

# Építsünk részecskefizikát

Oláh Éva Mária

Bálint Márton Általános és Középiskola  
2045 Törökbálint Óvoda u. 6.

---

*A részecskefizika az egyik leggyorsabban fejlődő tudomány a világon. A középiskolákban nincs idő ennek a témakörnek a tárgyalására, így a diákoknak csak tanítási órák után, szakkörök keretén belül van erre lehetőségük. A diákok ezt a témakört túl nehéznek tartják. Nagyon sok az ismeretlen fogalom, amelyeket nehéz elképzelni, mert a részecskék nagyon-nagyon kicsik, láthatatlanok, a méretük tipikusan  $10^{-18}$  méter alatti. Kifejlesztettem egy oktatási segédanyagot a részecskefizika oktatásához tanárok és diákok részére. Nagyon könnyű elkészíteni, és a diákok a kockák segítségével játékosan tanulnak.*

---

## Bevezető

Szinte hihetetlennek tűnik ma, 2017-ben, hogy alig több mint egy évszázaddal ezelőtt, amikor a neves építész dédnagyapám a középiskolai tanulmányait folytatta, még az „atomosz”, vagyis „szthatatlan” elmélet [1] uralkodott. Kíváncsi lennék arra is, hogy Ő és kortársai, akik a műszaki tudományokkal kiemelten foglalkoztak, vajon mennyit tudtak az atomokról, egyáltalán létezett-e abban a korban atomfizika az egyetemi tanulmányaik során. Az épületek tervezéséhez persze nem volt szükségük az atom mélyebb szerkezetének ismeretére, mégis furcsa, hogy a több mint kétezer éves démokritoszi elméletet ismerték csak. Dédnagyapám 1880-ban született, és csak 1897-ben fedezte fel Thomson az atom egyik alkotórészét, az elektront katódsugárcsöves kísérletei közben. Nem olyan régen, legalább is „univerzumi” időlépték szerint, jött rá Rutherford munkatársaival együtt, hogy az atom belsejében egy parányi, kemény mag található, amelyen az alfa-részecskék különböző mértékben szóródnak. 1911-ben volt ennek százéves évfordulója és talán már én is dédnagymama leszek 2032-ben, a Chadwick által felfedezett neutron százéves évfordulóján. Az 1950-es évektől kezdve pedig rohamosan nőtt a felfedezett szubatomi részecskék száma, hiszen a részecskegyorsítóknak egyre nagyobb energiákon tudnak részecskéket ütköztetni és megfigyelni a keletkezett bomlástermékeket.

A részecskefizika megszületésével az alkalmazott kutatások is előtérbe kerültek, technológiai, orvosi alkalmazásokkal már a mindennapi életünkben is találkozhatunk. Nincs messze az az idő, amikor a PET (Pozitron Emissziós Tomográfia) készülékek is napi szinten lesznek alkalmazva az MRI, vagy CT orvosi diagnosztikai eszközök mellett, és műon részecskéket fognak használni az átvilágításokhoz az egészségre ártalmas röntgensugárzás helyett. Hiába fejlődik a mikrorészecskék tudománya, a középiskolákban jelenleg még középszinten sem része a tananyagnak a részecskefizika, és emelt szinten is legfeljebb a neutrínóról vagy az antirészecskékről kell minimális ismeretekkel rendelkeznie a vizsgázóknak.

## Előzmények

Kutatásaim során azt tapasztalom, hogy sajnos a tanórán időhiány miatt esélye sincs a fizikatanároknak ennek a témának a bővebb tárgyalására, ráadásul nagyon nehéz a diákokhoz közelebb vinni ezt a témakört, hiszen az említett részecskék nagyon parányiak, egy kvark mérete  $10^{-18}$  m, egy protoné három nagyságrenddel nagyobb, és így nagyon nehéz elképzelni őket makrovilágunkban.

