

Hogyan csinálhatunk kvarkanyagból Higgs-bozont?

Csörgő Tamás

MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont

Részecske és Magfizikai Intézet

csorgo.tamas@wigner.mta.hu

Kivonat:

A fenti kérdésre keresi a választ a 2012. évi Charles Simonyi ösztöndíj elnyeréséről szóló oklevél ünnepélyes átadásakor tartott előadásom írott változata, mely három részből áll. Az első rész a Charles Simonyi ösztöndíj elnyerésével kapcsolatos tudományos kutatásaimat tekinti át tömören. A második részben megemlítem kutatásaimnak néhány olyan vonatkozását is, amelyek a jól ismert tudománymetriai adatokon túl, néhány emlékezetes eset kapcsán jelzik kutatásaim nemzetközi, illetve hazai fogadtatását, az olvasóra bízva, hogy a történeten nevetni, vagy inkább sírni, örülni vagy inkább bosszankodni kíván. Ezt a részt a köszönetnyilvánítás zárja. Előadásom harmadik részében egyik kedvenc témámat részletezem, mely a nagyenergiás részecske és magfizika egyik új, jelentős nemzetközi visszhangot kiváltott, magyar fejlesztésű módszertani innovációjához, a Részecskés Kártyajátékhoz kapcsolódik, mely az angol nyelvterületen Kvarkanyag Kártyajátékként vált ismertté, s amelynek legújabb feljesztése a Higgs bozon keresésének izgalmát, élményeit nyújtja a szórakozni és egyben tanulni vágyó, lelkes laikusok, vagy érdeklődő kollégák számára.

1. rész: Tudományos kutatásaimról, röviden

Kutatási területem a nagyenergiás fizika, mely az alapvető kutatásoknak az a területe, ahonnan számos, mindennapi életünket alapvetően befolyásoló felfedezés származik: a Röntgen-sugárzás, az atomreaktorok és az atombomba, számos orvosi, diagnosztikai módszer, mint például az NMR, a PET, a CT, valamint az interneten elérhető adatokban rendet vágó világméretű hálózat, a World Wide Web is. A nagyenergiás fizikának négy fő területe a kísérleti és az elméleti részecskefizika, valamint a kísérleti és az elméleti magfizika (a magfizikát modernebb néven nehézion-fizikaként emlegetjük). Jómagam aktívan kutatok mind kísérleti, mind elméleti módszerekkel, mind a részecske, mind a nehézionfizika területén. Különböző területeken folytatott kutatásaimat közös módszertani eszközök kötik össze. Alapvetően a femtoszkópia, azaz a 10^{-15} m-es tartományokban lejátszó folyamatok térbeli és időbeli aspektusait vizsgáló kutatási irány szakértője vagyok. Ezzel kapcsolatos, szép, és jelentős nemzetközi visszhangot kapott eredményeim közül válogattam ki egyet-egyet ízelítőül e rövid bemutatkozás céljára.

Kísérleti részecskefizikai kutatásaim közül az egyik legérdekesebb bizonyára a Bose-Einstein korrelációk vizsgálata elektron - pozitron ütközésekben. Szakértőként és PhD dolgozat témavezetőjeként működtem együtt a CERN LEP gyorsítójának L3 kísérletével, a hollandiai Nijmegeni Egyetem kutatóival. Kutatásaink egyik eredménye egy részecskefizikai adatokon alapuló, pillanatfelvételekből álló képsorozatnak az elkészítése lett [1]. Filmünk a részecskesugarak kialakulását örökíti meg elektron-pozitron ütközésekben. Ismereteink szerint ez a világ legrövidebb filmfelvétele, amely 10^{-24} másodperc alatt ér véget.

Első kísérleti részecskefizikai munkámat a CERN SPS gyorsítójánál, hadron-proton ütközések tanulmányozása területén folytattam, az EHS/NA22 kísérlet meghívott tagjaként. Feladatom a képalkotás, a Bose-Einstein korrelációk és a részecskespektrumok szimultán és sikeres, hidrodinamikai képben történő értelmezése volt [2]. Eredményül egy kb 10^{-15} m átmérőjű tűzgyűrűt figyeltünk meg, amely ismereteink szerint a világon a legkisebb, kísérletileg kimutatott tűzgyűrűnek fel meg.

Egyik legújabb kísérleti részecskefizikai eredményünk pedig a CERN LHC gyorsító $\sqrt{s} = 7$ TeV-es tömegközépponti energiájú proton-proton ütközéseinek teljes hatáskeresztmetszetének a meghatározása a TOTEM kísérlet keretein belül [3]. Hozzájárulásom a kísérlet magyar csoportjának létrehozása, megszervezése és témavezetése volt. Eredményünket az European Physics Letters 2011 legjobb cikkei közé válogatta be.

TOTEM-es kísérleti kutatásainkat a proton belső szerkezetének feltárásával tettük teljessé, egy Bialasról és Bzdakról elnevezett elméleti modell keretein belül. Elméleti részecskefizikai eredményeink szerint a p+p ütközések teljes hatáskeresztmetszetének a CERN LHC 7 TeV-es energiáin tapasztalható megnövekedése elsősorban a kvark-dikvark távolság protonon belüli, növekvő ütközési energiával együtt járó megnövekedésének volt köszönhető [4]. Egy hasonlat segítségével úgy értelmezhetjük ezt a jelenséget, hogy ha a proton autó volna, akkor az LHC gyorsító ütközési energiáinak megfelelő sebesség elérésekor egyszerre csak nem a szokásos, egy forgalmi sávot elfoglaló mérete, keresztmetszete lenne, hanem keresztmetszete a duplájára növekedne és a proton-autó ilyen sebességeknél két forgalmi sávot foglalna el.

Elméleti részecskefizikai eredményeim közül ki szeretném emelni az úgynevezett mozi-egyenlet megalkotását is [5]. Ennek a 2008-ban publikált elméleti femtoszkópiái, módszertani fejlesztésnek az eredményeképpen vált lehetővé az L3 kísérlet Bose-Einstein korrelációs méréseinek

pontos értelmezése, a világ legrövidebb mozijának 2011-es publikálása olyan adatok elemzésével, melyeket a LEP gyorsító L3-as detektora az 1989-1991 közötti időszakban rögzített. Az adatok kiértékelése, tehát a világ legrövidebb mozijának elkészítése mintegy 20-22 évet vett igénybe, azaz a mérés az egyik legnehezebb kísérleti munkák közé tartozott. A legkeményebb diónak, azaz legnehezebben megoldható problémának a módszertani nehézség, a fent említett, elméleti meglátást igénylő kérdéskör bizonyult. Ugyanis az elméleti modellek 99 %-a szerint a mérési eredményeknek egy pozitív definit függvényt kellett volna kirajzolnia, az igen gondosan kivitelezett mérések azonban az értelmezési tartomány egy részében erre a függvényre negatív értékeket eredményeztek. Ezt a szokatlan és meglepő kísérleti adatsort lehetett értelmezni az úgynevezett mozi-egyenlet segítségével [e], mely egyben a szokásos pillanatfelvételek készítése helyett egy filmfelvételnek, a pillanatképekből álló képsorozatnak az elkészítése előtt is megnyitotta, 18 évvel az adatfelvétel után, végre az utat.

