

Hogyan csináljunk kártyajátékból Higgs-bozont?

Csörgő Tamás

MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont

Részecske és Magfizikai Intézet

csorgo.tamas@wigner.mta.hu

Kivonat:

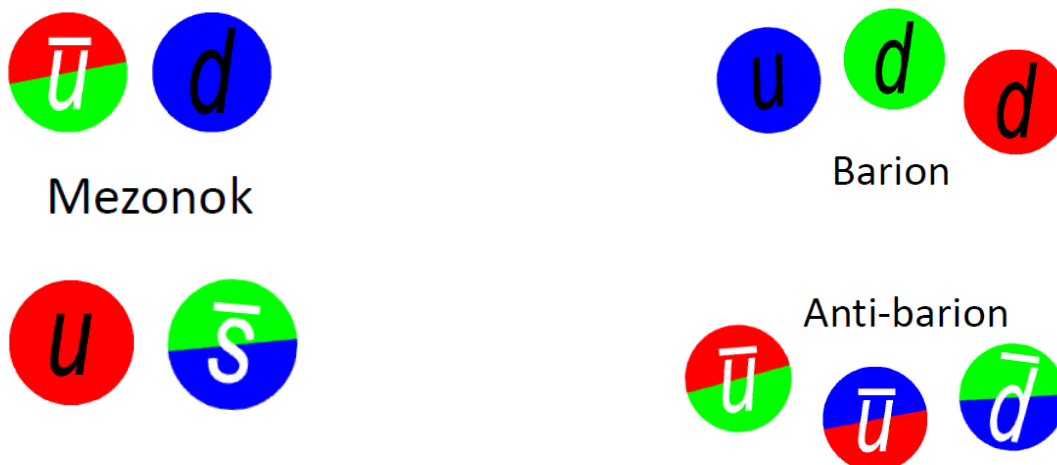
A 2012-es év egyik újdonsága a CERN LHC ATLAS és CMS kísérleteinek nyári sajtótájékoztatója volt, melyen bejelentették, hogy az LHC 7 és 8 TeV-es p+p ütközéseiben legalább egy új részecske nyomait látják, melynek legalább egy tulajdonsága megfelel a részecskefizika Standard Modelljében az utolsó hiányzó részecskének, az úgynevezett Higgs bozonnak. A sajtótájékoztatót követő tudományos publikáció óvatosan fogalmazott, egyelőre nem ismerjük kellő részletességgel ennek az új részecskének a tulajdonságait, nem tudjuk azt sem, hogy valóban a Standard modell Higgs, vagy egy másik, még érdekesebb új részecske nyomaira bukkantak rá az LHC fizikusai. Cikkem fő témája egy olyan új részecske kártyajátéknak a bemutatása, amely segítségével megismerhető a felfedezett részecske néhány ismert tulajdonsága, és játékos formában érzékelhető a felfedezés szépsége és nehézsége is. További szépséget ad a modellezésnek az a tény, hogy ezek a játékok a *Részecske Kártyajáték – Elemi Részecskék, Játékosan* c. könyvünkben leírt kártyapaklival játszhatóak [1]. Ez a kártyapakli azonban nem tartalmaz Higgs bozont. Ez indokolja a címben feltett kérdést, melyre remélhetően a cikk végére érdekes és szórakoztató választ kaphatunk.

A Kvarkanyag Memóriája

Ebben a részben a jelentős nemzetközi és hazai sajtóvisszhangot kapott könyvünk [1] alapján ismertetem a Kvarkanyag kártyajáték rövid kivonatát. Ez volt az a játék, amelynek a feltalálása felkeltette a kvarkanyagot felfedező Brookhaveni Nemzeti Laboratórium sajtósainak és technológia transzfer irodájának az 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 Melocotonnak, a BNL vendégkutatókat és az AGS és RHIC gyorsítók felhasználóit is fogadó GUV központ vezető adminisztrátorának a nevéhez 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 adott minden regisztrált résztvevő számára ajándékba. 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 persze felvillanyozta a szerzőt, és Angela asszony játékának leírását beillesztettük a BNL felhasználók részére kiadott, rendszeresített Kvarkanyag játék leírásába [2]. Ennek fordítását ismertetem alább.