Ezeknek az előzményeknek a birtokában kezdtem el gondolkodni azon, milyen egyszerű, könnyen elkészíthető eszköz segíthet a diákoknak kicsit jobban megérteni ezt a misztikus világot. Mélyebb ismereteket persze csak az érdeklődő tanulóknak lehet szakkör, vagy emelt szintű képzés során tanítani, de hiszem azt, hogy a XXI. században már az alapműveltséghez is hozzá kell tartozzon pár egyszerű részecskefizikai fogalom, hiszen akkor hogyan érthetnék meg a nézők pl. az Angyalok és Démonok című filmben történő antianyag-gyártást, a híres Nagy Hadron Ütköztető hadronjait, vagy hogy mi a különbség a Nobel-díjjal jutalmazott Higgs-bozon, és Scooby-Dooby-Doo bozontja között.

## Az eszköz

A szemléltető eszköz ötletének alapjául több dolog is szolgált. A részecskefizikában a fizikusok mindenhol hármas csoportokba sorolják a részecskéket, de szerintem a hatos a bűvös szám, hiszen hat kvarkot, antikvarkot, leptont vagy antilepontot ismerünk. Kézenfekvő tehát egy hexaédert, vagyis kockát használni, amelynek mind a hat oldalára különböző fogalmakat tüntethetünk fel, és ezekkel játékos feladatok során ismertethetjük meg a részecskefizika alap, középiskolában is tanítható fejezeteit.

A legfontosabb valóban a játék, és az úgynevezett „Handson mind-on” módszer, hiszen amit csak hallunk vagy látunk, azt könnyen elfelejtjük, viszont amit magunk készítünk és utána beépítjük a tanulási folyamatunkba, az hosszú távon is bevésődik a memóriánkba. A tanulásnak ezen kívül még az is fontos eleme, hogy a diákok a készítés folyamata során maguk is új ötletekkel állhatnak elő, és egy hosszabb foglalkozás-sorozat során folyamatosan fejlődhet

a modellkészítő projekt, amit így sokkal inkább magukénak érezhetnek.

A készlet elkészítése nagyon egyszerű és kis költségvetésű. Csupán színes kartonpapírokra, ollóra, ragasztóra és filctollra van szükségünk.

Először mindenképpen a Démokritosz által kimondott „oszthatatlan” fogalmat érdemes kockák segítségével eloszlatni, és azt, hogy a proton és a neutron nem elemi részecskék, mint ahogy még ma is több kémiakönyvben így szerepel. Elemi részecske alatt azt értjük, hogy nincs belső szerkezete, nem bontható fel kisebb részecskékre. Mivel a részecskefizika az atommag fizikájának alfejezete, ezért az elektron természetével nem foglalkozunk, ezt a kvantumfizika írja le.

Első feladatként vizsgáljuk meg a proton és a neutron belső szerkezetét látható tárgyak segítségével (1. ábra). Nagyobb méretű, kb. 15×15 cm-es kockába rejtünk el egy piros, egy zöld és egy kék kis kockát, színesre festett hungarocell töltőanyaggal töltjük ki a fennmaradó helyeket, és ha még pontosabban szeretnénk modellünket összeállítani és a nukleonok összetételét elmagyarázni, akkor még kvark-antikvark párokat is helyezhetünk bele.



1. ábra: A proton belső szerkezete

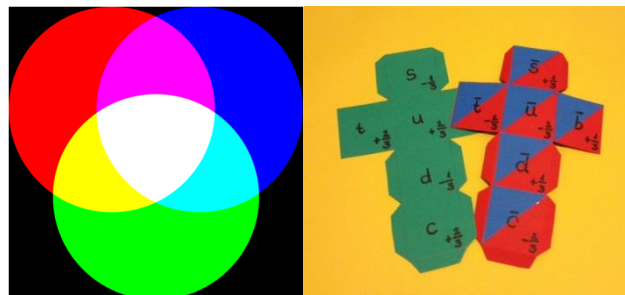
Az RGB (piros, zöld, kék) kockák a nukleonokat alkotó kvarkok lesznek, az angol elnevezésüknek megfelelő kezdőbetűt az oldalukra írjuk. A hungarocell „kukacok” modellezik az erős kölcsönhatás közvetítő részecskéit, amelyek összetartják az azonos töltésű nukleonokat, tulajdonképpen, mint egy szuper ragasztó, míg a kvark-antikvark párok az úgynevezett „tengerkvarkok”, amelyekkel tele van a nyugvó nukleon, és ezek adják a nukleon tömegének több mint 90%-át.

