméljük, hogy a Nagy Játsszma-ban a fizikusok hamarosan rá tudják venni, hogy ezeket is felfordítsa és immáron telje-

sen nyílt kártyalapokkal játsszon. A CERN-ben kezd a Játsszma a tudósok javára fordulni – de legalábbis döntetlenre állnak. Addig is, amíg eldől a végső eredmény, játsszák le otthon kicsiben ezeket a partikat. Garantáltan élvezetes szórakozás!

IRODALOM

Simonyi Károly: A fizikai alap kutatások frontvonal a harmadik évezred küszöbén (A Természet Világa pótfüzete, 1995. szeptember)

Kiss Dezső–Horváth Ákos–Kiss Ádám: Kísérleti atomfizika (ELTE Eötvös Kiadó, 1998)

Leon Lederman: Az isteni atom (TYPOTEX Elektronikus Kiadó Kft, 1995)

Csörgő Judit–Török Csaba–Csörgő Tamás: Részecskés kártyajáték (Elemi részecskék játékosan, kártyamelléklettel)

Csörgő Tamás: Hogyan csináljunk kártyajátékból Higgs-bozont?