

HOGYAN CSINÁLHATUNK KVARKANYAGBÓL HIGGS-BOZONT? – II. RÉSZ

Csörgő Tamás
MTA Wigner FK Részecske és Magfizikai Intézet

3. rész:

Kutatásaimról közérthetően, és játékosan:
kvarkanyagból Higgs-bozont!

Bevezető: a részecskés kártyajáték rövid története
és első nemzetközi visszhangja

A természettudományos műveltség hazai háttérbe szorulását, például a középiskolai matematika és fizika óraszámok jelentős csökkenését érzékelve, újjászerveztem volt középiskolámban, a gyöngyösi Berze Nagy János Gimnáziumban a diákkoromban ott nagyszerűen működő természettudományos önképzőkört, új nevén a BerzeTÖK-öt. Ebbe az Önképzőkörbe azután rendszeresen meghívtam tudós barátaimat, akik saját kutatási területükről, sok esetben a részecske- és magfizika területéről tartottak előadást a Berze érdeklődő diákjainak és tanárainak, valamint bátorítottam és bátorítottuk a diákok és tanárok önálló előadásainak megtartását is, egy általuk érdekesnek tartott, természettudományokhoz kapcsolódó probléma feldolgozását, egy érdekes matematika- vagy fizikapélda szép megoldását, vagy egy tudománnyal kapcsolatos hír elemzését. Ebben a szellemi közegben egy új ötlet szikrája pattant ki az egyik önképzőkörös diák, *Török Csaba* fejéből: nevezetesen az elemi részecskék modern periódusos rendszerét, a Standard Modellt kártyalapok segítségével is meg lehet jeleníteni. Kislányom, az Önképzőkör akkori elnöke, *Csörgő Judit* továbbította számomra *Török Csaba* ötletének hírért, szakmai mentorként magam is bekapcsolódtam a játék kialakításába, olyan modern eredmények felé terelve a játék fejlesztését, mint a RHIC gyorsítónál 2010-ben hivatalosan is felfedezett kvarkanyag (a kvarkok közel tökéletes folyadék, korábbi nevén kvark-gluon plazma) vagy a 2012-ben a CERN LHC gyorsítójánál felfedezett, közel 126 GeV-es tömegű új részecske vizsgálata, amelynek legalább egy tulajdonsága megegyezik a részecskefizika Standard Modelljéből még fel nem fedezett, utolsó hiányzó részecske, a Higgs-bozon tulajdonságaival. Kártyajátékunk jelentős nemzetközi és hazai sikert ért el: a RHIC gyorsítót üzemeltető Brookhaveni Nemzeti Laboratórium (USA) játékunk ismertetésével köszöntötte portálján a 2011-es évet, fejlesztésünkről beszámolt a *Brookhaven Bulletin*, a *CERN Courier*, az igen rangos *Science Magazin*, illetve itthon a Magyar Tudományos Akadémia portálja is. Munkánk lényegét és első eredményeit egy kártyamelléklettel ellátott kis könyvben adtuk ki [16].

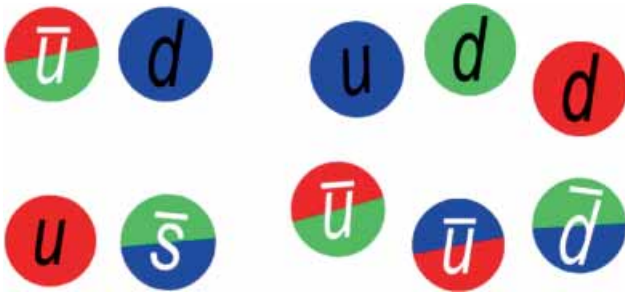
A továbbiakban legújabb fejlesztéseinket ismertetem, de előbb még megemlítek néhány történeti érdekességet. Elsőként azt, hogy a Részecskés Kártya-