Ezzel a modellel rendkívül szemléletesen el tudjuk oszlatni a protonról és a neutronról az oszthatatlan, vagyis elemi részecske tévhitet [1].

## Színöltés

Arról, hogy miért éppen olyan színűek a kockáink amilyenek, elég csak a legfontosabbakat megemlíteni. A kvantum-színdinamika nagyon nehéz fejezet, magasabb szintű matematikai ismeretekre lenne szüksége a diákoknak a megértéséhez, ezért a középiskolában elég csak alapszabályokat rögzítenünk: a természetben csak fehér szín létezik, amely előállítható a három -RGB- színből, vagy akár két színből is, de akkor egy színhez a részecske saját antiszínét kell párosítani. Ehhez használhatjuk az optikában tanult additív színkeverés analógiát. A játékhoz szükséges kockák és „kukacok” elkészítése közben bőven lesz időnk ennek begyakorlására (2. ábra).

Érdeességként megemlíthetjük, hogy ugyan a gluonok szintén színt és antiszínt hordoznak, a 3×3 szín-dublett variáció mellett mégis csak 8-féle közvetítő részecskéjét ismerjük az erős kölcsönhatásnak, mert a fehérből fehér átmenet kiesik [4], de ez szintén meghaladja a középiskolai szintet. Az erős kölcsönhatást szimbolizáló hungarocell testek festegetése közben elegendő időnk jut a színek és antiszínek megtanulására, és a kvantumszíndinamika alapjainak begyakorlására és megértésére.



2. ábra: Színek és antiszínek

A Nagy hadronütköztetőben jelenleg 6,5+6,5 TeV (teraelektronvolt) energiákon protoncsomagokat ütköztetnek, vagyis a protonnak hadronnak kell lennie. Viszont nem csak a protonok, amelyek egyben barionok is, tartoznak a hadronok csoportjába, hanem az úgynevezett mezonok is. Ezeket az ismeretlen kifejezéseket is csak sok gyakorlással, szemléletes modellekhez kötve lehet maradandóan megjegyezni, és reményeim szerint ebben segít a hadronjáték.

## Hadronjáték

Összesen hat darab 5×5 cm-es kockára lesz szükségünk, kettő-kettőt készítünk piros, zöld és kék színekből is. Viszont mindegyik kockapárból egynek az oldalaira még egy kiegészítő színű háromszöget is ragasztunk. Így kapjuk az úgynevezett antikvark kockáinkat. Igaz ugyan, hogy pl. a piros szín antiszínje a türkiz, ezt mégis kék-zöld kombinációval érzékeltetjük, mert a tapasztalat azt mutatja, hogy így jobban megértik a diákok az antiszín fogalmát.

Ezeknek a kockáknak az oldalaira a hatféle kvark és antikvark elnevezések (praktikusan az angol nyelvű) kezdőbetűit tüntetjük fel. Egy másik, későbbi feladathoz a betűjelek mellé a kvarkok törtöltéseit is odaírjuk.

Újabb „szabályt” fogalmazunk meg, miszerint ha három kvarkból áll egy részecske, barionnak, ha egy kvarkból és egy antikvarkból, akkor viszont mezonnak nevezzük (3.

ábra) [2]. Természetesen most már a színtöltéseket is figyelembe kell venni, hiszen a Pauli-elvnek itt is teljesülnie kell, ugyanis létezik olyan részecske, ( $\Delta^{++}=uuu$ ) amely 3 azonos állapotú kvarkból áll, de tudjuk, hogy ez nem felel meg a kizárási elvnek. Csoportos feladatok során a diákok játszva jegyzik meg ezeknek a nehéz fogalmaknak a jelentését.



