

arra, hogy a víz ne teremtsen galvanikus kapcsolatot a két rézdrót között, mert a kísérlet lényege, hogy a víz, mint dielektrikum is befolyásolja a drótok körüli elektromágneses tér eloszlását és ezen keresztül az átvitt jelet. Ez a kísérletsorozat jól szemlélteti, hogy miért is van szükség koaxiális kábelekre, amelyeket alkalmazva az átvitt jel nagysága nem függ a külső környezettől.

A következőkben a kábel végéről történő visszaverődést szemléltetjük, egyben megmérjük a kábelbeni jelterjedés sebességét, azaz a kábelbeni fénysebességet. A mérési elrendezést a 4.b ábra mutatja. Az oszcilloszkópon a jelgenerátor kimenő frekvenciájának függvényében vizsgáljuk a mért feszültséget, miközben egy hosszabb BNC-kábel is rá van csatlakoztatva, aminek végét különbözőképpen zárjuk le. A jelgenerátor kimenő feszültségét jelölje V_{gen} , a kábel hosszát l . Azt fogjuk találni, hogy amikor a kábel végén szakadás vagy rövidzár van, az oszcilloszkópon mért jel frekvenciafüggő lesz. Amennyiben 50Ω -mal zárjuk le, úgy frekvenciafüggetlen jelet találunk. A másik két esetben a 3. ábrán bemutatottakat figyelhetjük meg. A kábelbeni hullámhossz $\lambda_k = c_k/f$, ahol c_k a kábelbeni fénysebesség (a szokásos kábelekre $c_k \approx 0,65 c_0$).

Amennyiben a kábel végén szakadás van, az oszcilloszkópon (közel) 0, ha a kábel hossza a $\lambda_k/4$ páratlan, illetve V_{gen} feszültséget találunk, ha a negyedhul-

lámhossz páros (a 0-t is beleértve) számú többszöröse. Ha a kábel végén rövidzár van, akkor pont fordítva, azaz az oszcilloszkópon V_{gen} , illetve (közel) 0 feszültséget találunk, ha a kábel hossza $\lambda_k/4$ páratlan, illetve páros számú többszöröse.

Ez a feladat több mindenre felhasználható: például ismert hosszúságú kábel esetén segítségével a kábelbeni fénysebesség mérhető, majd ezután ismeretlen kábel hosszának meghatározására is használható. A feladat során – amennyiben rendelkezésre áll – célszerű a jelgenerátor triggerkimenetéről triggerelni az oszcilloszkópot azért, hogy stabil jelalakokat figyelhessünk meg, még akkor is, amikor az oszcilloszkópon kis jeleket mérünk. Ha 10 MHz-es jelgenerátorunk van, az első minimum méréséhez legalább 5 m-es kábel szükséges.

A következő részben bemutatjuk a kábel végéről történő visszaverődések egzakt tárgyalását, valamint példát mutatunk a gyakorlatban is alkalmazott, nem rezisztív, kábelvégi lezárásra, amit többek között magmágnesesrezonancia-spektroszkópiában használunk.

Ajánlott és felhasznált irodalom

Budó Ágoston: *Kísérleti fizika II. – Elektromosságban és mágnességben*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest (1997)

Simonyi Károly: *Elméleti villamosságban*. Tankönyvkiadó, Budapest (1967)

David M. Pozar: *Microwave Engineering*. (4th ed.) Wiley (2011)

A CSAPBÓL IS RÉSZECSEKEFIZIKA FOLYIK?

Oláh Éva Mária – Bálint Márton Általános és Középiskola, Törökbálint
Fülöp Csilla – Madách Imre Gimnázium, Budapest

Középiskolás fizikatanárként azt szeretnénk körüljárni, hogy a mai 14–18 éves diákoknak milyen lehetőségei vannak részecskefizikát tanulni tanórai, vagy bármilyen más keretek között. Először megvizsgáljuk, hogy napjainkban mi a helyzet a keret-, illetve a helyi tantervek terén.

Köszönjük Horváth Dezsőnek, Lévai Péternek és Varga Dezsőnek, valamint iskoláink igazgatóinak, hogy segítették és támogatták munkánkat, lehetőséget nyújtottak a programok szervezésében, lebonyolításában. A tanulmány elkészítését a Magyar Tudományos Akadémia Tantárgy-pedagógiai Kutatási Programja támogatta.