játék 2. díjat nyert az ELTE 2011-es Hallgatói Innovációs Pályázatán, és kiemelt dicséretben részesült a 19. Országos Ifjúsági Innovációs Vetélkedőn. Jelenleg a második magyar nyelvű kiadása hazai piaci forgalomban, a második angol nyelvű kiadása pedig nemzetközi forgalomban kapható, szellemi tulajdonát az USA Brookhaveni Nemzeti Laboratórium technológia transzfer irodáján keresztül benyújtott USA szabadalom, valamint megadott EU és magyar formatervezési mintaoltalom is védi, német és olasz nyelvű fordítása előkészületben van. A következő részben az előkészítés alatt álló, harmadik magyar és angol nyelvű kiadás új fejezeteiből nyújtok előzetest. Ide tartozik az a számomra meglepő, váratlan öröm is, hogy két eldugott kis faluból származó középiskolás önképzőkörös diák ötlete, munkája vezető hírré válhat a világ jelentős kutatóintézete, az amerikai Brookhaveni Nemzeti Laboratórium portálján. Ezen felbuzdulva indítványoztam a Magyar Természettudományos Önképzőköri Mozgalmat, a Magyar TÖK Mozgalmat, amely szellemi erők összefogásán alapul, célja szellemünk művelésének segítése, a nagy múltú magyar természettudományos kultúra és műveltség színvonalának emelése.

Kvarkanyagból Higgs-bozont!

A Részecskés Kártyajátékhoz kapcsolódó legújabb fejlesztésünk a 2012-es év egyik tudományos újdonságához, a CERN LHC ATLAS és CMS kísérleteinek nyári sajtótájékoztatójához kapcsolódik, ahol megtudhattuk, hogy az LHC 7 és 8 TeV-es p+p ütközéseiben legalább egy, korábban nem ismert új részecske nyomait fedezték fel. Az új részecske legalább egy tulajdonsága megfelel a részecskefizika Standard Modelljében az utolsó hiányzó részecske, a Higgs-bozon tulajdonságainak, de még nem világos, hogy a Standard Modell Higgst, vagy egy korábban nem vizsgált, új részecskét, esetleg részecskéket fedeztek-e fel.

Ezen rész fő témája egy olyan új részecskés kártyajáték bemutatása, amely segítségével megismerhető és megismertethető a 2012-ben felfedezett új részecske néhány, már biztosan megismert új tulajdonsága, és játékos formában érzékelhető a felfedezés izgalma és nehézsége is. További szépséget ad ezen játékoknak az a tény is, hogy a játékok a *Részecskés Kártyajáték – Elemi Részecskék, Játékosan* című könyvünkben leírt, eredetileg a Standard Modell jól ismert leptonjait és kvarkjait jelképező kártyapaklival játszhatók [16]. Ez a kártyapakli azonban nem tartalmaz Higgs-bozont. Ez indokolja a címben feltett kérdést, amelyre remélhetően a cikk végére választ kaphatunk.



1. ábra. Részecskés kártyalapokból mezonok balra lent és fent, valamint barion és antibarion jobbra fent, illetve lent.

A Kvarkanyag Memóriája

Ebben a részben könyvünk [16] alapján ismertetem a *Kvarkanyag kártyajáték* rövid kivonatát. Ez volt az a játék, amelynek feltalálása felkeltette a kvarkanyagot felfedező Brookhaveni Nemzeti Laboratórium sajtósaínak és technológiatranszfer irodájának érdeklődését, tudományos szaklapokban és portálokon megjelent népszerűsítő cikkek, valamint szabadalmak sorát indítva el ebben a szerző számára is váratlan fordulatokkal és meglepetésekkel szolgáló történetben. Az egyik ilyen váratlan fordulat *Angela Melocoton*hoz, a BNL vendégkutatókat és az AGS és RHIC gyorsítók felhasználóit is fogadó GUW központ vezető adminisztrátorához fűződik. Angela asszony pozitív és lelkesítő hozzáállása tette lehetővé, hogy a 2011-es AGS és RHIC Felhasználói Találkozó (AGS and RHIC Users Meeting) alkalmából a BNL az általunk kifejlesztett *Kvarkanyag kártyajáték* leírását, valamint egy speciálisan erre a célra kialakított kártyapaklit ajándékozott minden regisztrált résztvevőnek. Tapasztalataink szerint az új felhasználók számára továbbra is ez a regisztrációs csomag részeként átadott ajándék a BNL-ben. Angela asszony az eredeti *Kvarkanyag játékot* kissé túlságosan fizikus játéknak találta, és családtagjaival egy új változatot fejlesztett ki, a Memóriajáték – Memory stílusú *Kvarkanyag játékot*. Ez az ötlet természetesen felvillanyozta a szerzőt, és Angela asszony játéknak leírását beillesztettük a BNL felhasználók részére kiadott, rendszeresített *Kvarkanyag játék* leírásába [17]. Ennek fordítását ismertetem alább.