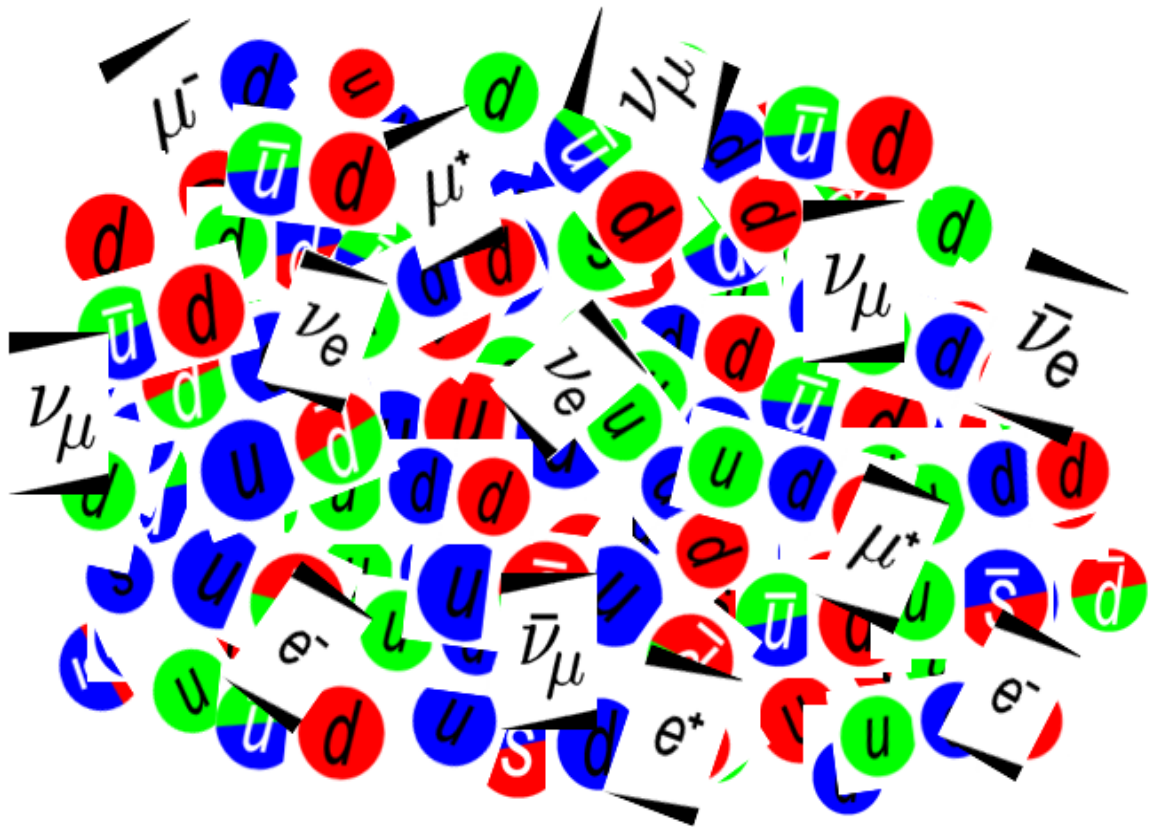
A játékosok száma: tetszőleges.

A játék célja: minél több kártyalap minél gyorsabb összegyűjtése olyan módon, hogy észleljük a Kvaranyagból, a kvarkok tökéletes folyadékából képződő részecskéket, a Kvaranyag időbeli fejlődésének megfelelő módokon.



1. ábra: Részecskés kártyalapokból mezonok **2. ábra:** Részecskés kártyalapokból kialakított barion és anti-barion

A játék menete: Az alaposan összekevert kártyapakliból kupacot készítünk, az 1. ábrának megfelelő módon, kezdő szinten a részecskéket ábrázoló kártyaoldalakat felfelé fordítva. Ez jelképezi a nehézion-ütközésekben létrejövő kvaranyag, 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 kiválogatott neutrínós lapokért ebben a játékban nem jár pont, mert ezeknek a részecskének annyira nagy az áthatoló képessége, hogy az egész Földön is képesek kölcsönhatás nélkül átsuhanni, így nem tudjuk őket detektálni a kvaranyagot, más néven a kvark-gluon plazmát észlelő kísérletekben sem. A következő szakaszban a kvaranyag roppantul magas, tudományos Guinness rekordnak számító 4 Terakelvines kezdeti hőmérsékete miatt [3] 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 kvaranyagban. Ez a játék második szakasza. Az összes lepton kiválogatása és kipárosítása 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 kvaranyag tágul, és a részecskék száma csökken, ami a nagy kezdeti nyomás miatti tágulást modellezi. A hadronizáció során a játékosoknak a kvarkokból és antikvarkokból szín-semleges, azaz a piros, a kék és a zöld színt egyformán tartalmazó kombinációkat kell alkotniuk. Az egy kvarkból és egy anti-kvarkból álló, színsemleges részecskéket mezonoknak, a három különböző színű kvarkból álló részecskéket barionokban, a három különböző anti-színű anti-kvarkból álló részecskéket pedig anti-kvarkoknak nevezzük.



3. ábra: A Kvaranyag kártyajáték kezdeti állapotának illusztrációja.