Oláh Éva Mária a Bálint Márton Általános és Középiskola fizikatanára és a MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont dolgozója. Az ELTE Fizika Doktori Iskolájában szerzett PhD fokozatot, kutatási területe a részecskefizika tanítása középiskolában. A CERN-i fizikatanár-továbbképzés szervezője és előadója, tagja az ELFT elnökségének és a Szilárd Leó fizikaverseny versenybizottságának. Elismerései: 2015-ben MTA Pedagógus Kutatói Pályadíj; 2016-ban EMMI Bonus Bona, A nemzet tehetségéért díj.

Részecskefizika a tantervekben és az érdeklődés középpontjában

Az Oktatási Hivatal kétféle tantervet ajánl. A felmérések szerint az iskolák többsége a „B” kerettantervet választja. Ebben a tantervben konkrét részecskefizikai fogalmak egyáltalán nem szerepelnek, csak általánosságban írja le azt, hogy ismertessük a diákokkal az atommag szerkezetét. Az „A” kerettantervben ugyan szerepel a kvark kifejezés, de csak így, önmagában.



Fülöp Csilla az ELTE TTK-n szerzett matematika-fizika-angol szaktanári szakos diplomát. A közoktatás széles skáláján szerzett tanári tapasztalatot: egy angliai magániskolában, főiskolai vezetőtanárként, reál hatosztályos és humán elitgimnáziumban, valamint szakközépiskolában. Érdeklődési területe az informális fizikaoktatás és a „hands-on, minds-on” didaktika. Doktori értekezését 2018-ban védte meg az ELTE-n.

A Maxim tankönyvkiadó tanmenetében találtuk a legtöbb részecskefizikához köthető fogalmat. Itt az alapvető kölcsönhatásokon túl szerepel a kiegészítő tananyagban a standard modell, a mikrorészecskékről és a jelenleg működő gyorsítókról, azok gyakorlati felhasználásáról is lehet beszélgetni a tanulókkal. Néhány helyi tantervben ugyancsak szerepel a kvarkok, illetve az elemi részecskék világa, de azt gondoljuk, hogy ez inkább azon fizikatanároknál fordul elő, akik maguk is jártak már a CERN-ben, az Európai Nukleáris Kutatási Szervezet részecskefizikai laboratóriumában.

Összességében azt állapíthatjuk meg, hogy hiába ismertek csaknem 100 éve a részecskefizika kutatási eredményei, a tananyagban kötelező szinten egyáltalán nem, kiegészítő szinten is csak nagyon érintőlegesen szerepelnek.

Viszont mindig azt tapasztaljuk, hogy a modern fizika fejezetei iránt óriási diákok érdeklődése, ezen belül a mikrorészecskék fizikája – az LHC indítása óta – is nagyon népszerű. A média egyre többet foglalkozik vele, internetes hírportálok, ismeretterjesztő tévéműsorokban gyakran találkozhatunk az LHC, hadronütköztető, Higgs-bozon kifejezésekkel. Mivel a diákjaink is kedvelik ezen műsorokat, illetve olvassák a szenzációhajhász címekkel ellátott cikkeket, természetesen, hogy velük kapcsolatban kérdésekkel fordulnak hozzánk, így a kielégítő válaszok megadásához nekünk is naprakésznek kell lennünk.

A CERN minden év augusztusában egyhetes továbbképzést biztosít a fizikatanárok számára, de ebben az írásban részletesebben a diákok lehetőségeivel fogunk foglalkozni. A teljesség igénye nélkül áttekintjük a lehetőségeket: hazai, középiskolai, illetve a Wigner Fizikai Kutatóközpont által szervezett programokat, végül a CERN 2017-től induló új továbbképzését mutatjuk be.

Részecskefizikai diákműhelyek

2005 óta a CERN az IPPOG (International Particle Physics Outreach Groups) keretében kora tavasszal Nemzetközi Diákműhelyt (Masterclass) szervez. Ennek programja hazánkban az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont (korábban KFKI) szervezésében az ország középiskoláiba járó diákok számára a *Lehetsz Te is kutató egy napra* program. Iskolánként két tanulót tudnak fogadni. Eleinte egy-egy helyszínen 20 fő vehetett részt, viszont a nagy érdeklődésre való tekintettel az utóbbi években már duplájára növekedett a létszám.