3. ábra: Barionok és mezonok

A kvarkok elektromos töltésének ismertetése után a barionok és a mezonok töltését is meg lehet határozni, majd különböző szakirodalmi adatok alapján a tanulók ellenőrizhetik azok létezését, illetve csak azt, hogy mai tudásunk szerint sikerült-e már ezeket felfedezni. Az 50-es, 60-as évektől kezdve számtalan részecskét figyelhetek meg a tudósok, és nevezték el a görög ábécé betűinek segítségével. Bár ismert olyan mezon is, mint a  $c$  és  $\bar{c}$  kvarkokból álló  $J/\Psi$  mezon (4. ábra), amelyet azonos időben, két különböző kísérletben is sikerült felfedezni, ezért kapott kétféle elnevezést is.



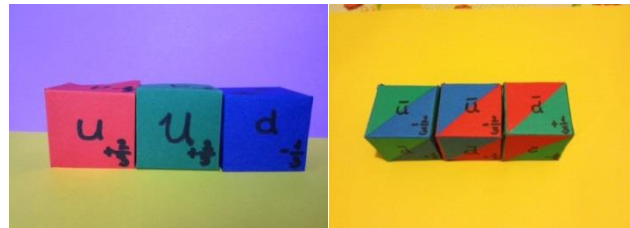
4. ábra:  $J/\Psi$  mezon

Gyakorlás, vagy akár számonkérés során tesztelhetjük az eddig tanultakat például olyan gyakorlattal, amelyben „csukott szemmel” választanak ki három kvarkkockát, vagy kettőt, kvark-antikvark párt. A diáknak kell megmondania, hogy az adott kombináció egy természetben is megtalálható részecske-e vajon, de annak is utánanézhethet, hogy sikerült-e már felfedezni a tudósoknak az elmúlt évtizedekben.

Az antirészecske fogalmát is elmagyarázhatjuk kockák segítségével, de ehhez a már korábban elkészített antikvark kockákra lesz szükségünk. Minden részecskének van antirészecskéje, ezek minden fizikai paraméterükben pontosan megegyeznek, kivéve az elektromos töltésüket, amelyek egymás ellentettjei. Például az  $u$  kvark antirészecskéje az anti- $u$  kvark. Míg előbbinek  $+2/3$  az elektromos töltése, utóbbié  $-2/3$ . A proton, ami két  $u$  és egy  $d$  kvarkból épül fel, és így a töltése  $+1$ , az antiprotoné viszont  $-1$ , mert  $\bar{u}\bar{d}$  összetételű hadron (5. ábra).

Érdekes kérdés és kutatási feladat lehet a gyerekeknek, hogy a híres  $J/\Psi$  mezon, amely  $c$  és  $\bar{c}$  kvarkokból áll, vajon miért nem alakul át energiává, hiszen a részecske saját antirészecskéjével találkozik. És a legnagyobb kérdés, amelyre a CERN kutatói is keresik a mai napig a választ, „Hova tűnt az antianyag?”. A Világegyetem 4-5%-át ismerjük jelenleg, amelyben nincs antianyag. Viszont az

Ősrobbanásokor egyenlő számban kellett, hogy keletkezzenek részecskék és antirészecskék. A gyakorlatok során ehhez hasonló problémafelvetésekre is sor kerül, és kelti fel a diákok érdeklődését a XX.-XXI. század fizikája iránt.



5. ábra: Proton és antiproton

## Béta-bomlás

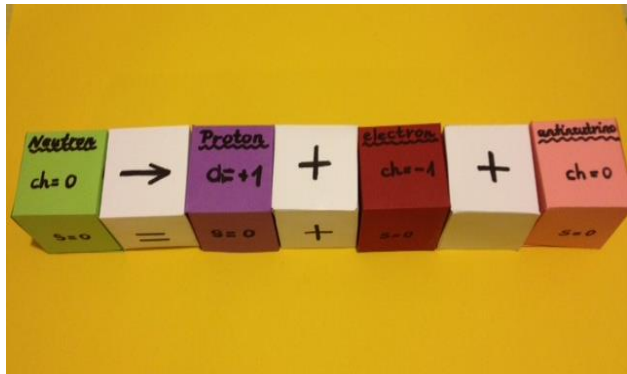
A középiskolai fizika tananyagának fontos részét képezi a modern fizika témakörén belül a radioaktív bomlások fejezete. Még a középszintű vizgát tevő diákok is könnyedén ki tudják számolni függvénytáblázat segítségével a bomlási folyamatok hiányzó tagjait. Viszont tapasztalatom szerint fogalmuk sincs arról, hogy mit miért csinálnak, csak a „bemagolt” sémákat követik. Be kell, hogy valljam, nekem is sokáig problémát jelentett, hogy megjegyezzem, mikor és mennyivel változik a tömegszám és a rendszám és hogy mikor, milyen fajta részecske keletkezik. Elsősorban a magam számára próbáltam kitalálni valamilyen módszert, remélve közben azt is, hogy ezzel a diákjaimnak is megkönnyítem a megértést, tehetségesebb tanítványaimnak pedig a mélyebb szinten történő folyamatokat is el tudom majd magyarázni.