A Kvaranyag kártyajáték különböző nehézségi szinteken játszható, beleértve a teljesen kezdő, laikus szintet is [1]. Ebben a cikkben Angela Melocoton (BNL) ötlete alapján egy új, memória típusú kvaranyag 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 lepton párokat, és hogy a hadronok kialakításakor betartsák a színsemlegesség szabályát. A hadronok vagy mezonok, vagy (anti)barionok. Mezonokat kvark-antikvark párokból alkothatunk, olyan módon, hogy mind a három alapszín (a piros, a zöld és a kék is) megjelenjék, például egy kék kvark és egy piros-zöld antikvark párosításával. Barionokat három kártya segítségével formálhatunk meg, egy-egy piros, kék és zöld színű kvarkos kártyalap segítségével. Az antibarionokat pedig három antikvarkból alkothatunk meg, olyan módon, hogy mindhárom anti-szín jelen van, tehát a piros/zöld, a zöld/kék és a kék/piros színeket kell kombinálnunk.
- 2) **Középszinten** a játék már a hadronok neveinek a megtanulását is szolgálhatja. A játékosok az [1] 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 megalkotására van lehetősége, de ezt csak akkor tarthatja meg a játékos, 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 gyűjt össze szabályosan.
- 3) **Haladó szinten** a játékosok ismerik már 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 mutatni és meg kell nevezni a leptonpárjaikat és a hadronjaikat. A helyesen megnevezett kombinációkért annyi pontot kapnak, ahány lapból áll: egy leptonpárért két pont, egy mezonért is két pont, míg egy barionért vagy egy anti-barionért 3-3 pont jár. Megegyezés szerint rabolni is lehet, tehát ha az egyik játékos nem tudja a saját lapkombinációját helyesen megnevezni, az viheti el az érte járó pontot, aki azt először nevezi meg helyesen. A végén az nyer, aki a legtöbb pontot gyűjtötte össze.

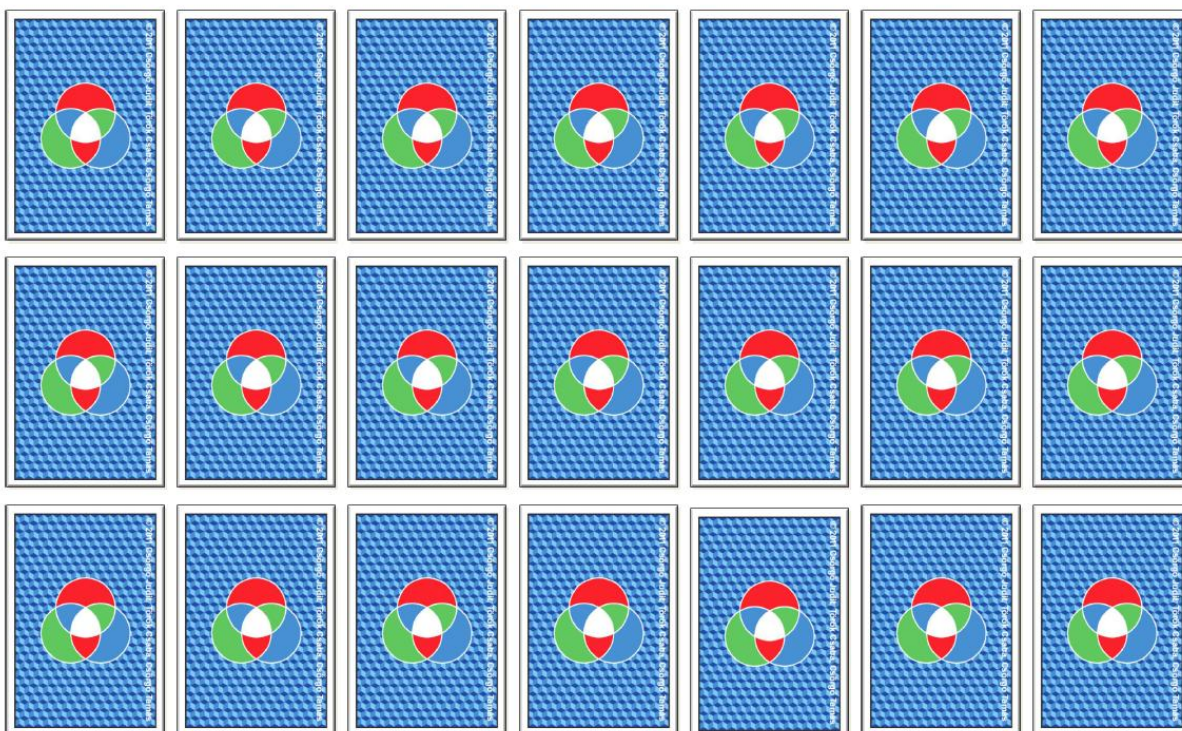
- 4) **Memória stílusú játék, teljesen kezdők számára:** ebben a változatban a játékosok valamennyi kártyalapot lefelé fordítva helyezik az asztalra a játék kezdetén. Megegyezés szerint ez történhet a nehézion-ütközések által motivált nagy kupacban, de kirakhatják a lapokat szabályosan is, például egy 11 x 6-os táblázat formájában is, ahogyan ezt a memoriter játékokban szokás. A játékosok az óramutató járása szerint, sorban próbálkozhatnak. A soron következő játékos két kártyalapot megfordíthat, úgy, hogy minden játékos láthassa, hogy azok milyen részecskéket jelképeznek. A szokásos memória játékban akkor tarthatja meg ezeket a lapokat, ha mind a két lap egyforma. A Kvaranyag Memória játékban azonban akkor tarthatóak 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. Az érvényes hadronok színes lapokból alkothatóak, vagy két lapból álló mezonok, vagy három lapból álló (anti)barionok. Az érvényes mezonok színes kvark-antikvark párok, amelyek szín-semlegesek: mind a három szín megjelenik bennük (az antikvarkokhoz két szín is tartozik egyszerre). Az érvényes hármasok vagy barionok, vagy antibarionok. A barionokat három kvarkos kártyalap jelképezi, amelyek közül az egyik piros, a másik kék, a harmadikat pedig zöld színű. Az antibarionok is érvényes lap-hármasok, van bennük egy piros/zöld, egy zöld/kék és egy kék/piros antikvark. Mivel lap-párok vagy lap-hármasok is lehetnek érvényes kombinációk, az első két kártyalap felfordítása után három eset lehet:

- a) ez érvényes leptonpár vagy mezon, ekkor a két lap kivehető, begyűjthető;
- b) ez két különböző színű kvark vagy két különböző színű antikvark, ekkor egy harmadik lapot is megnézhet a játékos, és ha érvényes barion vagy anti-barion kombinációt talál, akkor mindhárom lap kivehető, a játékos által összegyűjthető;
- c) nem lehet a lapokból leptonpárt, mezon, bariont vagy antibariont alkotni, ekkor a lapokat újra lefordítva vissza kell helyezni középre.

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.

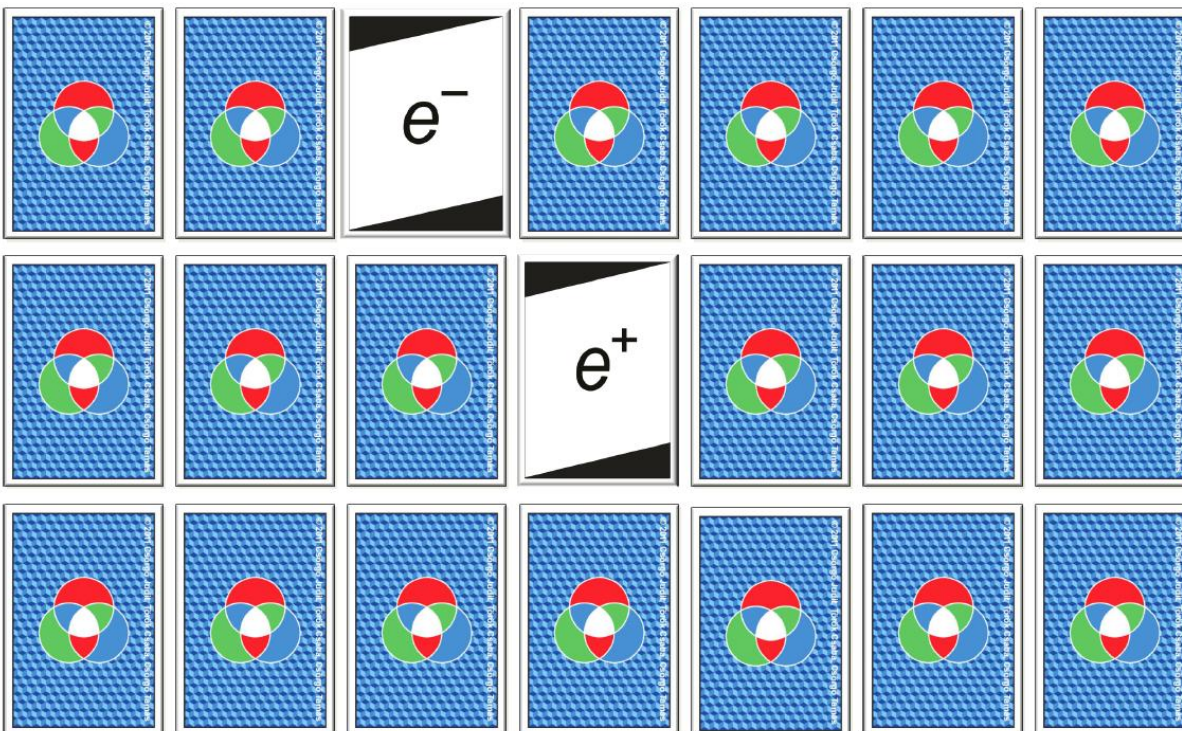
Három további játék leírását, az **'ANTI!'**, a **'Kozmikus Záporok'** és a **'Detektáljunk!'** c. játék leírását, valamint a részecskés kártyajátékhoz tartozó kártyacsomagot az [1] hivatkozás tartalmazza.