A nap folyamán a diákok előadásokat hallgatnak az alapvető kölcsönhatásokról, gyorsítókról, detektorokról. A közös ebédet követően pedig az LHC egyik kísérlete, a CMS adatait számítógépes program segítségével elemzik, sőt maguk is találhatnak olyan eseményeket, amelyek a Higgs-bozon jelenlétére utalnak. A program hivatalos elnevezése Nemzetközi Részecskefizikai Diákműhely, ugyanis adott napon

egyszerre több országban is megrendezésre kerül, és az adatelemzést követően a tanulók a kapott eredményeket angol nyelvű videokonferencia segítségével meg is osztják egymással [1].

Ez a program ugyanolyan nagy sikerrel folyik évek óta Debrecenben is a Debreceni Egyetem, és Székesfehérváron az Óbudai Egyetem Alba Regia Kara szervezésében.

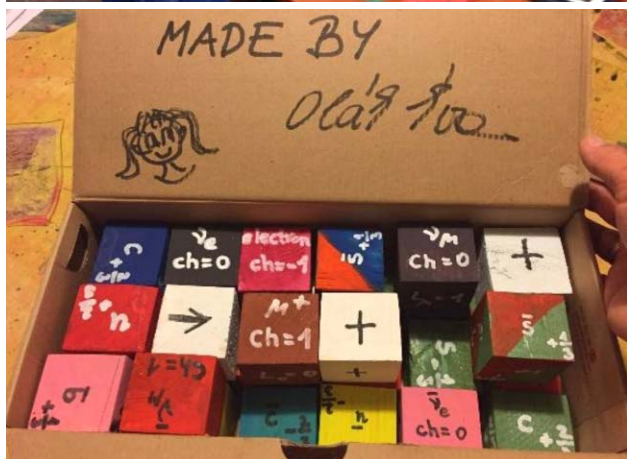
Természettudományos önképzőkör

Több iskolában, többek között a Bálint Márton Általános Iskola és Középiskolában is működik olyan szakkör, ahol az érdeklődő tanulók a középiskolai tananyagot túlmutató tudományos előadásokat hallgathatnak. A biofizikától a kozmológiáig több neves tudós fogadja el a felkérést, tart előadást. De „minden szentnek maga felé hajlik a keze”, a legtöbb előadás a fizika, azon belül is a részecskefizika legújabb eredményeivel foglalkozik.

Az önképzőkörök feladata mindig az volt, hogy felkeltse a gyerekek érdeklődését, majd ezt követően közös projektek kidolgozására is sor kerülhet. Ezek általában havi vagy kéthavi rendszerességgel kerülnek lebonyolításra és alkalmanként több száz tanuló is hallgatja az előadásokat. Óriási öröm, hogy ezt követően a diákok kérdésekkel fordulnak az előadóhoz, vagy maguk is egyéni kutatásokba kezdenek a témakörben [2].

Higgs-projekt

Az alkalmazott fizika, azaz a mérnöki tudományok iránt érdeklődő szakközépiskolás tanulók körében talán még intenzívebb az érdeklődés a kutatások eredményeinek megismerésére. Informatikai és elektrotechnikai, valamint gépésztanulók nem csak fizika, de szakmai órákon is hallottak az LHC-ről. A Higgs-bozon felfedezésének híre hívta életre a Higgs-projektet a Trefort Ágoston Kéttannyelvű Szakközépiskolában. A személyes látogatás anyagi hátterét nem sikerült megteremteni, ezért teljesen más megoldást kellett találnunk. Az érdeklődők egy előadás során átláthatták a témát, *Mi is a részecskefizika?* címmel felvillantak a történelmi háttér, az alkalmazott berendezések, a tudományos elmélet alapjai. A *Particle Zoo* [5] egy túpárnaszerű plüssfigurákból összeállított készlet, amely a részecskék alapvető tulajdonságait tanítja meg. A projektben résztvevő tanárok és diákok egy-egy ilyen plüss elkészítésével, és az adott részecske jellemzésével készültek a második előadásra, amelyet *Horváth Dezső* tartott a Higgs-bozon felfedezéséről *Peter Higgs* születésnapján (ezen különleges alkalmából az előadás végén elfogyasztottunk egy tortát). A tanulók megismerhették a részecskék típusait (bozon, lepton, kvark), és az anyag-antianyag párokat. Az egyéni munkájukhoz elsősorban angol nyelvű szakirodalmat használtak az internetről.



1. kép. Oláh Éva műhelyfoglalkozása és tartós, fából készült részecskekocka-készlete.