A játékosok száma: tetszőleges.

A játék célja: minél több kártyalap minél gyorsabb összegyűjtése olyan módon, hogy észleljük a kvarkanyagból, a kvarkok tökéletes folyadékából képződő részecskéket (1. ábra), a kvarkanyag időbeli fejlődésének megfelelő módokon.

A játék menete: Az alaposan összekevert kártyapakliból kupacot készítünk, a 2. ábrának megfelelő módon, kezdő szinten a részecskéket ábrázoló kártyalapokat felfelé fordítva. Ez jelképezi a nehézion-ütközésekben létrejövő kvarkanyag, a tökéletes kvarkfolyadék kialakulását.

Ebből először a neutrínók távoznak, ezért a játékosok először a neutrínókat ábrázoló kártyalapokat válogatják ki. A neutrínókat egyenként, a kupacban történő turkálással kereshetik meg a játékosok. A ki-

válogatott neutrínós lapokért ebben a játékban nem jár pont, mert ezen részecskék annyira nagy áthatoló képességűek, hogy az egész Földön is képesek kölcsönhatás nélkül átsuhanni, így nem tudjuk őket detektálni a kvarkanyagot, más néven a kvark-gluon plazmát észlelő kísérletekben sem.

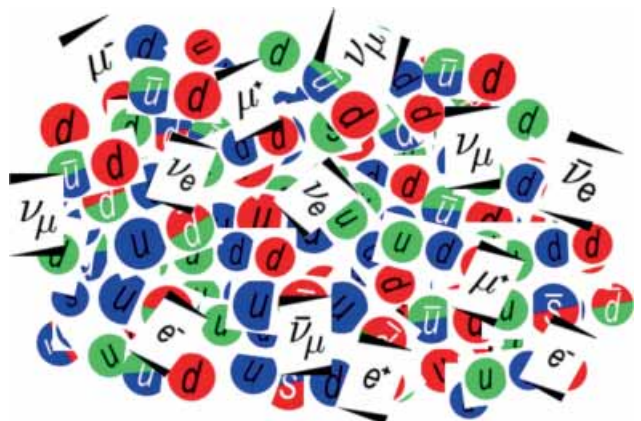
A következő szakaszban a kvarkanyag roppantul magas, tudományos Guinness-rekordnak számító 4 Terakelvines kezdeti hőmérsékete miatt [18] fellépő hőmérsékleti sugárzást észleljük, lepton-antilepton párok formájában. Az ily módon keletkező elektron-pozitron és müon-antimüon párok kiszöknek a plazmából, mert nem vesznek részt a kvarkokat összetartó erős kölcsönhatásban. Ezt jelképezve a játékosoknak lepton-antilepton párokat (e^-e^+ vagy $\mu^-\mu^+$ párokat) kell kiválogatniuk, továbbra is turkálva a kvarkanyagban. Ez a játék második szakasza.

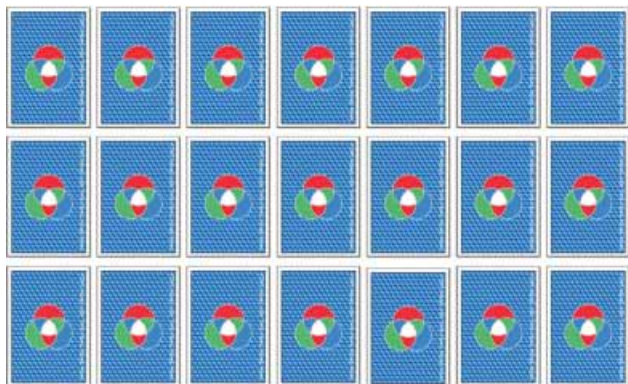
Az összes lepton kiválogatása és párosítása után megkezdődhet a játék harmadik, utolsó szakasza, a hadronizáció, a kvarkok és antikvarkok megfigyelhető részecskékké, hadronokká alakítása. Ebben a szakaszban a játékosok megfigyelhetik, hogy a turkálás során a kvarkanyag tágul és a részecskék száma csökken, ami a nagy kezdeti nyomás miatti tágulást modellezi. A hadronizáció során a játékosoknak a kvarkokból és antikvarkokból színsemleges, azaz a piros, a kék és a zöld színt egyformán tartalmazó kombinációkat kell alkotniuk. Az egy kvarkból és egy antikvarkból álló, színsemleges részecskéket mezonoknak, a három különböző színű kvarkból álló részecskéket barionoknak, a három különböző antiszínű antikvarkból álló részecskéket pedig antibarionoknak nevezzük.