Kvarkanyag memória játék



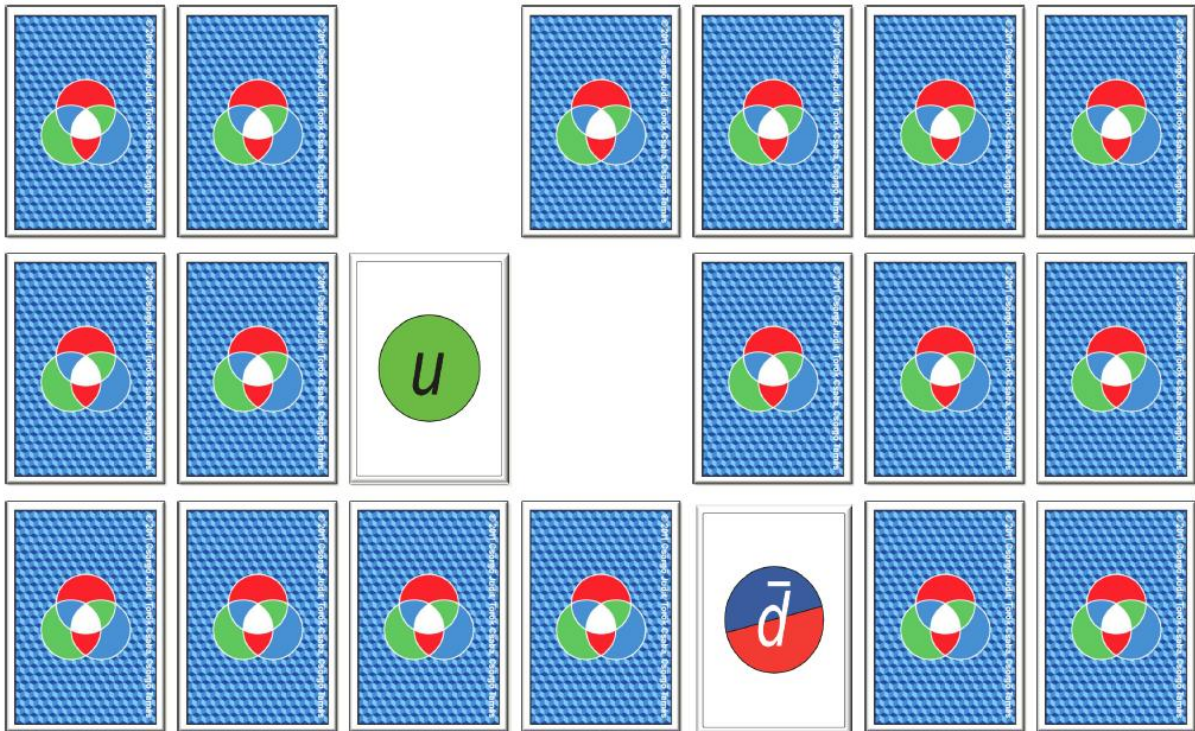
4. **ábra:** Kvarkanyag memória játék kezdő helyzete (illusztráció, a tényleges játék nem 3x7, hanem 6x11 lappal indul)

Kvarkanyag memória – érvényes leptonpár



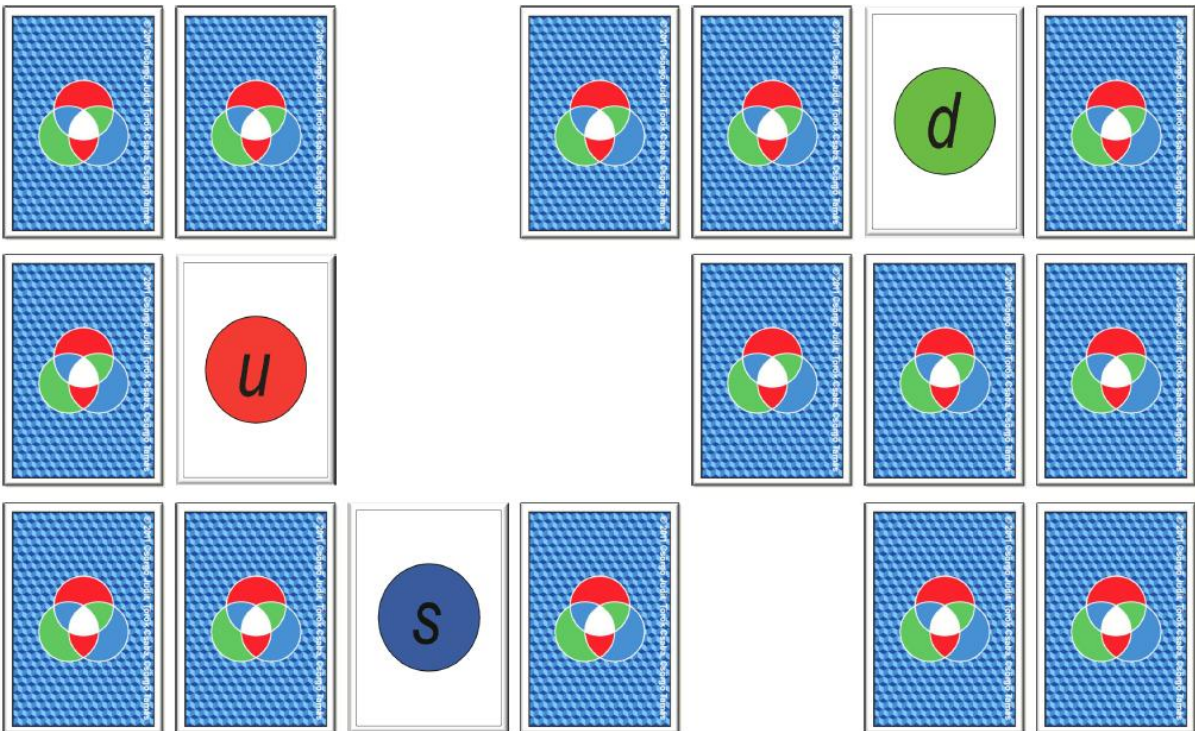
5. **ábra:** Két lap megfordítása után talált érvényes leptonpár a kvarkanyag memória játékban