Kísérleti nehézionfizikai eredményeink közül messze kiemelkedik a PHENIX kísérlet összefoglaló cikke [6], amely a RHIC gyorsító 2000-ben megkezdett kutatási programjának első néhány éve során az arany-arany, az arany-deuteron nehézion-ütközések és a proton-proton részecskefizikai ütközések adataiból kirajzolódó fizikai képet alkotta meg. Eredményünk szerint a RHIC 200 GeV-es nukleononkénti tömegközépponti energiáin egy forró és sűrű, közegként viselkedő új anyagforma jelenik meg, amely a Világegyetemünk keletkezésekor, az Ősrobbanás utáni első néhány mikromásodpercben létezett anyagforma egyfajta földi mása. Megállapításunk szerint ennek az anyagformának a halmazállapota, szemben az erős kölcsönhatás 2004-ben fizikai Nobel díjjal jutalmazott, aszimptotikusan szabad részecskéket jósoló elméletén alapuló, gáz halmazállapotot jelző várakozásokkal, a kísérleti tapasztalatok szerint folyadék halmazállapotnak felel meg. Eredményünk egykor bekerülhet az általános iskolai tankönyvekbe is, a következő kép segítségével: ha egy darab jeget melegíteni kezdünk, a szilárd halmazállapotú jég folyékony vízzé, folyadék halmazállapotú anyaggá válik. További hőközlés hatására a folyékony vízből gőz, azaz gáz halmazállapotú anyag jön létre. Ha ezt a gőzt az ember által kísérletileg előállított legmagasabb hőmérsékletekre, azaz a 2-4 terakelvin hőmérsékletre hevítjük, a gőz halmazállapotból újra folyadék halmazállapotú anyag jön létre. Az ezt bizonyító kísérleti összefoglaló cikkünk az Amerikai Fizikai Intézet (AIP) szerint 2005 legfontosabb eredménye lett a fizika teljes területén. 2005 során publikált cikkünkre kevesebb, mint 8 év alatt közel 1500 hivatkozás érkezett. Elsősorban a PHENIX-es kutatásoknak köszönhetően a hadronütköztetők magyar fizikusai pedig világelsők lettek az egy cikkre jutó hadronfizikai hivatkozások számát tekintve, mely meglepő eredményről a Magyar Tudományos Akadémia honlapja is beszámolt [6a]. Tehát PHENIX-es kutatásaink kiemelkedően gyümölcsözőnek bizonyultak, a független, Thomson-Reuters hírügynökségnek az ISI Web of Science adatain alapuló, globális tanulmánya szerint. Érdekességgént megemlíteném, hogy ez a tanulmány nem vizsgálja az egy cikkre és egységnyi kutatási támogatásra eső hadronfizikai hivatkozások számát, bátran állíthatjuk azonban, hogy ha már az egy cikkre jutó hadronfizikai hivatkozások számában is világelsők lettek a magyar fizikusok, akkor az ilyen módon elnyert előnyt minden bizonnyal messze megnöveli az, ha ezt a számot a cikkek megírására fordított egységnyi kutatási támogatásokhoz viszonyítjuk.

Végül elméleti nehézionfizikai eredményeim közül is hadd emeljek ki néhányat: új, hidrodinamikai modellezésen alapuló eljárás segítségével rekonstruáltam a hadron-proton és az ólom-ólom ütközések hadronikus végállapotának téridőbeli képét [7], melyek nem csak tudományosan bizonyultak érdekesnek, hanem két könyv címlapjára is felkerültek. Ugyanebben az összefoglaló, az Acta Physica Hungarica A – New Series: Heavy Ion Physics folyóiratban megjelent cikkemben adtam számot a Bose-Einstein korrelációs függvények modell-független elemzésének legújabb eredményeiről, és összefoglaltam a pion-lézer modell megoldásával kapcsolatos, Zimányi

Józseffel közösen elért [8] eredményeimet is. A részecske-lézerek leírására adott megoldásunk lényege az, hogy a sokrészecske rendszerek Bose-Einstein szimmetrizációja egy úgynevezett NP-hard azaz a részecskék számának növekedésével nem polinomiálisan növekvő számítási igényű probléma, ezért elég sok részecske esetén a problémát nem lehet megoldani még a legmodernebb és legnagyobb teljesítményű, Neumann elven felépített számítógépek segítségével sem.

Ki szeretném emelni elméleti nehézionfizikai kutatásaim eredményei közül a nem-relativisztikus [9] és a relativisztikus [10] hidrodinamika egzakt megoldásai terén elért, ellipszoidálisan táguló tűzgömbök leírására vonatkozó eredményeinket, melyek a nagyenergiás nehézion-ütközésekben mért adategybeesések, skálaviselkedések értelmezésére született, időtálló, egzakt és egyben esztétikai élményt is nyújtó, szép eredmények, és melyek sikeresnek bizonyultak mind az adatok leírásában, mind pedig a fenomenológiai megfontolásokból kifejlesztett, Buda-Lund típusú hidrodinamikai modellek alátámasztásában [11]. Elméletileg megjósolt adategybeesési törvényszerűségeinek, például az úgynevezett elliptikus folyási paraméter univerzális skálaviselkedésének a jóslatunk publikálása után mért kísérleti adatok közel tökéletes módon felelnek meg [12].

Előadásomban kiemeltém, hogy a RHIC gyorsító PHENIX kísérletében megszervezett magyar csoport létrehozása, annak elérése, hogy a PHENIX kísérletnek az MTA KFKI Részecske és Magfizikai Kutatóintézete (mai nevén az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont Részecske és Magfizikai Intézete) valamint az ELTE TTK Atomfizikai Tanszéke hivatalosan is tagjává válhatott 2003-tól, önálló kezdeményezésemre, nem pedig állami szerepvállalásként valósult meg. Ennek a folyamatnak a sikeres beindítását az USA Külügyminisztériuma és a Fulbright Legacy Fund által közösen alapított Fulbright Alumni Initiatives Award elnyerése, támogatása tette lehetővé számomra. Ismereteim szerint a magyar természettudósok közül ezt a díjat egyedül jómagam nyertem el a kézirat lezárásának időpontjáig. A PHENIX kísérletben szerzett tapasztalatainkat a CERN LHC indulásának közeledtével az LHC TOTEM kísérletében dolgozó magyar csoport munkájának megszervezésével, témavezetésével hasznosítottuk. A TOTEM magyar csoportjának létrehozása szintén önálló kezdeményezésemre, állami szerepvállalás nélkül, az OTKA támogatásainak elnyerésével valósulhatott meg 2008-tól. PHENIX-es és TOTEM-es kutatásaink fenntarthatóságának alapfeltétele a kísérletekben a magyar csoport által végzett, eredményes és sikeres, a kísérlet belső szabályzata szerint nem minden esetben nyilvánosságra hozható munkánk. Ennek leglátványosabb, kívülről is jól érzékelhető jele az, hogy a mérésekben résztvevő magyar kutatók munkáját mind a PHENIX, mind a TOTEM kísérlet anyagilag is támogatja, segíti, és kutatóink számos belső analízis jegyzetet készítenek, illetve a PHENIX és a TOTEM nevében, rangos nemzetközi konferenciákon ismertethetik a legújabb kísérleti eredményeket.

Kutatómunkám tudományometriai adatait nem sorolnám fel, a Charles Simonyi ösztöndíj elnyerésének ezen mutatók kiválósága volt az egyik előfeltétele. Ezek az adatok nagy nemzetközi adatbázisokban, mint például az ISI Web of Science, nyilvánosan, néhány kattintásnyi távolságra, bárki számára elérhetőek. Szeretnék viszont megemlíteni néhány olyan érdekességet, amelyek a tudományos kutatásaim eredményességét és nemzetközi hatását híven tükrözik, noha nem szoríthatók be a hagyományos tudományometriai mutatók kvantitatív és kvalitatív jellemzői közé.

Munkám protokoll szempontjából legkiemelkedőbb, legmagasabb rangú elismerése saját értékelésem szerint 2007-ben ért: részt vehettem, néhány kiemelt tudós magfizikus és részecskefizikus társammal közösen azon a teaszertartáson, amelyet őfelsége Akihito, Japán császára és felesége, őfelsége Michiko, Japán császárnője adott.

Európai szintű, számomra sokat jelentő tudományos elismerés ért 2011-ben is, amikor az Európai Akadémia, a londoni székhelyű Academia Europaea megválasztott tagjai sorába.

Tudományos bizottságokban végzett munkáim közül a CERN LHC gyorsító anyagi és tudományos működését ellenőrző testületében, a CERN LHC Resource Review Boardban végzett tevékenységemet emelném ki, mely szintén nem jelentkezik a tudománymetriai mutatók között, de talán a legnagyobb felelősséget jelenti, és a legnagyobb áttekintő képességet igényli más megbízatásaim között.