A *Kvarkanyag kártyajáték* különböző nehézségi szinteken játszható, beleértve a teljesen kezdő, laikus szintet is [16]. Ebben a cikkben Angela Melocoton (BNL) ötlete alapján egy új, memóriatípusú kvarkanyag játékot is ismertetünk.

1. *Kezdő szinten* a játékosok nem ismerik a kvarkokból és az antikvarkokból kialakított hadronok neveit. Csupán azzal törődnek, hogy azonosítsák a neutrínókat, majd a leptonpárokat, és hogy a hadronok kialakításakor betartsák a színsemlegesség szabályát. A hadronok vagy mezonok vagy (anti)bario-

2. ábra. A *Kvarkanyag kártyajáték* kezdeti állapotának illusztrációja.



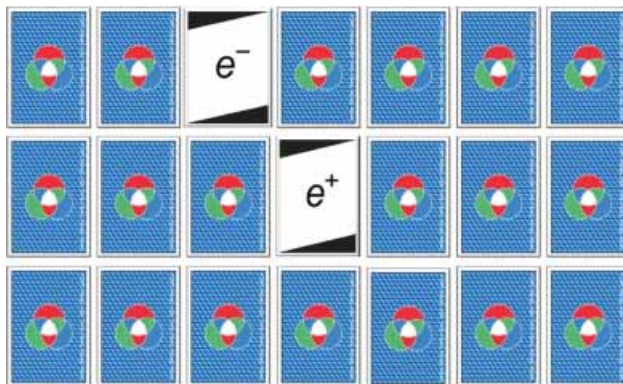


3. ábra. Kvaranyag memóriajáték kezdő helyzete (illusztráció, a tényleges játék nem 3×7 , hanem 6×11 lappal indul).

nok. Mezonokat kvark-antikvark párokból alkothatunk, olyan módon, hogy mind a három alapszín (piros, zöld és kék is) megjelenjék, például egy kék kvark és egy piros-zöld antikvark párosításával (1. ábra balra fent). Barionokat három kártya segítségével formálhatunk meg, egy-egy piros, kék és zöld színű kvarkos kártyalap segítségével (2. ábra jobbra fent). Az antibarionokat pedig három antikvarkból alkothatjuk meg, olyan módon, hogy mindhárom antiszín jelen van, tehát a piros/zöld, a zöld/kék és a kék/piros színeket kell kombinálnunk (2. ábra jobbra lent).

2. Középszinten a játék már a hadronok neveinek a megtanulását is szolgálhatja. A játékosok a [16] könyvben közölt táblázatokat használhatják fel ebből a célból. Ebben a változatban a játékosok az óramutató járásával megegyező irányban követik egymást, minden soron következő játékosnak egy hadron megalakítására van lehetősége, de ezt csak akkor tarthatja meg, ha meg tudja mondani a kirakott hadron nevét, különben a lapokat vissza kell tennie, és kimarad. Ezen a szinten a játéknak nem a győzelem, hanem a hadronok nevének megtanulása a fő célja, azonban megegyezés szerint győztest is lehet avatni: az nyer, aki a legtöbb leptonos és kvarkos kártyalapot gyűjti össze szabályosan.

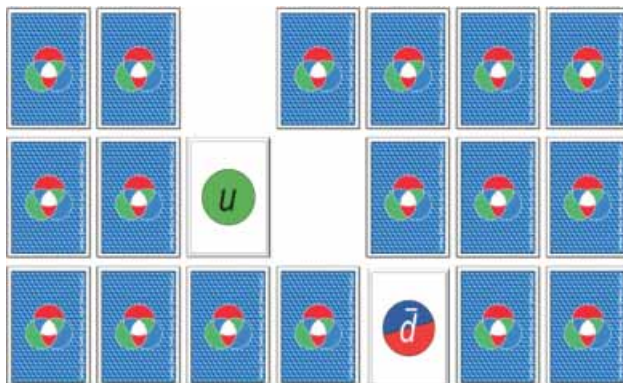
3. Haladó szinten a játékosok már ismerik a hadronok neveit. Ebben az esetben nem szükséges az egymás közti sorrend, bármelyik játékos bármikor kiszedhet a kupacból egy leptonpárt, majd ha a leptonok mind elfogytak, egy-egy hadront, olyan sebesen, ahogyan csak bír. A leptonpárokat és a kigyűjtött hadronokat minden egyes játékos maga elé rakja, lapokkal felfelé, jól elkülönítve egymástól a különböző kombinációkat. Ha középről az összes kártyalap elfogy, akkor a játékosoknak be kell mutatniuk és meg kell nevezniük leptonpárjaikat és a hadronjaikat. A helyesen megnevezett kombinációkért annyi pontot kapnak, ahány lapból áll: egy leptonpárért két, egy mezonért is két, míg egy barionért vagy antibarionért 3-3 pont jár. Megegyezés szerint rabolni is lehet, tehát ha az egyik játékos nem tudja helyesen megnevezni a saját lapkombinációját, az viheti el az érte járó pontot, aki azt először nevezi meg. A végén a legtöbb pontot összegyűjtő játékos nyer.