Kvarkanyag memória – érvényes mezon

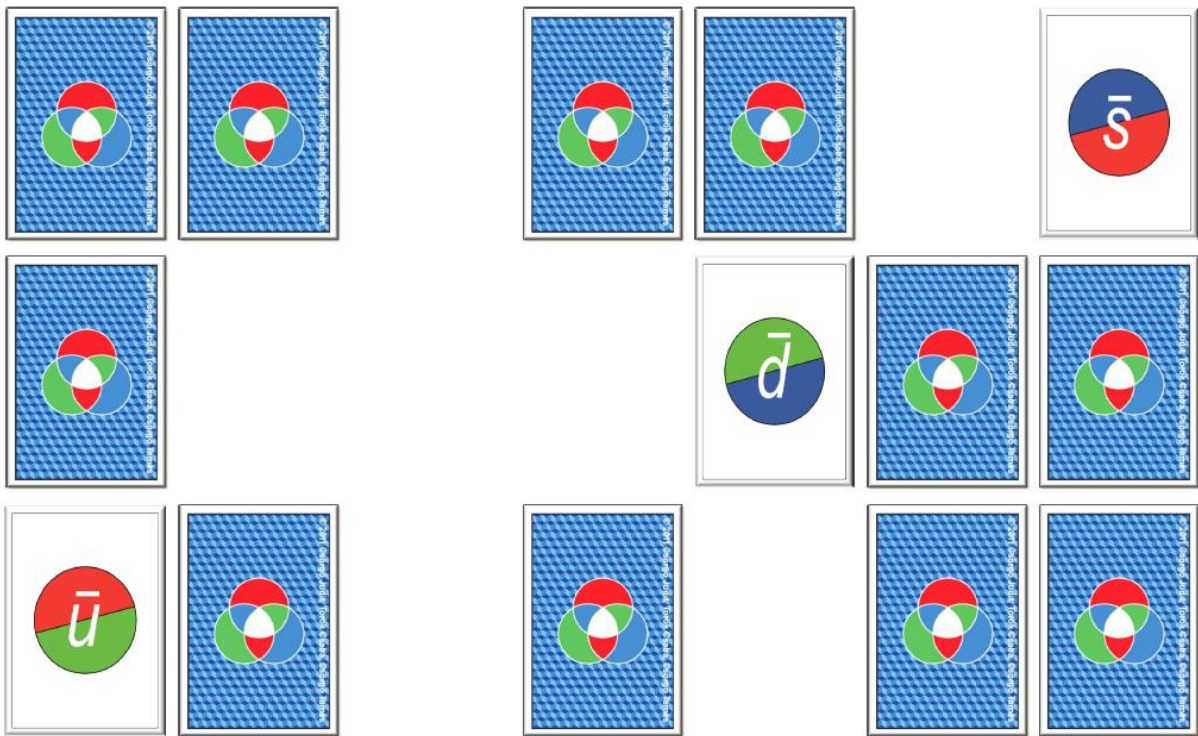


6. ábra: Az előző lépésben talált leptonpár kivétele után egy érvényes mezont talált a játékos

Kvarkanyag memória – érvényes barion



7. ábra: Az előző lépésben kivett mezon után egy barion találat, ami szintén kivethető.