Tudománymetriai mutatóim közül talán mégis megemlítenék egy számot, az úgynevezett „h” Hirsch-indexet, amely egy adott kutatóra vonatkoztatva az illető kiváló cikkeinek a számát méri, olyan módon, hogy megadja, hány darab olyan cikke van, amelyre legalább h hivatkozás érkezett, tudományos munka épült. Cikkem írása pillanatában, a referált szakfolyóiratokban publikálva 47 olyan munkát közöltem, sok esetben társszerzőimmel közösen, amelyek közül mindegyikre legalább 47 hivatkozás érkezett, tehát a h-indexem 2012 végén, 2013 elején $h=47$.

PHENIX-es kutatásaim kapcsán igen nagy örömet jelentett számomra, amikor megtudtam, hogy főleg ennek a kutatási témának volt köszönhető az, hogy világelsők lettek a magyar hadronfizikusok az egy, 2000-2010 között megjelent hadronfizikai témájú cikkekre jutó hivatkozások területén: A témában magyar intézmények kutatói által jegyezve 194 tanulmány jelent meg, melyeket összesen 7735 alkalommal hivatkoztak, ami átlagosan közel 40 hivatkozás/cikk. Ugyannak a mutatónak az értéke a második helyezett esetén 32, a harmadik helyezett esetében pedig 30. Fontos tudni, hogy a magyar intézményeknél nyilvántartott hivatkozások jóval több, mint felét a PHENIX kollaboráció keretein belül szerzett közleményekre kaptuk. Ezek közül a cikkek közül 4 került be a szakterület 20 legidézettebb cikke közé, a vizsgált időszakban valamennyi magyar PHENIX-es cikk hivatkozottsági átlaga, saját elemzésünk szerint, több mint 70 hivatkozás/cikk volt. A PHENIX kísérlet magyar csoportjának szerepét, hozzájárulásait a <http://phenix.elte.hu/> oldalon foglaltuk össze, [13].

TOTEM-es kutatásaim eredményei közül a CERN LHC gyorsító 7 TeV-es tömegközépponti ütközési energiáin a p+p ütközések teljes szórási hatáskeresztmetszetének első kísérleti meghatározása emelkedik ki, mely azon túl, hogy bekerült az EPL „Best of 2011” fémjelzésű, válogatott cikkei közé, fontos, alapvető információt szolgáltat a többi LHC kísérlet mérései számára is. A TOTEM kísérletben dolgozó magyar csoport hozzájárulásait, szerepét a <http://totem.kfki.hu/> oldalon foglaltuk össze [14].

Néhány társszerzős, kollaboráción kívüli kutatásaim közül nehéz kiválasztani a leginkább kedveset. Talán a legjelentősebb ilyen munkámnak egy újfajta szimmetria kísérleti megjelenésének kimutatását érzem, mely szerint két nagyon különböző tömegű részecske, az $\eta(548)$ és az $\eta'(958)$ tömege, a PHENIX és a STAR publikált adatok általunk végrehajtott új analízise szerint, hibán belül megegyezővé válik a RHIC gyorsító Au+Au nehézion-ütközéseiben létrejövő közegben. Olyan ez, mintha egy ikerpár egyike túlsúlyos, a másikuk pedig normál súlyú lenne, de a RHIC gyorsító ütközéseiben keletkezett folyadékba merülve hirtelen mind a ketten közel egyforma súlyúvá válnának. Ezt a munkát a Harvard egyetem vendégkutatójaként, két magyarországi magyar kutatótársammal, Vértesi Róberttel és Sziklai Jánossal közösen fejeztem be, eredményeinket a Nobel-díjas Roy J. Glauber, a Harvard egyetem Mallinckrodt professzora mentorálta, és az amerikai fizikai társulat vezető folyóirata, a Physical Review Letters közölte.

Úgy vélem, hogy a fenti érdekességek, szép elismerések hűen tükrözik kutatásaink jelentős és magas szintű nemzetközi elismertségét, melynek jó hírét a Simonyi Károly fiáról, Charles

Simonyiról elnevezett, amerikai finanszírozású, hazai elbírálású ösztöndíj odaítélése tovább öregbíti. Mielőtt azonban kedves olvasóm meglegedetten dőlné hátra székében, érzékeltetni szeretném a kutatói szabadsághoz tartozó nehézségeket is: hazai pályázataim közül a közelmúltban a siker aránya meglehetősen alacsony volt, közelítőleg minden hatodik pályázatom került támogatásra. Több esetben a jelentős nemzetközi elismerés hatására az újra beadott pályázatunk egy évvel később itthon is a nyertesek közé került. Úgy gondolom, hogy azért is fontos hírt adni a sikertelen pályázatokról is, hogy a tudományt finanszírozó hazai szervezetek, illetve az érdeklődő laikusok is láthassák, hogy milyen sok kiemelkedő tudós dolgozik Magyarországon.

2. rész: Köszönetnyilvánítás: eredményeink hazai és nemzetközi fogadtatásáról

Eredményeimet és érdemeimet nem érhettem volna el családom megértő támogatása, és áldozatvállalása nélkül – ily módon rogom le hálámat és köszönetemet, csekély viszonzásul annak a sok jónak, amit családomtól kaptam. Kiss Lajos tanár úr, a gyöngyösi Berze Nagy János gimnázium legendás fizika tanára, Németh Judit, az ELTE TTK Elméleti Fizikai Tanszék professzora, diplomamunka témavezetőm és Zimányi József, a KFKI majd KFKI RMKI elméleti főosztályának kutatóprofesszora voltak mestereim, akik hatására a kutató fizikusok szabad, ámde küzdelmes életét választottam. Eredményem jelentős része tanítványaim kiváló munkájának is köszönhető: Csanád Máté (PhD, ELTE), Novák Tamás (PhD, Nijmegeni Egyetem), Vértesi Róbert (PhD, Debreceni Egyetem) Nagy Márton (PhD, ELTE), Ster András, Nemes Frigyes és Vargyas Márton – köszönöm az eddigi szép, sokszor váratlan fordulatokban és felfedezésekben is gazdag, közös kutatásokkal töltött éveket. Valamennyi társszerzőm, különösen a PHENIX és a TOTEM kísérletek tagjai részére is köszönetet szeretnék mondani. Ezen a helyen szeretnék köszönetet mondani ellenfeleimnek, azoknak a főleg hazai bírálóimnak is, akik kutatásaim folytatásáért végzett küzdelmeink során kerékkötőként, negatív bírálóként vagy csendes és névtelenségbe burkolódzó kritikusainként többször is jelentős akadályokat gördítettek elém és társszerzőim, tanítványaim, kutatócsoportom elé, főleg a hazai pénzügyi támogatások forrásait zárva el előlünk több vagy kevesebb sikerrel. Noha jelentős energiákat vett igénybe az általuk támasztott akadályok leküzdése, mindig nagy örömet jelentett, amikor ez végre sikerült! Bírálataik, kritikáik pedig segítségünkre voltak kutatási céljaink és eredményeink pontosabb megfogalmazásában. Néha bizony szinte teljes sikerrel is jártak, és egy-egy kutatási projektünk megvalósítását, egy-egy lehetőséget alkalmanként teljesen sikerült elzárniuk előlünk. Ebben az esetben is hálával gondolok áldásos tevékenységükre: ugyanis ha minden pályázatunk és próbálkozásunk sikerrel járt volna, akkor ez annyi munkát jelentett volna számomra, hogy családom számára alig maradt volna időm. Tehát legeredményesebb bírálóink és kritikusaink is pozitívan járultak hozzá szellemünk fejlődéséhez: nekik elsősorban azt a néhány szép napot és estét köszönöm, amelyet – kutatási támogatás híján – családom szűkebb körében, itthon tölthettem el. Köszönöm bírálóimnak azt is, hogy ráirányították figyelmemet a hazai támogatási rendszereink néhány hiányosságára, nevezetesen arra is, hogy a „hallgattassék meg a másik fél is” elvét nem csak a folyóiratokba beküldött cikkek esetében, hanem a tudományos pályázatok elbírálásakor is indokolt érvényesíteni. Kiélezett helyzetekben, forráshiánnyal küszködő kutatók és pályázati rendszerek esetében ugyanis már egy-két negatív kritikai megjegyzés is a pályázat elutasításához vezethet. Ilyenkor válik a pályázók, és a finanszírozó számára is létfontosságúvá az, hogy tényleg a legjobbak nyerjenek. Az utóbbi időben, személyes tapasztalataim szerint, az itthoni pályázati bírálók egyre inkább tudatára ébrednek annak, hogy akár néhány apró negatív kritikai észrevételük is a pályázat elutasításához vezethet. Nem lehet kizárni, hogy éppen egy tárgyi hiba, vagy tévedés az, amin a negatív észrevétel néha alapul. Az ilyen tárgyi hibát, „tévedést” vétő bírálók kiszűrése a pályázati