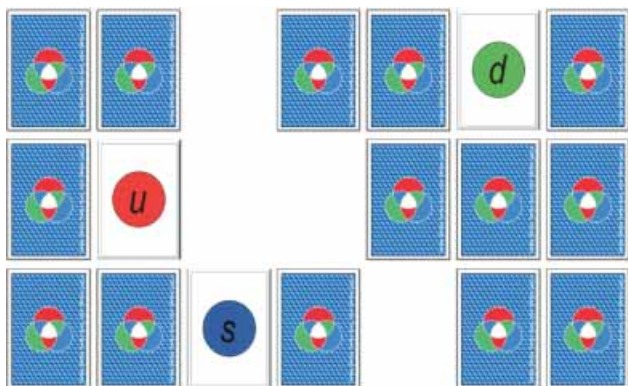


4. ábra. Két lap megfordítása után talált érvényes leptonpár a kvarkanyag memóriajátékban.

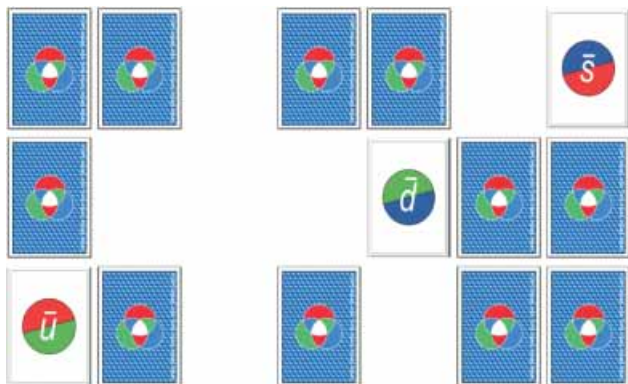
4. Memóriajáték, teljesen kezdők számára: ebben a változatban a játék kezdetén valamennyi kártyalapot lefelé fordítva helyezik az asztalra. Megegyezés szerint ez történhet a nehézion-ütközések által motivált nagy kupacban, de szabályosan is kirakhatják a lapokat, például egy 11×6 -os táblázat formájában is, ahogyan ezt a memoriterjátékokban szokás (3. ábra). A játékosok az óramutató járasa szerint, sorban próbálkozhatnak. A soron következő játékos két kártyalapot megfordíthat, úgy, hogy minden játékos láthassa, azok milyen részecskéket jelképeznek. A szokásos memóriajátékban akkor tarthatja meg ezeket a lapokat, ha mind a két lap egyforma. A Kvaranyag Memória játékban azonban akkor tarthatók meg a lapok, ha azok érvényes leptonpárt, vagy érvényes hadront alkotnak. Az érvényes leptonpárokat két fekete-fehér kártyalap alkotja, amelyek neutrínó-antineutrínó, elektron-pozitron, vagy müon-antimüon párt jelképeznek (4. ábra). Az érvényes hadronok színes lapokból alkothatók, vagy két lapból álló mezonok, vagy három lapból álló (anti)barionok. Az érvényes mezonok színes kvark-antikvark párok, amelyek színsemlegesek: mind a három szín megjelenik bennük (5. ábra) (az antikvarkokhoz két szín is tartozik egy-szerre). Az érvényes hármások vagy barionok, vagy antibarionok. A barionokat háromkvarkos kártyalap jelképezi, amelyek közül az egyik piros, a másik kék, a harmadik pedig zöld színű (6. ábra). Az antibarionok is érvényes laphármások, van bennük egy piros/

5. ábra. Az előző lépésben talált leptonpár kivétele után egy érvényes mezont talált a játékos.