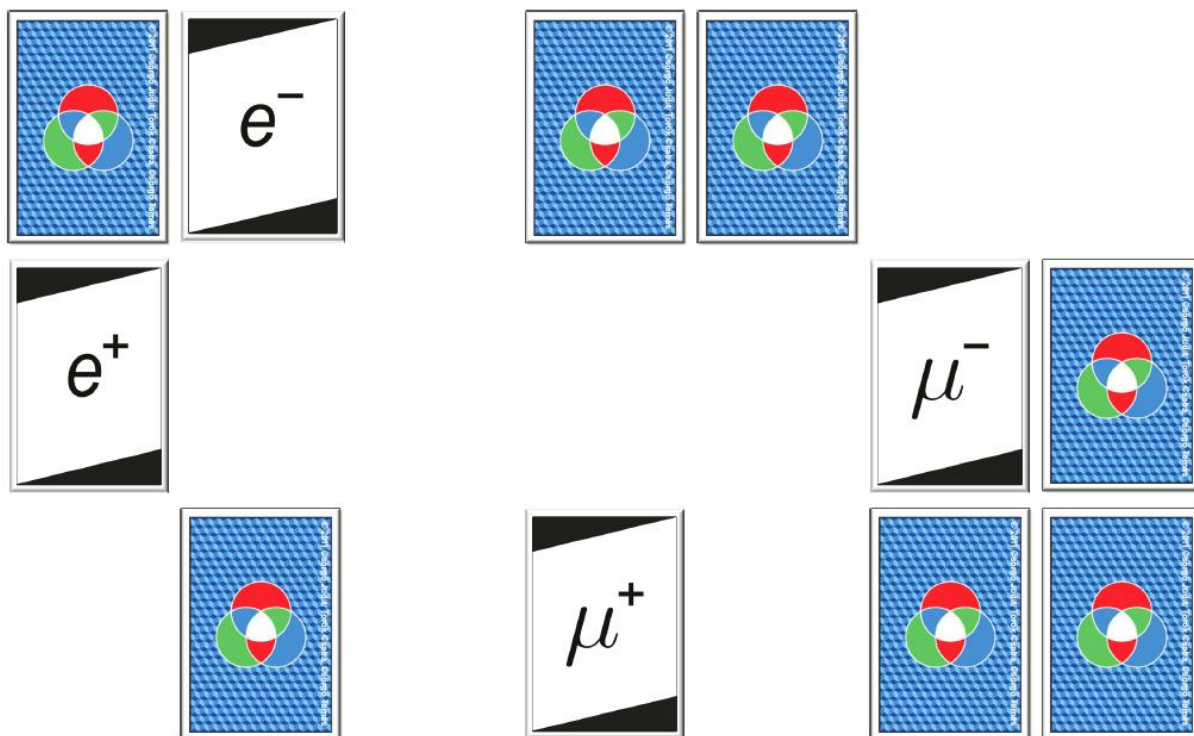
8. ábra: A 7. ábra barionjának kivétele utáni, érvényes anti-bariont találat.

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 [3,4]. Az új részecske tömege 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. 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 módusokban 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 a töltött leptonokat összefoglalva jelöltük, $l^+ = e^+$ vagy μ^+ , $l^- = e^-$ vagy μ^- , és a neutrínók a megfelelő (anti)neutrínók, $\nu = \nu_e$ vagy ν_μ .