Játékos részecskefizika kockákkal

Nincs könnyű feladatunk, ha diákjaink – az érdeklődés felkeltésén túl – többet szeretnének tudni a mikrovilág rejtelméről, hiszen a tananyagban csak a korábban említett mennyiségben szerepel a részecskefizika-témakör, viszont az itt felsorolt programok kapcsán lépten-nyomon olyan kifejezésekkel találkozunk, mint a „bozon”, „hadron”, „lepton” szavak. Memorizálásukhoz fizikatanárként is hosszú idő kellett. Fontos, hogy a szubatomi részecskék mérettartományában (tipikusan 10^{-18} m alatt) szemléletes képet tudjunk alkotni. Gyakorlatból tudjuk, hogy a bevésődés legmagasabb szintje az, amikor a tanulás gyakorlati feladattal is párosul (hands-on, minds-on didaktika). Ehhez egy oktatási segédeszközt – amely a részecskefizika alapvető fogalmainak és törvényeinek játékos tanulását szolgálja – dolgoztunk ki. Az eszköz papírkockákból áll, mert a hat lapján különféle fizikai fogalmakat lehet feltüntetni, mint a kvarkok ízei, a leptonfajták vagy a megmaradó mennyiségek. A diákok – miközben elkészítik saját kockakészletüket – észrevétlenül tanulják a sokszor érthetetlen és nehezen megjegyezhető kifejezéseket. Az elkészült készlet segítségével pedig a hadronok felépítése, a légbőr felső rétegeiben lejátszódó bomlási folyamatok, vagy

akár a középszinten is elvárt béta-bomlás mélyebb szerkezete is érhetőbbé válik.

Az ország különböző középiskolái gyakran szerveznek előadásokat, amelyek között az „részecskefizika-építés” is többször szerepelt. Az előadásokat időnként műhelyfoglalkozással is egybekötik, ahol elkészítik a kartonpapírból kivágott részecskekockák. Ezen saját készletek felhasználásával később – szakörök vagy különórák során – a gyerekekkel közösen lehet újabb projekteket kitalálni. A készlet továbbfejleszhető, vele például a kozmikus müonok bomlása is bemutatható, amihez persze újabb kockákat kell gyártani. A különböző megmaradási törvényeket is be lehet mutatni és gyakoroltatni (1. kép). A tartósabb változat akár fakockákból – festéssel, feliratozással, lakkozással – is készülhet, hosszú ideig használható oktatási segédanyagot nyújtva a fizikaszertárak számára [3].

Tanulmányi kirándulások a CERN-be

A világ legnagyobb részecskefizikai kutatóközpontja, a CERN nagy hangsúlyt fektet az oktatásra, minden évben egyhetes, a fizikatanárok anyanyelvén tartott továbbképzéseket szervez (például 2016-ban 39 alkalommal), ezen kívül a nemzetközi tanártovábbképzések során többhetes tanulásra ad lehetőséget, illetve rendszeresen fogad középiskolás diákcsoportokat is. Ennek megszervezése nem is olyan nehéz feladat, de időben kell jelentkezni, mert óriási az érdeklődés. A CERN látogatói központján keresztül kell megadni az időpontot, amikor a csoport érkezni szeretne, és az intézet egy teljes napon keresztül enged bepillantást nyerni a leghíresebb és legnagyobb volumenű kísérletekbe. Ezek közé tartozik a CMS-detektor látogatása, és ha éppen nem működik a gyorsító, akkor közvetlen közelébe is el lehet jutni, 10-15 méter távolságból lehet megtekinteni a mérnöki tudomány egyik csodáját. A diákok az újonnan megépített S’Cool Lab elnevezésű laboratóriumban saját detektorukat, a még ma is nagyon érdekfeszítő eszköznek számító ködkamrát is megépíthetik (2. kép).

Két ingyenesen látogatható kiállítást is működtet a CERN, a *Microcosmosban* interaktív módon érthetik meg a gyorsítóknak és detektoroknak lejátszódó folyamatokat, a CERN jelképévé váló *Globe*-ban pedig a *Részecskék univerzuma* című kiállítás látható. Mindkét szerző iskolájukba járó diákjai számára több alkalommal szervezett látogatást a CERN-be. Egy-egy alkalommal 20-30 diák ismerkedhetett – ezen nem hagyományos módon – a részecskefizika rejtelmével.