6. ábra. Az előző lépésben kivett mezon után egy bariontalalat, ami szintén kivethető.



7. ábra. A 6. ábra barionjának kivétele utáni, érvényes antibariontalalat.

zöld, egy zöld/kék és egy kék/piros antikvar (7. ábra). Mivel lappárok vagy laphármasok is lehetnek érvényes kombinációk, az első két kártyalap felfordítása után három eset lehet:

a) ez érvényes leptonpár vagy mezon, ekkor a két lap kivethető, begyűjthető;

1. táblázat	
Néhány lehetséges Higgs-bozon bomlás, ahogyan azt megvalósíthatjuk a Keressünk Higgs Bozont – Játékosan című kártyajátékban	
Higgs-bozon (H^0) lehetséges bomlása	Végállapotú részecske/kártya bomlása
$H^0 \rightarrow \gamma, \gamma$ vagy $Z^0 Z^0$	$\rightarrow e^+ e^- e^+ e^-$
	$\rightarrow e^+ e^- \mu^+ \mu^-$
	$\rightarrow \mu^+ \mu^- \mu^+ \mu^-$
$H^0 \rightarrow W^+ W^-$	$\rightarrow e^+ \nu_e e^- \bar{\nu}_e$
	$\rightarrow e^+ \nu_e \mu^- \bar{\nu}_\mu$
	$\rightarrow \mu^+ \nu_\mu e^- \bar{\nu}_e$
	$\rightarrow \mu^+ \nu_\mu \mu^- \bar{\nu}_\mu$

Két olyan fekete-fehér (lepton) kártya felfordítása után, amelyek a táblázat jobb oldali oszlopában álló bármelyik leptonnégyessé, azaz lehetséges Higgs-bomlás végeredményéé egészíthető ki további két fekete-fehér kártyalap megtalálásával, a játékos „Higgs-bozont észlelhet”, és megnyerheti a játékot, ha valóban sikerül kiválasztania négy olyan lapot, amely megfelel a táblázat valamelyik sorának.

b) ez két különböző színű kvark vagy két különböző színű antikvar, ekkor egy harmadik lapot is megnevezhet a játékos, és ha érvényes barion vagy antibarion kombinációt talál, akkor mindhárom lap kivethető, a játékos által összegyűjthető;

c) nem lehet a lapokból leptonpárt, mezon, barion vagy antibarion alkotni, ekkor a lapokat újra lefordítva vissza kell helyezni.

Fontos szabály, hogy sikeres lapgyűjtés után a játékos újra próbálkozhat, mindaddig folytathatja a párok vagy kártyahármasok gyűjtését, amíg nem hibázik, vagy amíg a lapok el nem fogynak. Érvénytelen kombináció megnézése után a lapokat lefordítva vissza kell tenni a helyükre, és a következő játékos próbálkozhat. A játék végére minden lap elfogy, az nyer, aki a játék végére a legtöbb kártyát gyűjtötte össze.

Három további, az *ANTI!*, a *Kozmikus Záporok* és a *Detektáljunk!* című játék leírását, a kifejlesztés rövid történetét, valamint a részecskés kártyajátékhoz tartozó kártyacsomagot a [16] hivatkozásban megjelölt, magánkiadásban megjelentetett könyvszett tartalmazza.

Hogyan keressünk Higgs-bozont részecskés kártyajátékkal?