rendszerek jó, megbízható működése szempontjából is alapvető, és ismereteim szerint ennek egyetlen módja az, ha a megbírálnak lehetőséget biztosítunk a pályázati rendszerbe beépített módon a bírálók esetleges tárgyi tévedéseinek kimutatására, a bírálatra adott válasza, hasonlóan ahhoz, ahogyan a tudományos folyóiratokba beküldött cikkek bírálati esetén, illetve a tudományos fokozatok megszerzésekor elhangzó kritikák esetén is van lehetősége a publikálásra vagy fokozatszerzésre pályázó kutatónak a válaszadásra és az esetleges félreértések tisztázására. Végülis mindannyian, bírálóként is és pályázói szerepben is, elsősorban emberek vagyunk, és akár véletlenül is tévedhetünk, vagy hibázhatunk, melynek negatív hatását, a tudomány fejlődése érdekében, célszerű minimalizálni.

Végezetül külön is szeretném megköszönni külföldi támogatóim áldásos tevékenységét. Ők még a legnehezebb helyzetekben, a teljes hazai támogatás hiánya esetén sem hagytak cserben, nekik, valamint a PHENIX és a TOTEM kísérlet vezetésének köszönhető, hogy a külföldi utazásokkal járó, és a berendezések üzemeltetési költségei miatt komoly anyagi forrásokat igénybe vevő kísérleti kutatásainkat a legnehezebb időszakokban sem kellett teljes mértékben felfüggeszteni, vagy megszakítani.

Köszönöm a kutatásainkat anyagilag finanszírozó, támogató szervezetek munkáját: a Magyar Tudományos Akadémia, az OTKA, a Fulbright Alapítvány, a HAESF, valamint az USA Energiaügyi Minisztériumának (DOE) és Külügyminisztériumának (State Department) a támogatását. Ezúton szeretném kifejezni hálás köszönetemet a Charles Simonyi alapítványnak kutatásaim támogatásáért, az ösztöndíj odaítéléséért, valamint Szőkefalvi-Nagy Zoltánnak, az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont Részecske és Magfizikai Intézet igazgatójának a jelölési folyamat megindításáért, és a díjátadási ünnepségen elhangzott, jövőbe tekintő méltatásáért. Köszönetem jeléül, és szórakoztatásul, kérem fogadják szeretettel előadásom harmadik részét, a kvarkanyag kutatásának és a Higgs-bozon keresésének kalandjaiba bevezető részecskés kártyajátékok ismertetését.

Előre hozva a záró részhez tartozó köszönetnyilvánítást is, 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 Kvarkanyag Memória játék kifejlesztéséért és közzétételéért, inspirációjáért, valamint a CERN LHC TOTEM kísérlet vezetésének és kutatóinak ennek az új, innovatív módszertani eszköznek a felkarolásáért.

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 fizikai 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 fizika példa szép megoldását, vagy egy tudománnyal kapcsolatos hír elemzését. Ebben a szellemi közegben

egy új ötlet szikrája pattant ki az egyik önképzőköri diák, Török Csaba fejéből: nevezetesen az elemi részecskék modern periódusos rendszerét, az úgynevezett Standard Modellt kártyalapok segítségével is meg lehet jeleníteni. Kislányom, az Önképzőkör akkori elnöke, Csörgő Judit továbbította számomra Török Csaba ötletének a hírét, szakmai mentorként jómagam is bekapcsolódtam a játék fejlesztésébe, olyan modern eredmények felé terelve a játék fejlesztését, mint a RHIC gyorsítónál 2010-ben hivatalosan is felfedezett Kvarkanyag (a kvarkok közel tökéletes folyadéka, korábbi nevén kvark-gluon plazma) vagy a 2012-ben a CERN LHC gyorsítójánál felfedezett, közel 126 GeV-es tömegű új részecske vizsgálata, melynek legalább egy tulajdonsága megegyezik a részecskefizika Standard Modelljéből még fel nem fedezett, utolsó hiányzó részecske, az úgynevezett 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 kártya melléklettel ellátott kis könyvben adtuk ki [15], a továbbiakban legújabb fejlesztéseinket ismertettem. A bevezetés záró gondolataként meg szeretnék még említeni két gondolatot: elsőként azt, hogy a Részecskés Kártyajáték 2. díjat nyert az ELTE 2011-es Hallgatói Innovációs Pályázatán, és kiemelt dícséretben részesült a 19. Országos Ifjúsági Innovációs Vetélkedőn, jelenleg 2. magyar nyelvű kiadása hazai piaci forgalomban, 2. angol nyelvű kiadása pedig nemzetközi forgalomban kapható, szellemi tulajdonát az USA Brookhaveni Nemzeti Laboratórium technológia transzfer irodáján keresztül benyújtott USA szabadalom és 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 második gondolatként az a számomra meglepő, váratlan öröm is, hogy két eldugott kis faluból származó középiskolás önképzőköri diák ötlete, munkája vezető hírré válhat a világ vezető kutatóintézetének, az amerikai Brookhaveni Nemzeti Laboratórium portálján. Ezen felbuzdulva indítványoztam a Magyar Természettudományos Önképzőköri Mozgalmat, a Magyar TÖK Mozgalmat, mely szellemi erők összefogásán alapul, célja szellemünk művelésének segítése, a nagy múltú magyar természettudományos kultúra és műveltség színvonalának emelése.

Kvarkanyagból Higgs-bozont!

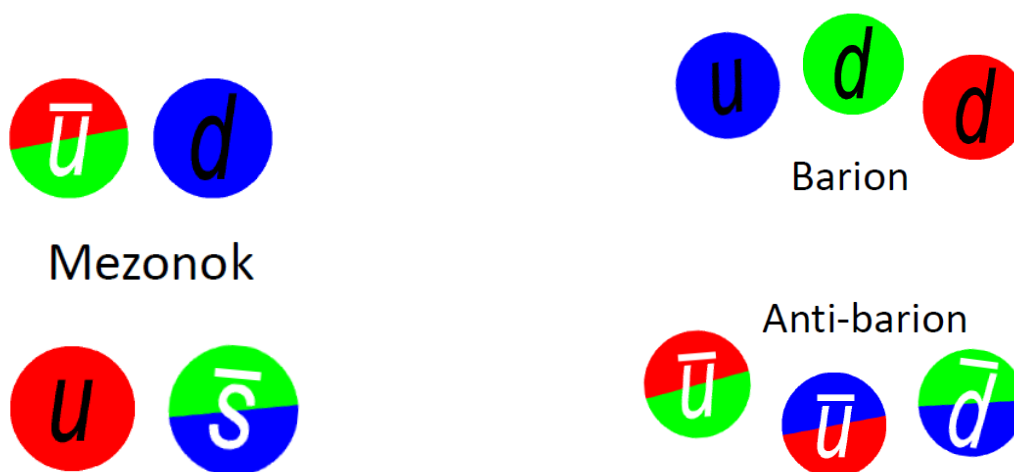
A Részecskés Kártyajátékhoz kapcsolódó legújabb fejlesztésünk a 2012-es év egyik tudományos újdonságához, a CERN LHC ATLAS és CMS kísérleteinek nyári sajtótájékoztatójához kapcsolódik, ahol megtudhattuk, hogy az LHC 7 és 8 TeV-es p+p ütközéseiben legalább egy, korábban nem ismert új részecske nyomait fedezték fel. Az új részecske legalább egy tulajdonsága megfelel a részecskefizika Standard Modelljében az utolsó hiányzó részecskének, az úgynevezett Higgs bozonnak a tulajdonságainak, de még nem világos, hogy a Standard Modell Higgst, vagy egy korábban nem vizsgált, új részecskét vagy esetleg részecskéket fedeztek-e fel. Ezen rész fő témája egy olyan új részecskés kártyajátéknak a 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 ezeknek a játékoknak az a tény is, hogy a játékok a *Részecskés Kártyajáték – Elemi Részecskék, Játékosan* c. könyvünkben leírt, eredetileg a Standard Modell jól ismert leptonait és kvarkjait jelképező kártyapaklival játszhatóak [15]. 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 [15] 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 [16]. 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, a Kvarkanyag időbeli fejlődésének megfelelő módokon.