A Science Center pedagógia kutatási eredményei és saját tapasztalataink alapján javasoljuk ezen tanulmányi kirándulásokat egy projekt keretébe ágyazni. A látogatás is érdekesebb lesz, és több, maradandóbb tudás alakul ki tanítványainkban, ha néhány lépésben előkészítjük az utat, majd a projekt lezárásaként, utókövetésként még egy programpontra fejezzük be azt. Például a Madách Imre Gimnáziumban a tanulók há-

rom, egymásra épülő szervezett előadás és műhely keretében készülhetnek fel a látogatásra, valamint egy otthon kitöltendő munkalapot is kaptak, amely a National Geographic ismeretterjesztő filmjéhez készült. A a genfi kirándulást követően pedig virtuális látogatáson vettek részt, ahol a CERN-ben dolgozó magyar fizikusok, mint kedves ismerősök zárták a CERN-MIG 2017 projektet.

A svájci tanulmányi kirándulás – természetesen – nem csupán a fizikát érinti, hanem szerep jut a kultúrának is. A diákok „kincsvadászat” játékkal, kis csoportokban versenyezve fedezhetik fel Genf nevezetességeit, történelmi helyeit.



2. kép. Középiskolások a CERN-ben: balra fent a szuvenírbolt, alatta ködkamraépítés a S’Cool Labben, jobbra a szétszerelt CMS-detektor.

CERN Open Days a Wigner FK-ban

A Wigner FK-ban minden év szeptemberében nyílt hétvégét rendeznek, amely minden érdeklődő számára szabadon látogatható, de – természetesen – a tanárok és diákok jelenléte a jellemző. Ezen a két napon a résztvevők bepillanthatnak a részecskefizika fellegvárára, a CERN legújabb eredményeibe, az ott dolgozó magyar fizikusok aktuális kutatásaiba.

A csillebérci telephelyen működő Adatközpont is sok érdekességet tartogat az érdeklődők számára. Az egyes laboratóriumokban fejlesztett eszközök különféle tematikájú sátrakban tekinthetők meg, a „Sokszínű Fizikabusz”-ban pedig látványos, interaktív kiállítás várja az érdeklődőket. Újdonságnak, hogy idén azok a középiskolás diákok, akik a CERN által szervezett első kéthetes továbbképzésen vettek részt, bemutathatják az ott végzett, mini kutatótevékenységüket [4].

Diákok kutatómunkája a Wigner FK-ban

Az MTA Wigner FK több intézete régóta fogad középiskolás diákokat különböző látogatásokra, vagy akár egyhetes nyári táborra is, de folyamatos tevékenységre, diákkutatásra csak egyetemista hallgatóknak volt lehetősége. A Részecske és Magfizikai Intézet Nagyenergiás Fizikai osztályán viszont több éve már heti rendszerességgel dolgozhatnak középiskolás diákok, akik bepillantást nyerhetnek a kutatók mindennapi tevékenységébe. Megtehetik mindezt azért, hogy az osztályon működő Detektorfizikai Kutatócsoport felvállalta, hogy a 14–18 éves korosztály számára is lehetőséget biztosít. Ennek keretében megismerhetik, hogy mivel foglalkozik egy fizikus, és így pályaválasztásuknál már tudatosan választhatják a fizika szakirányt.

A kutatócsoport gáztöltésű detektorok fejlesztésével foglalkozik, és – a középiskolás diákok segítségével – évek óta azt is vizsgálja, hogy miként lehet a legmodernebb érzékelő berendezéseket a középiskolai oktatásba is bevinni. Jelenleg a fizikaórákon vagy a szakkörökön különféle sugárzások bemutatására, észlelésére a még mindig népszerű ködkamra, vagy a radioaktív sugárzást bemutató Geiger–Müller-számlálósó van használatban. Előbbi hátránya, hogy működtetéséhez nehezen beszerezhető szárazjég szükséges, utóbbit pedig azért nem szeretjük használni, mert a radioaktív sugárzás káros lehet az egészségre. Ezzel a Nagyenergiás Fizikaosztály laboratóriumában készül detektorok, a sokszálas, proporzionális kamrák az egészségre ártalmatlan, kozmikus müonok vizsgálatára lettek kifejlesztve. A diákok által összeállított mérete tipikusan 20×20 cm (3. kép) – a professzionális változatok lényegesen nagyobb méretben készülnek –, az utóbbi időben, a költséghatékonyság érdekében, még kisebbekkel is próbálkoznak. Az ilyen jelentős detektorépítési munkálatok előtt a diákoknak meg kell ismerkedniük a különböző előkészítő részfeladatokkal is, eközben megtanulják használni a műhely gépeit, eszközeit. Azok, akik jobban értenek az elektronikához, például megtervezhetik és össze is állíthatják azon árammérő műszert, amellyel meg lehet mérni a detektor nagyon kicsiny áramát, és egyben nagyfeszültség mérésére is alkalmasak.