Ehhez az ötletet gyermekeim egyik játéka adta, egy kockákból álló puzzle, ahol a kockák forgatásával mindig különböző képrészlet válik láthatóvá, egyszerre és azonos irányba forgatva őket, felismerhető lesz a teljes kép valamelyik meséből.

Mi lenne, ha mi is valami hasonló módszerrel vizsgálnánk meg a bomlási folyamatokat a nukleonok, vagy akár a kvarkok szintjén is?

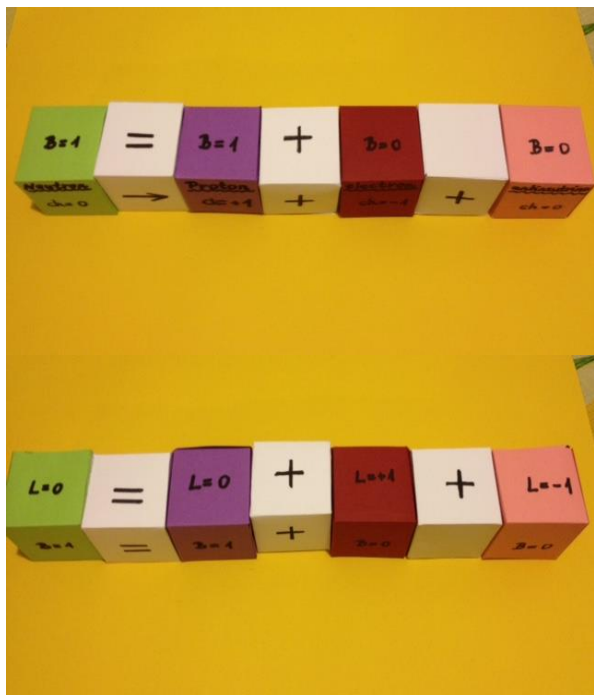
Most újfajta kockákat kell készítenünk, azoknak a részecskéknél a modelljeit, amelyek a béta-bomlásokban előfordulnak. Itt viszont a kocka hat oldalára annak a hat megmaradó mennyiségnek a részecskére vonatkozó adatait írjuk, amelyek minden kölcsönhatásban megmaradnak. Itt a „bűvös” hatos a következő: elektromos töltés, energia/tömeg, perdület, barion-szám, lepton-szám és az izospin hármas vektora. Ebből csak párat használunk a megértetéshez, csak azokat, amelyek könnyen számolhatók. Legyenek ezek a korábbi tanulmányokból már jól ismert paraméterek, mint az elektromos töltés, a barion-szám és a lepton-szám. Persze tisztáznunk kell azt is, hogyan definiáljuk a barion- és lepton-számot. Ehhez a játékhoz megadhatjuk a számokat egy táblázatban, amit használhatnak a feladat megoldása közben, nincs szükség a „száraz” adatok megtanulására, bár elég logikus a magyarázat [4]. Leegyszerűsítve: minden, ami barion, annak a barionszáma  $+1$ , természetesen így a leptonszáma  $0$ , a leptonoknál pedig éppen fordítva van, lepton-számuk  $+1$ , barion-számuk  $0$ , az antileptonok leptonszáma logikusan  $-1$ .