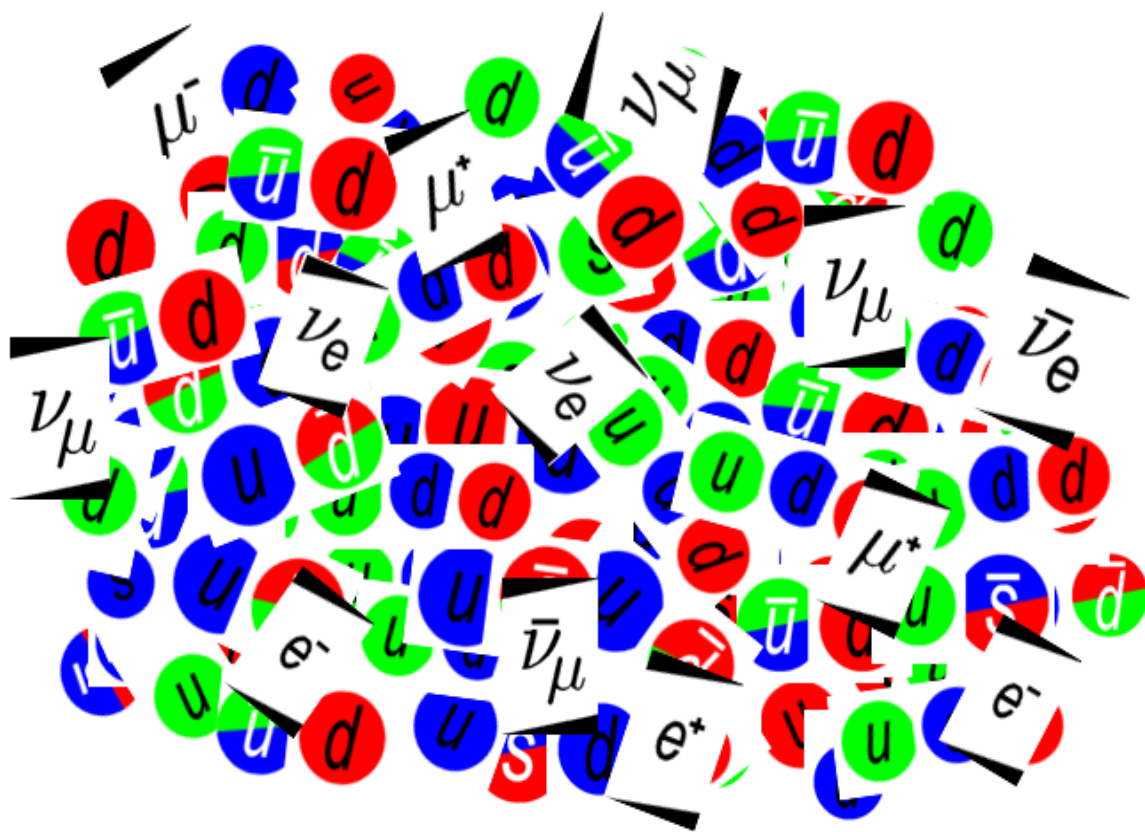


1. ábra: Részecskés kártyalapokból mezonok

2. ábra: Barion és anti-barion, részecskés kártyalapokból

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 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 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 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 [17] 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 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 kvarkanyag 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 barionoknak, a három különböző anti-színű anti-kvarkból álló részecskéket pedig anti-kvarkoknak nevezzük.



3. ábra: A Kvarkanyag kártyajáték kezdeti állapotának illusztrációja.

A Kvarkanyag kártyajáték különböző nehézségi szinteken játszható, beleértve a teljesen kezdő, laikus szintet is [15]. Ebben a cikkben Angela Melocoton (BNL) ötlete alapján egy új, memória típusú 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 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 a [15] könyvben közölt táblázatokot 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 Kvarkanyag 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:

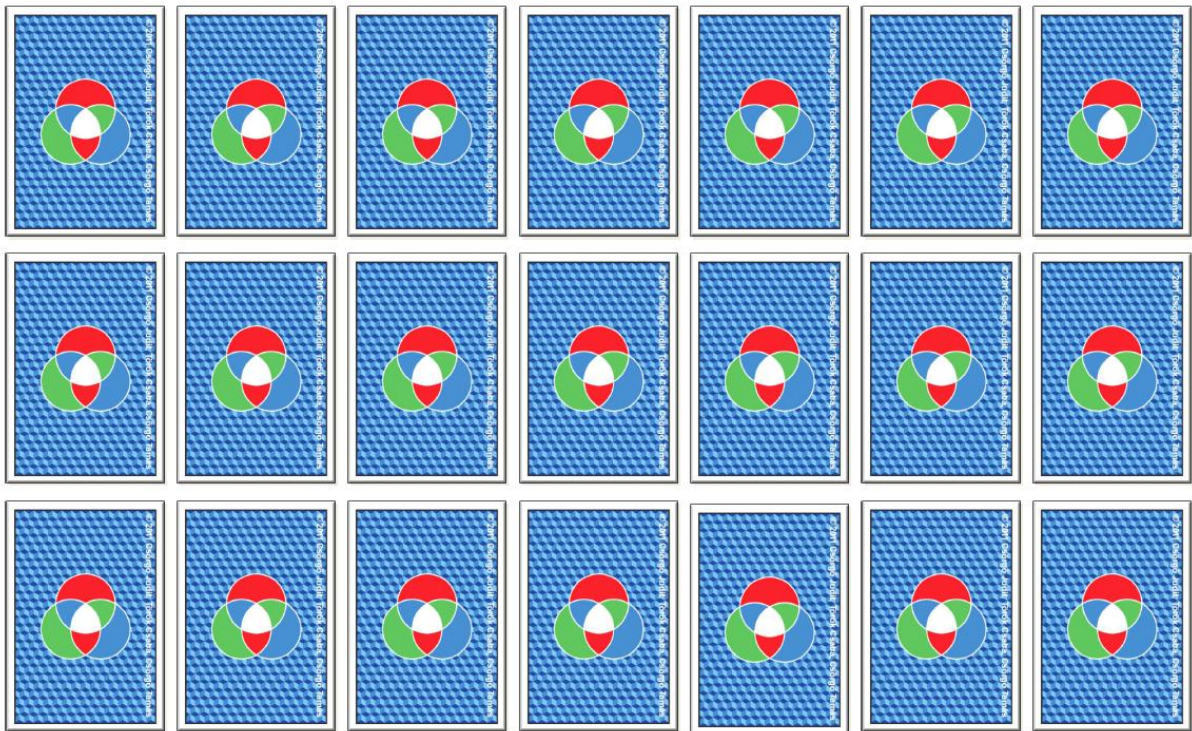
a) ez érvényes leptonpár vagy mezon, ekkor a két lap kivehető, begyűjthető;

- 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, mezont, 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.