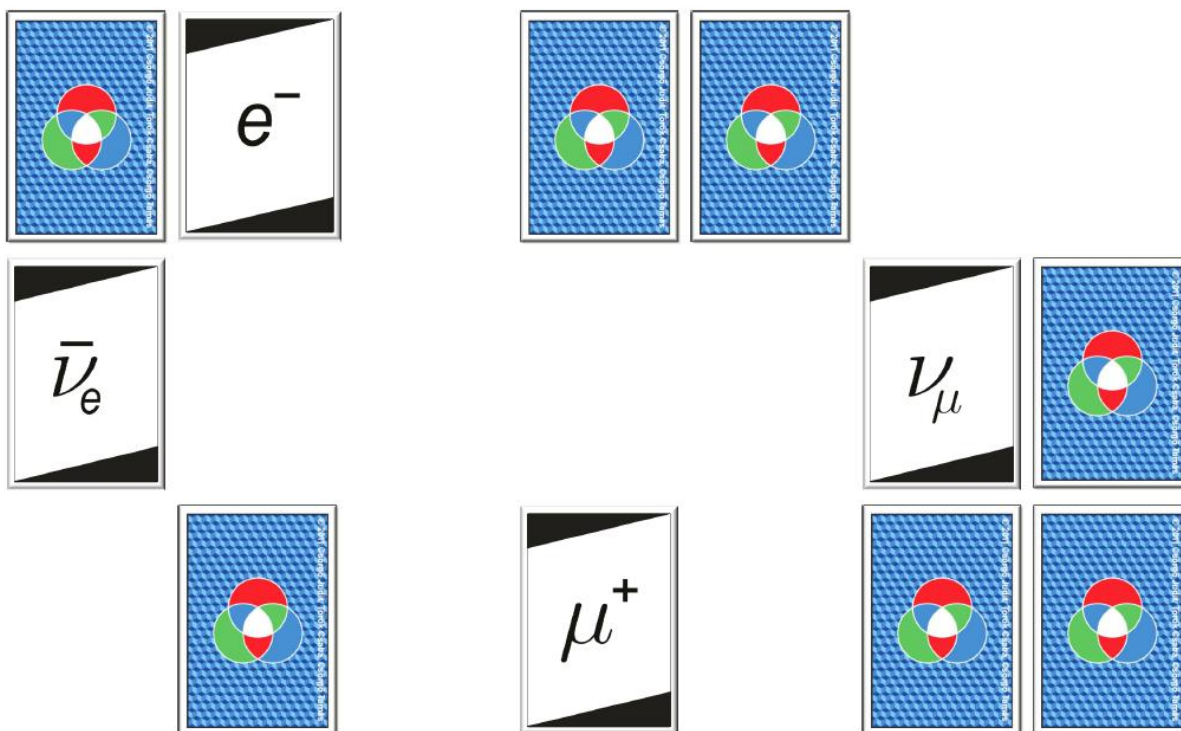
A Kvaranyag Memória játékot egy új, eddig még nem ismert, Higgs bozon kereső formában is játszhatjuk. Ha az első felfordított két lap kiegészíthető egy fenti, a Higgsre utaló bomlási láncná, a játékos dönthet, felfordít-e még további két lapot. Ezzel kockázatot vállal a játékos, siker esetén viszont 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 középre, és a következő játékos próbálkozhat. Lehet, hogy a parti Higgs-bozon találás nélkül ér véget, oly módon, hogy elfogynak a lapok. Ekkor akkor az nyert, aki a Kvaranyag Memória játék szabályai szerint a legtöbb lapot gyűjtötte össze. A lehetséges nyerő, Higgs-szerű bomlásokat jelképező helyzeteket a 9. és a 10. ábra foglalja össze.

Higgs-bozon kereső: $H^0 \rightarrow Z^0 Z^0 \rightarrow \ell^+ \ell^- \ell^+ \ell^-$



9. ábra: Az antibarion kivétele után a játékos leptonpárra talál, pl. e^+e^- , és úgy dönt, kockáztat: 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 $H^0 \rightarrow Z^0 Z^0$ bomlások végeredményét is jelképezheti.

Higgs-bozon kereső: $H^0 \rightarrow W^+ W^- \rightarrow \ell^+ \nu \ell^- \bar{\nu}$



10. ábra: a 8. ábra után a játékos olyan kártyapárt emel ki, amely a Higgs két töltött leptonos és a hozzájuk neutrínópárra egészíthető ki. Ha a játékos mind a négy lapot helyesen fordítja fel, akkor talált egy Higgs bozont és megnyerte a játékot.

Érdemes megjegyezni, hogy ez a Higgs-bozon kereső játék tovább fejleszthető a hadronok megnevezésével illetve a rablás lehetőségével a Kvaranyag játékhoz 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. 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 után a játékos 6-ost dobott. Ennek az 1/6-os valószínűsége közelítőleg modellezi a kísérletekben az új részecske kétfotonos bomlási csatornájában a mért jel és a háttérbeli, nem kívánt folyamatok arányát.

Kitekintés:

Természetesen nem lehet ebben a rövid terjedelmű cikkben ismertetni valamennyi, már kitalált és ki is próbált játékot, amelyeket a *Részecskés Kártyajáték* c. könyvünkben leírt (és ahhoz mellékelt) kártyapaklival értelemszerűen és szórakoztató módon játszani lehet. Ilyen játékok például a részecskés póker [5], számos további játék áll kifejlesztés és kipróbálás alatt.

Köszönetnyilvánítás:

Ezúton szeretnék köszönetet mondani a részecskés kártyajáték ötletgazdájának, Török Csabának, a játék módszertani fejlesztőjének, Törökné Csörgő Juditnak, valamint Angela Melocotonnak, a Brookhaveni Nemzeti Laboratórium Guest, User and Visitor Center vezető adminisztrátorának a Kvaranyag Memória játék kifejlesztéséért és közzétételéért, inspirációjáért, Lévai Péternek és a Mikrovilág különszám szerkesztőinek pedig a kézirat meghívásáért és a szerkesztés során tanúsított türelmükért.

Hivatkozások:

[1] Csörgő Judit, Török Csaba, Csörgő Tamás: *Részecskés Kártyajáték: Elemi Részecskék – Játékosan*, 2. kiadás (2011), ISBN 987-963-89242-0-9

[2] Judit Csörgő, Csaba Török, Tamás Csörgő: „*Memory of Quark Matter Card Game*”, játékleírás a BNL Guests, Users and Visitors Center és a 2011-es AGS and RHIC Users Meeting résztvevői részére

[3] 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

[4] 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

[5] Csernai László és Csörgő Tamás: „*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>