Először vizsgáljuk meg a neutron béta-bomlását (6. ábra)! A mag belsejében lévő neutron egy protonná, egy elektronná és még valamivé kell, hogy alakuljon. Pauli javaslata (az elnevezése E. Fermi nevéhez köthető) óta tudjuk: kell, hogy legyen még egy szinte zérustömegű részecske, amely elviszi a hiányzó energiát [3]. És ez, a lepton-szám megmaradás értelmében egy antilepton kell, hogy legyen, negatív béta-bomlásnál elektron-antineutrínó.



6. ábra: A neutron béta-bomlása

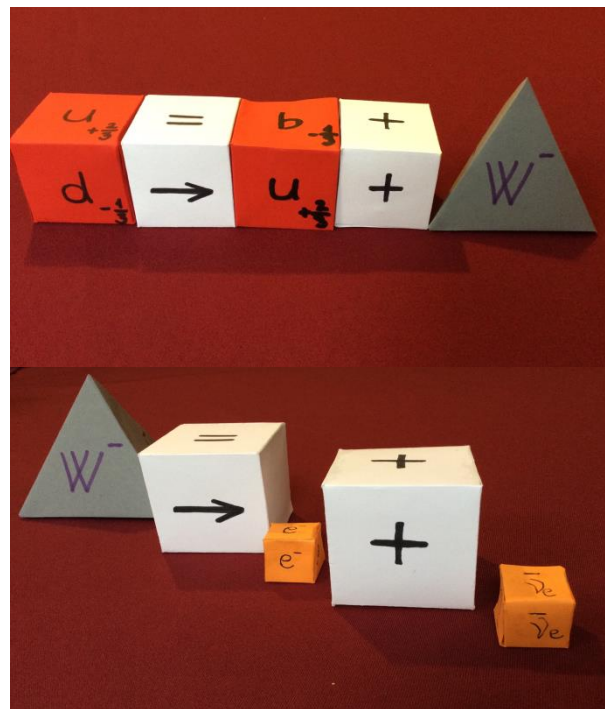
De sokkal izgalmasabb a feladat, ha előre nem áruljuk el az összes bomlásterméket a diákoknak, hanem maguknak kell rájönniük, a megmaradási törvények használatával, milyenek keletkeznek. Ugyanis ha csak az elektromos töltés megmaradását nézzük, akkor az is igaz, hogy neutronból egy proton és egy elektron keletkezik, sőt, ha forgatunk egyszerre, egy irányban mindegyik kockánkon, és így a barion-töltések válnak láthatóvá, még ebben az esetben is helyes az egyenletünk. Viszont a következő forgatás után felborul az egyenlőségünk, amikor is a lepton-szám megmaradást ellenőrizzük, hiszen  $n \rightarrow p + e$  bomlás esetén a lepton-számok a következőképpen alakulnak:  $0 \rightarrow 0 + 1$  (7. ábra).



7. ábra: A barion- és leptonszám megmaradása

Ez azt jelenti: kell, hogy legyen egy antirészecske is, mert annak a lepton-száma -1. Az előre elkészített részecske-kockákból a diáknak magának kell kiválasztania,

kiokoskodnia a hiányzó részecske fajtáját. Ellenőrzésképp pedig ellenkező irányú forgatások során megvizsgálhatjuk a barion-szám és az elektromos töltés számának egyenlőségét az egyenlet bal és jobb oldalán. Szakkör keretein belül azt is megmutathatjuk, hogy a bomlás igazából kvarkszinten játszódik le, hiszen tulajdonképpen egy kvarkcsere történik, a d-kvarkból u-kvark lesz vagy fordítva, eközben keletkezik egy negatív vagy pozitív W-bozon (a gyenge kölcsönhatás mértékbozonja), amely tovább bomlik egy lepton-antilepton párra.