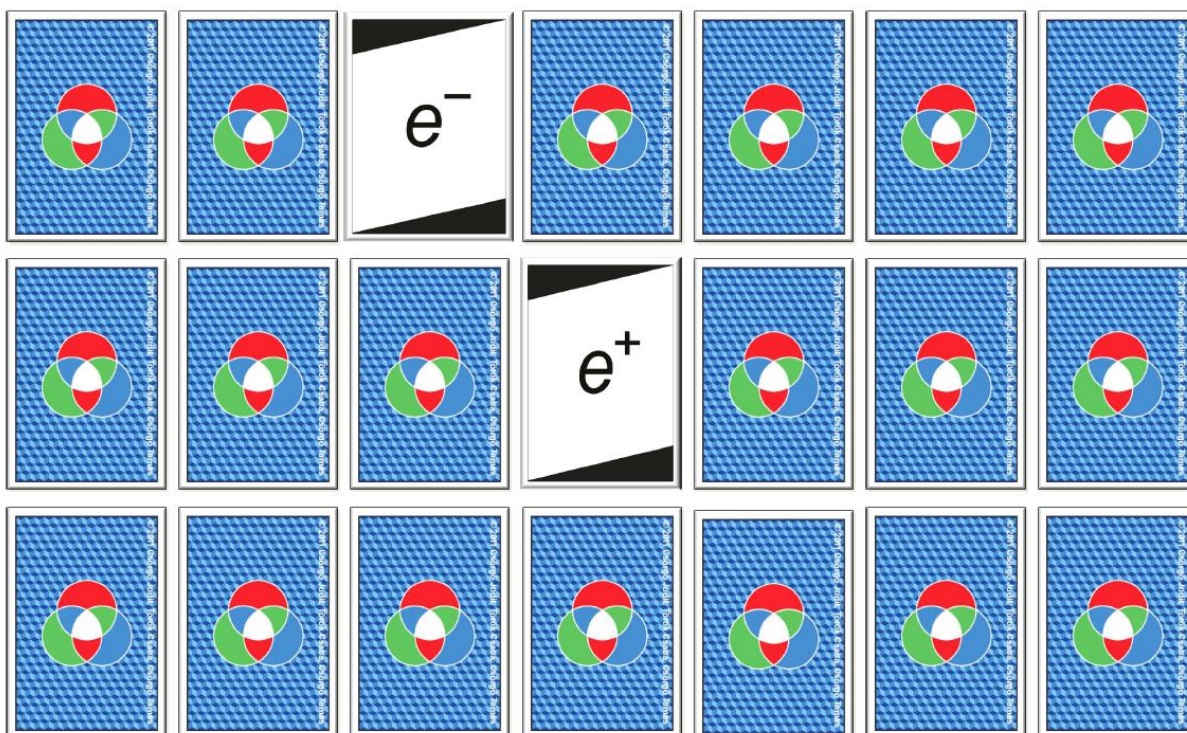
Három további játék leírását, az **'ANTI!'**, a **'Kozmikus Záporok'** és a **'Detektáljunk!'** c. játék leírását, játékunk kifejlesztésének rövid történetét, valamint a részecskés kártyajátékhoz tartozó kártyacsomagot a [15] hivatkozásban megjelölt, magánkiadásban megjelentetett könyv-szett tartalmazza.

Kvarkanyag memória játék



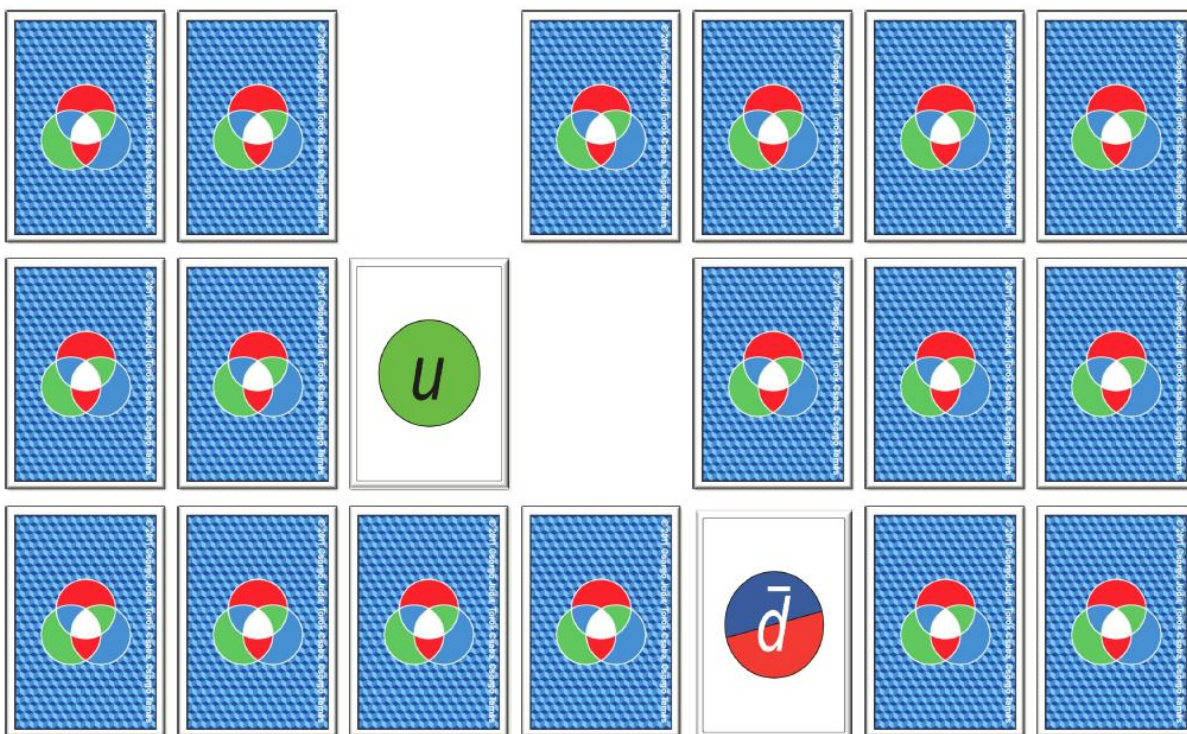
4. **ábra:** Kvarkanyag memória játék kezdő helyzete (illusztráció, a tényleges játék nem 3x7, hanem 6x11 lappal indul)

Kvarkanyag memória – érvényes leptonpár



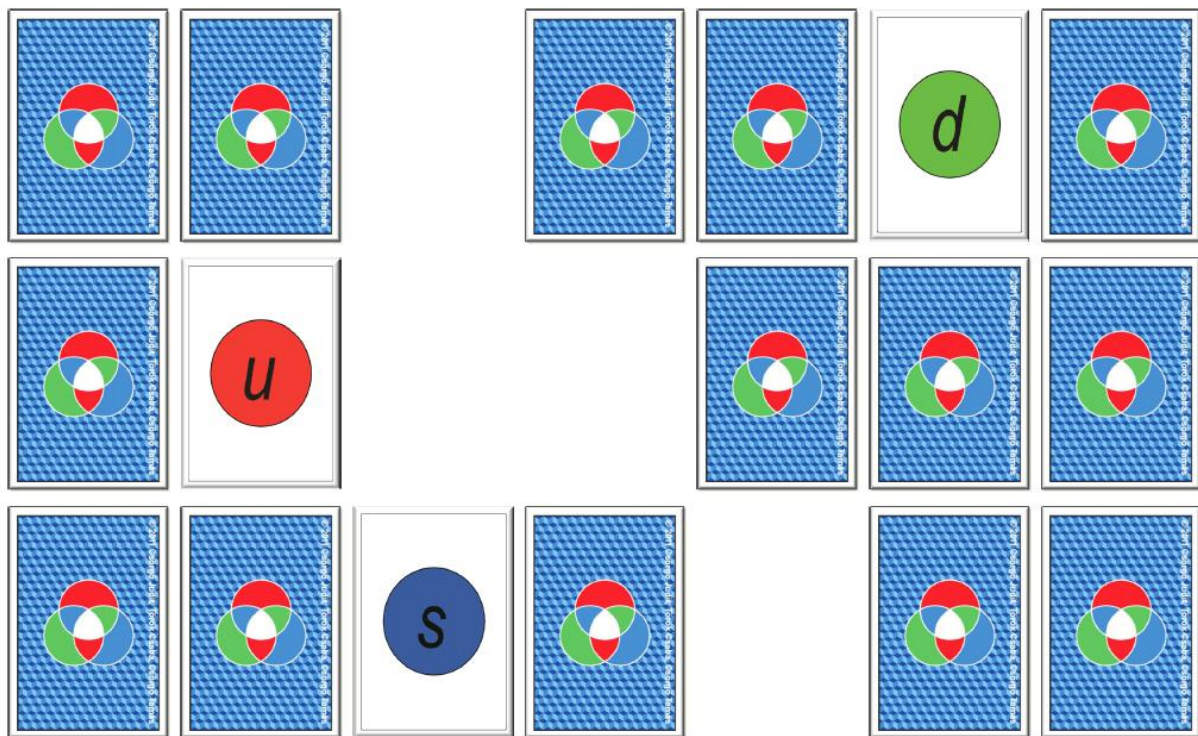
5. ábra: Két lap megfordítása után talált érvényes leptonpár a kvarkanyag memória játékban