A professzionális detektorokhoz gyakran használnak különleges anyagokat, speciális fóliákat is. Ezek tesztelését is – az úgynevezett szórás kísérletekkel – sokszor a diákok végzik. Ez a lehetőség a középiskolás diákok számára nagy lépést jelent az egyetemi továbbtanulásuk orientációjában, hiszen a Kutatás Alapú Oktatás (Research Based Learning) részesei lehetnek.



3. kép. Ismerkedés az eszközök használatával, és egy működő műonkamra.

CERN HSSIP

A fenti kezdeményezések, lehetőségek Magyarországon adódnak, viszont 2017 májusában fantasztikus kezdeményezéssel állt elő a CERN oktatásért felelős bizottsága. Ne csak fizikatanárok vagy legalább másodévet végzett egyetemisták juthassanak el tanulás céljából Európa legnagyobb részecskefizikai kutatóközpontjába, hanem – még azelőtt, hogy döntést hoznának továbbtanulásukról – középiskolás diákok is. A cél, hogy egy gyakorlati, bentlakásos továbbképzés során tapasztalhassák meg, miért is érdemes a fizikát vagy a műszaki tudományokat választani. 2017-ben összesen öt ország nyerte el a részvétel jogát, és ezek között is Magyarország lehetett az első, és 22 diákkal (4. kép) képviseltethette magát ezen a rendkívüli programon.

4. kép. A világelső, magyar középiskolás csoport a Globe és a „Mágnesgyár” látogatásakor.



A tanulók kettesével csatlakoztak egy-egy kint dolgozó fizikushoz, mérnökhöz vagy informatikushoz, akikkel két héten keresztül mindenben együtt tevékenykedtek. Programokat írtak a szupravezető mágnesek teszteléséhez, részt vettek a CMS-kísérlet éjszakai műszakjában, CNC-gépekkel esztergálhattak, vagy kozmikus műonokat észlelő detektorokat szimulálhattak. Ezen a kísérleti jellegű továbbképzésen Magyarország 19, az ország különböző középiskolájában tanuló diák vehetett részt, többnyire iskolánként egy fővel, kivételesen csak a már régebb óta, a Wigner FK-ban kutatómunkát végző tanulók jelentettek. A CERN-nek jelenleg 22 tagországa van, a tervek szerint ehhez a programhoz minden évben csak öt ország csatlakozhat, így hazánkra előreláthatóan csak öt év múlva kerül újra sor [5, 6].

Összegzés

Átlagemberként is azt tapasztaljuk, hogy a részecskefizika korunk egyik legdinamikusabban fejlődő tudományága, és sajnos a középiskolai tananyagban még csak érintőlegesen szerepel. Ezért fontos, hogy a diákoknak a tanórán kívül is adjunk lehetőséget ezzel a nagyon sokrétű, érdekes témakörrel foglalkozni, a mikrovilág mélyebb rejtelmét megismerni. A tanárkollégák – kezdeményezéseik kidolgozásához – számíthatnak a kutatók támogatására. E munkában – a CERN-nel karöltve – élen jár az MTA Wigner Fizikai Kutatóintézet. Mindkét intézet hatalmas anyagi és emberi ráfordítással dolgozik azért, hogy a középiskolás diákok úgy érezhessék: a „csapból is részecskefizika folyik”.

Irodalom

1. http://www.rmki.kfki.hu/~jancso/Reszecskefizikai_Diakmuhely_Wigner_FK/
2. <http://www.balintsuli.hu>
3. Oláh Éva Mária: Építsünk Részecskefizikát! *Nukleon X.* (2017) 203. ISSN: 1789-9613, Magyar Nukleáris Társaság 2017.
4. <http://cernopendays.wigner.mta.hu>
5. <http://wigner.mta.hu/hu/2-het-22-magyar-kozepiskolas-genf-hssip-2017>
6. http://mta.hu/tudomany_hirei/huszonket-magyar-diakot-latott-vendegul-ket-heten-at-a-cern-107900