8. ábra: Béta-bomlás kvark szinten

Mivel a célunk az, hogy játszva, szemléletesen tanulják meg tanulóink az amúgy kevés érdeklődést kiváltó, ráadásul nehezen emészthető részecskefizika témakört, itt is becsempészhettünk egy plusz trükköt. A W-bozonunkat, mivel ő a standard modell szerint már nem a fermionok családjába tartozik, és eddig azokat szemléltettük kockákkal, készíthetjük például tetraéder alakúra, és a belsejébe elrejthetünk két kisebb kockát, ezek lesznek a lepton-antilepton párijaink (8. ábra). A bomlás kvarkszintű modellezésénél mintegy varázsütésre „előbújnak” a tetraéderből a bomlástermékek. A béta-bomlás mind a három fajtáját be lehet mutatni a kockák segítségével, és eközben tanítványaink észrevétlenül sajátítják el a tananyagot. Az olvasó további információkat kaphat az [1-4] hivatkozások tanulmányozása során.

## Tapasztalatok

Az ötletek tárháza kimeríthetetlen, hiszen a diákok kreativitása is határtalan. Több iskolában is már bemutatva a projektet, természetesen saját diákjaimmal is kipróbálva, azt tapasztaltam, hogy minden alkalommal bővül a modellkészlet. Volt olyan csoport, ahol barkácsolás közben például a Higgs-bozon bomlására készítettek új kockákat, de volt olyan tanuló, aki a müonok bomlását mutatta be saját készítésű kockáinak segítségével.

Számos rendezvényen, konferencián, továbbképzések alkalmával mutattam be ötletemet fizika- és kémia tanár

kollégáknak, ahonnan minden esetben pozitív visszajelzéseket kaptam. Tudomásom van róla, hogy többen is kipróbálták szakköri kereteken belül és használták oktatási segédanyagként a kocka készlet tanórákon is, és hallottam, hogy volt olyan kolléga, aki fából is elkészítette a modell „tartós” változatát. A legnagyobb örömet és izgalmat számomra is az elkészítés és az ötletelgetés folyamata jelentette. Örömmre szolgálnak azok a visszajelzések, amelyek azt mutatják, hogy tényleg segítséget nyújt a középfokú oktatásban, a modern fizika témakörének feldolgozása közben ez a „filléreből” elkészíthető, látványos, „kézzel fogható” modell. Bár évek óta állandóan azt halljuk, hogy a digitális oktatásnak milyen fontos szerepe van, mégis hiszem: az elmélyült, a technikaórák hangulatához hasonló csoportos foglalkozásoknak nagyon fontos szerepe van mai világunkban, a virtuális megoldásokra csak kiegészítésként van szükségünk. Akár ezt a projektet is, kiegészítő feladatként meg lehet valósítani számítógépes animáció segítségével.

## Összefoglalás

A CERN-ben működő Nagy hadronütköztető beindítása óta egyre több médium foglalkozik a részecskefizika érdekes világával, és próbálják fizikusok, tanárok az átlagember számára is érthetővé tenni a látott-hallott eseményeket. Különböző játékok is készülnek a szemléletesség érdekében, plüssfigurák, kártyajátékok, vagy számítógépes szimulációs programok. Az utóbbi években bebizonyosodott, hogy ezek a módszerek felkeltik nem csak a diákok, hanem az érdeklődő felnőttek figyelmét is, és a témakörrel való játékos ismerkedés után bátrabban kezdenek bele tudományos írások tanulmányozásába. Reményeim szerint minél többen megismerik a jövőben az ötletemet, és tudják használni tanításuk, tanulásuk során.

---

## Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet szeretném kifejezni témavezetőimnek Dr. Horváth Dezsőnek és Dr. Varga Dezsőnek, akik segítették munkámat. A tanulmány elkészítését a Magyar Tudományos Akadémia Tantárgy-pedagógiai Kutatási Programja támogatta.

---

## Irodalomjegyzék

- [1] L. Lederman: *Az isteni a-tom*, Tipotex, Budapest, 2010.
- [2] Katona Zoltán: *Az elemi részek - A világmindenség építőkövei*, Ekren Kft, 2012.
- [3] <https://hu.wikipedia.org/wiki/B%C3%A9ta-boml%C3%A1s> (2017. 01. 29.)
- [4] [http://www.kfki.hu/~horvath/Talks/2014/DE\\_SM\\_20140415.pdf](http://www.kfki.hu/~horvath/Talks/2014/DE_SM_20140415.pdf) (2017. 01. 29.)