Kvarkanyag memória – érvényes mezon

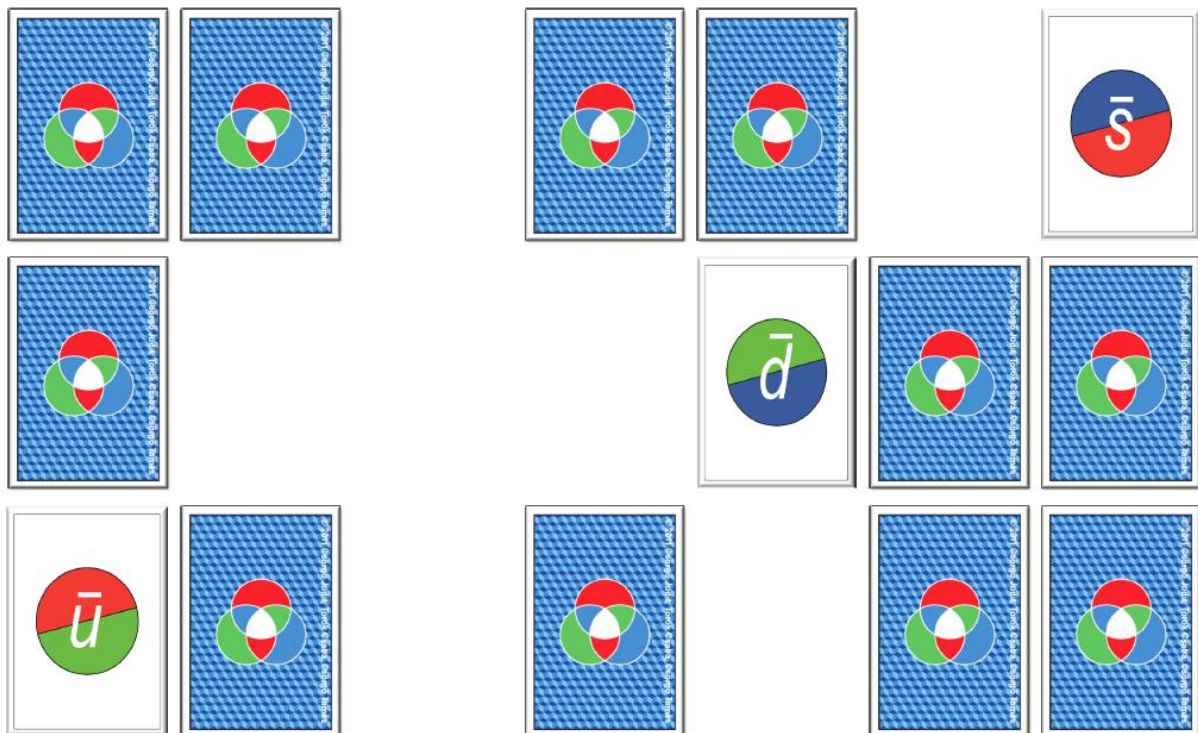


6. ábra: Az előző lépésben talált leptonpár kivétele után egy érvényes mezont talált a játékos

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-barion találat.

Hogyan keressünk Higgs-bozont – részecskés kártyajátékkal?

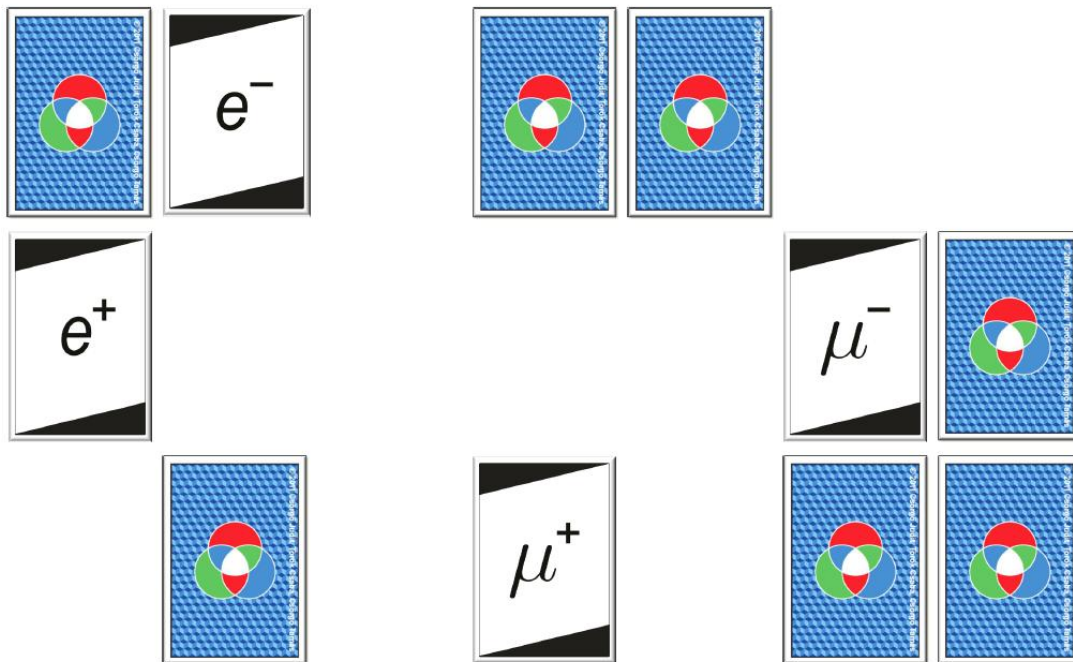
A 2012-es év egyik vezető híre a fizika területén a CERN LHC ATLAS és CMS kísérleteinek 2012 augusztusában megjelent cikkeivel kapcsolatos: a két kísérlet egymással összhangban egy új részecske megfigyelését jelentette be az LHC p+p ütközéseiben [3,4]. Az új részecske tömege mindkét kísérlet közel 125 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 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 lánczá, 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 bomlással 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 találas nélkül ér véget, oly módon, hogy elfogynak a lapok. Ekkor akkor az nyert, aki a Kvarkanyag Memória játék szabályai szerint a legtöbb lapot gyűjtötte össze. A lehetséges nyerő, Higgs-szerű bomlásokat jelképező helyzeteket a 9. és a 10. ábra valamint az 1. táblázat foglalja össze.