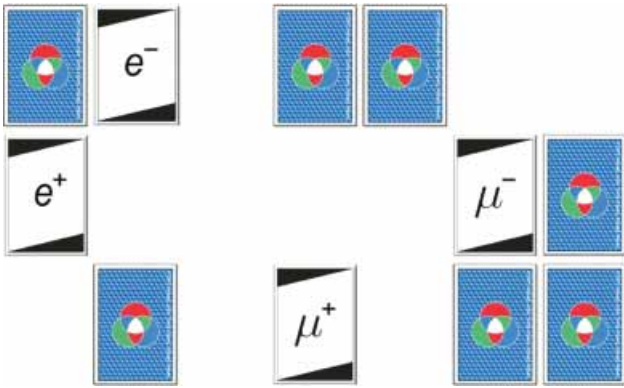
A 2012-es év egyik vezető híre a fizika területén a CERN LHC ATLAS és CMS kísérleteinek 2012 augusztusában megjelent cikkeivel kapcsolatos: a két kísérlet egymással összhangban egy új részecske megfigyelését jelentette be az LHC p+p ütközéseiben [18, 19]. Az új részecske tömegét mindkét kísérlet közel 125 GeV-nek találta, és mindkét kísérlet megállapította, hogy a felfedezett új részecske semleges elektromos töltésű bozon, azonban további tulajdonságait még alaposan meg kell vizsgálni, hogy eldönthessük, ez a részecske azonos-e a részecskefizika Standard Modelljének utolsó hiányzó részecskéjével, a Higgs-bozonnal. Az új részecskét közvetetten, bomlásain keresztül észlelték. Ezt a tulajdonságát fogjuk felhasználni, játékosan, a talált új részecske tulajdonságainak megismerésére. Az ATLAS és a CMS kísérlet is ilyen közvetett úton, a következő folyamatokat elemezve jutott el egy Higgs-szerű új részecske felfedezéséhez. Pozitív eredményt a következő három bomlási módusban találtak:

$$H^0 \rightarrow \gamma\gamma$$

$$H^0 \rightarrow Z^0 Z^0 \rightarrow l^+ l^- l^+ l^-$$

$$H^0 \rightarrow W^+ W^- \rightarrow l^+ \nu l^- \bar{\nu}$$

Ebben a jelölésben H^0 a Higgs-bozont, gamma a fény részecskéit, a fotonokat jelöli, Z^0 a semleges gyenge áramot közvetítő bozont, W^+ és W^- a pozitívan, illetve negatívan töltött gyenge áramokat közvetítő bozont jelöli. A töltött leptonokat összefoglalva jelöltük $l^+ = e^+$ (pozitron) vagy μ^+ (pozitív müon), $l^- = e^-$ (elektron) vagy μ^- (müon), és a leptonoknak megfelelő neutrínók.

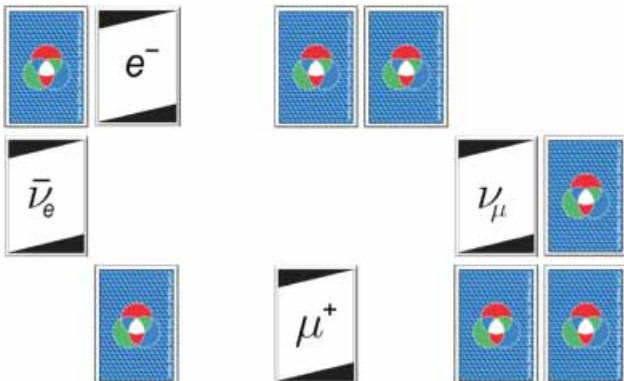


8. ábra. A 6. ábra barionjának és a 7. ábra antibarionjának kivétele után a játékos leptonpárra talál, például e^+e^- , és úgy dönt, kockázatot: felfordít még két lapot. Ha ezeken egy másik leptonpár (például az ábrán mutatott $\mu^+\mu^-$ pár) látható, akkor a játékos Higgs-bozont találva megnyerte a partit. Ez a folyamat a $H^0 \rightarrow \gamma\gamma$ és a $H^0 \rightarrow Z^0Z^0$ bomlások végeredményét is jelképezheti.

A *Kvarkanyag Memória* játékot egy új, 2012 végén nyilvánosságra hozott, Higgs-bozon kereső formában is játszhatjuk [20]. Ha az első felfordított két lap kiegészíthető egy fenti, a Higgsre utaló bomlási láncná, a játékos dönthet, felfordít-e még további két lapot. Ezzel kockázatot vállal a játékos, siker esetén viszont megnyerheti a játékot. Ha az első két lapja lepton, és az Higgsre utaló bomlássá egészíthető ki, akkor erre kísérletet tehet a játékos két további lap felfordításával, és ha sikerül kiraknia egy ilyen bomlást, akkor ő nyert, a parti pedig véget ért. Ha nem sikerült kiraknia egy ilyen bomlást, akkor pedig vissza kell helyeznie mind a négy lapot, és a következő játékos próbálkozhat. Lehet, hogy a parti a Higgs-bozon megtalálása nélkül ér véget oly módon, hogy elfogynak a lapok. Ekkor az nyer, aki a *Kvarkanyag Memória* játék szabályai szerint a legtöbb lapot gyűjtötte össze.

A lehetséges nyerő, Higgs-szerű bomlásokat jelképező helyzeteket a 8. és a 9. ábra, valamint az 1. táblázat foglalja össze.

9. ábra. A 6. ábra barionjának és a 7. ábra antibarionjának kivétele után a játékos olyan kártyapárt emel ki, amellyel a Higgs-bozon bomlása két töltött leptonra és a hozzájuk tartozó neutrínópárra egészíthető ki, az 1. táblázat negyedik, ötödik, hatodik vagy hetedik sorának megfelelően. Ha a játékos mind a négy lapot helyesen fordítja fel, akkor talált egy Higgs-bozont és ezzel megnyerte a játékot.



Érdemes megjegyezni, hogy ez a Higgs-bozon kereső játék továbbfejleszhető a hadronok megnevezésével, illetve a rablás lehetőségével a *Kvarkanyag játék*hoz hasonlóan. Van azonban még egy további lehetőség is, aminek fizikai alapja van. Nevezetesen nem minden 4-leptonos bomlás felel meg Higgs-bozonnak, vannak hasonló, úgynevezett háttér folyamatok is, amelyek ugyanarra a leptonnégyesre vezetnek, de nem a Higgs-bozon megjelenése miatt. Ezért egy Higgs-részecskére utaló bomlás azonosítása esetén a játékosok még kockát is vethetnek: megegyezés szerint akkor ér véget a játék, ha a Higgs-jelölt négy kártyalap kiválasztása után a játékos még kockával is 6-ost dobott. Ez az 1/6-os valószínűség közelítőleg modellezi a kísérletekben az új részecske kétfotonos bomlási csatornájában a mért jel és a háttérbeli, nem kívánt folyamatok arányát.

Kitekintés

Ebben a rövid terjedelmű cikkben természetesen nem lehet ismertetni valamennyi, már kitalált és ki is próbált játékot, amelyeket a *Részecskés Kártyajáték* című könyvünkben leírt (és ahhoz mellékel) kártyapaklival értelemszerűen és szórakoztató módon játszani lehet. Ilyen játékok például a részecskés póker [21]. Számos további részecskés kártyajáték, például a részecskés snapszer és a részecskés mahjongg áll kifejlesztés és kipróbálás alatt. Az elemirészecske-folyamatokban és elnevezésekben járatanok előkészítésére a *Természet Világa* idei márciusi számában *Lang Ágota* írása jelent segítséget [22].

Köszönetnyilvánítás

A köszönetnyilvánítás hagyományosan a cikkek záró része. Ebben az esetben viszont a cikk második fejezetében, kutatásaink nemzetközi és hazai hatását elemelve és részletesen kifejtve található.

Irodalom

- Csörgő J., Török Cs., Csörgő T.: *Részecskés Kártyajáték: Elemi Részecskék – Játékosan*. 2. kiadás (2011) ISBN 987-963-89242-0-9
- J. Csörgő, Cs. Török, T. Csörgő: *Memory of Quark Matter Card Game*. Játékleírás a BNL Guests, Users and Visitors Center és a 2011-es AGS and RHIC Users Meeting (BNL, USA) résztvevőinek.
- ATLAS Collaboration: Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at LHC. *Physics Letters B* 716 (2012) 1–29.
- CMS Collaboration: Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at LHC. *Physics Letters B* 716 (2012) 30–61.
- Csörgő T.: *Hogyan csináljunk kártyajátékból Higgs-bozont?* Előadás a 2012-es Zimányi Nehézionfizikai Téli Iskolán, *Természet Világa* Mikrovilág II. különszám, megjelenés alatt: <https://indico.cern.ch/materialDisplay.py?contribId=63&sessionId=7&materialId=paper&confId=218974>
- L. Csernai, T. Csörgő: *Elementary particles: Quark Matter Cards*. Előadás az Academia Europaea Fizikai és Mérnöki Szekciójának 2012. szeptemberi ülésén, Bergen, Norvégia, <http://academiaeuropaea.ift.uib.no/project/Wt-Csorgo-Elementary-particles.pptx>. Magyar nyelvű írásoz változata várhatóan a *Fizikai Szemle*ben jelenik meg *Póker Elemi Részecskékkel* címen.
- Lang Á.: Szeretne-e Isten részecskékkel kártyázni? *Természet Világa* 144 (2013) 121–124.