Higgs bozon (H^0) lehetséges bomlása	Végállapoti részecske/kártya
$H^0 \rightarrow \gamma, \gamma$ vagy $Z^0 Z^0 \rightarrow$	$e^+ e^-$ $e^+ e^-$
$\rightarrow$	$e^+ e^-$ $\mu^+ \mu^-$
$\rightarrow$	$\mu^+ \mu^-$ $\mu^+ \mu^-$
$H^0 \rightarrow W^+ W^- \rightarrow$	$e^+ \nu_e$ $e^- \bar{\nu}_e$
$\rightarrow$	$e^+ \nu_e$ $\mu^- \bar{\nu}_\mu$
$\rightarrow$	$\mu^+ \nu_\mu$ $e^- \bar{\nu}_e$
$\rightarrow$	$\mu^+ \nu_\mu$ $\mu^- \bar{\nu}_\mu$

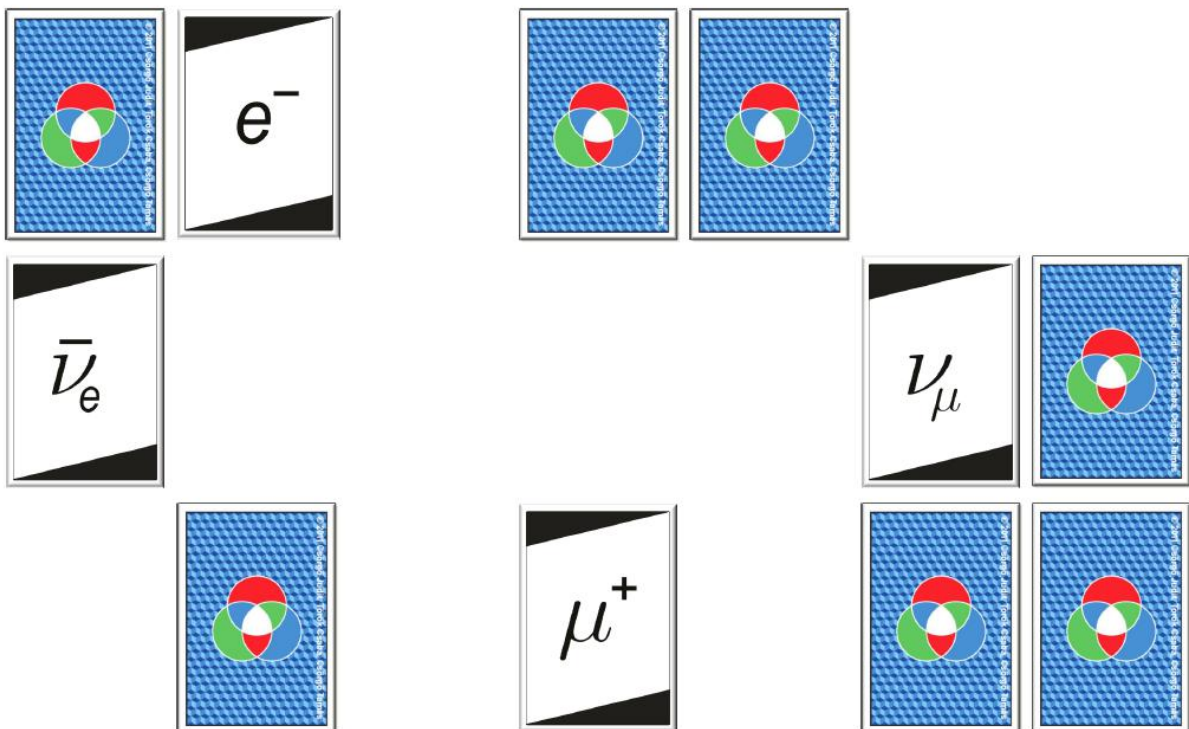
- Táblázat:** Néhány lehetséges Higgs-bozon bomlás, ahogyan azt megvalósíthatjuk a Keressünk Higgs Bozont – Játékosan c. kártyajátékban. Két olyan fekete-fehér (lepton) kártya felfordítása után, amelyek ennek a táblázatnak a jobb oldali oszlopában álló bármelyik lepton-négyessé azaz lehetséges Higgs bomlás végeredménnyé, a játékos „Higgs bozont észlelhet”, és megnyerheti a játékot, ha valóban sikerül kiválasztania négy olyan lapot, amely megfelel a táblázat valamelyik sorának.

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 továbbfejleszthető a hadronok megnevezésével illetve a rablás lehetőségével a Kvarkanyag 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, melyek ugyanarra a lepton-négyesre 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. 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 [19]. Számos további részecskés kártyajáték, például a részecskés snapszer és a részecskés mahjongg áll kifejlesztés és kipróbálás alatt.

Köszönetnyilvánítás:

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

Hivatkozások:

Kísérleti részecskefizikai

[1] L3 Collaboration, P. Achard, ... , T. Csörgő et al, *Test of the τ -Model of Bose-Einstein Correlations and Reconstruction of the Source Function in Hadronic Z-boson Decay at LEP*, Eur. Phys. J. C **71** (2011) 1648 [arXiv:1105.4788](#) [hep-ex]

[2] EHS/NA22 Collaboration, N. M. Agababyan, ... , T. Csörgő et al, *Estimation of hydrodynamical model parameters from the invariant spectrum and the Bose-Einstein correlations of π -mesons produced in $(\pi^+ / K^+)p$ interactions at 250-G V/c*, Phys.Lett. B **422** (1998) 359-368, [hep-ex/9711009](#)

[3] TOTEM Collaboration, G. Antchev, ..., T. Csörgő et al, *First measurement of the total proton-proton cross-section at the LHC energy of $\sqrt{s} = 7$ TeV*, Eur. Phys. Lett. **96** (2011) 21002

Elméleti részecskefizikai

[4] F. Nemes and T. Csörgő, *Detailed Analysis of $p+p$ Elastic Scattering Data in the Quark-Diquark Model of Bialas and Bzdak from $\sqrt{s}=23.5$ GeV to 7 TeV*, Int.J.Mod.Phys. A **27** (2012) 1250175

[5] T. Csörgő, W. Kittel, W. Metzger and T. Novák, *Parametrization of Bose-Einstein Correlations and Reconstruction of the Space-Time Evolution of Pion Production in $e+e^-$ Annihilation*, Phys.Lett. B **663** (2008) 214-216, [arXiv:0803.3528](#) [hep-ph]

Kísérleti nehézionfizikai

[6] PHENIX Collaboration, K. Adcox, ..., T. Csörgő et al, *Formation of dense partonic matter in relativistic nucleus-nucleus collisions at RHIC: Experimental evaluation by the PHENIX collaboration*, Nucl.Phys. **A757** (2005) 184-283, [nucl-ex/0410003](#)

[6a] Magyar fizikusok az idézettségi ranglista élén, a Magyar Tudományos Akadémia portálján, http://mta.hu/tudomany_hirei/magyar-fizikusok-az-idezettsegi-ranglista-elen-126682/

Elméleti nehézionfizikai

[7] T. Csörgő, *Particle interferometry from 40-MeV to 40-TeV*, Heavy Ion Phys. **15** (2002) 1-80 , hep-ph/0001233

[8] T. Csörgő and J. Zimányi, *Analytic solution of the pion - laser model*, Phys.Rev.Lett. **80** (1998) 916-918 hep-ph/9705433

[9] T. Csörgő, L. P. Csernai, Y. Hama, and T. Kodama, *Simple solutions of relativistic hydrodynamics for systems with ellipsoidal symmetry*, Heavy Ion Phys. **A21** (2004) 73-84, nucl-th/0306004

[10] T. Csörgő, S. V. Akkelin, Y. Hama, B. Lukács and Yu. M. Sinyukov, *Observables and initial conditions for self-similar ellipsoidal flows*, Phys.Rev. C **67** (2003) 034904, [arXiv:hep-ph/0108067](http://arxiv.org/abs/hep-ph/0108067)

[11] M. Csanád, T. Csörgő and B. Lörstad, *Buda-Lund hydro model for ellipsoidally symmetric fireballs and the elliptic flow at RHIC*, Nucl.Phys. A **742** (2004) 80-94, [arXiv:nucl-th/0310040](http://arxiv.org/abs/nucl-th/0310040)

[12] M. Csanád, T. Csörgő, A. Ster, B. Lörstad, N.N. Ajitanand, J. M. Alexander, P. Chung, W. G. Holzmann, M. Issah and R.A. Lacey, *Universal scaling of the elliptic flow data at RHIC*, Eur. Phys.J.A **38**: 363-368, 2008

[13] A PHENIX nehézionfizikai és részecskefizikai kísérlet magyar csoportjának kutatásairól, szerepéről a PHENIX kísérletben bővebben: <http://phenix.elte.hu/>

[14] A CERN LHC TOTEM kísérlet magyar csoportjának részecskefizika kutatásairól, szerepéről a TOTEM kísérletben bővebben: <http://totem.kfki.hu/>

Tudományos ismeretterjesztés:

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

[16] 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 (BNL, USA) résztvevői számára

[17] 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

[18] 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

[19] 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> . Magyar nyelvű írásos változata várhatóan a Fizikai Szemlében jelenik meg *Póker Elemi Részecskékkel* címen.

[20] Csörgő Tamás: *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>