

SOKSZÁLAS GÁZDETEKTOR ÉPÍTÉSE A BAÁR–MADAS REFORMÁTUS GIMNÁZIUMBAN

Horváth Norbert

Baár–Madas Református Gimnázium,
Általános Iskola és Diákotthon

Lassan tíz éve, hogy elkezdjük a tehetséggondozást fizikából gimnáziumunkban, amelyet 1990-ben kaptunk vissza az 1950-es államosítása után. Az adományozóiról – *Baár Jánosról* és *Madas Károlyról* – kaptuk gimnáziumunk nevét, amelyet a református egyház 1907-ben alapított.

Az elmúlt tíz évben a kis számú, de annál lelkesebb szakkörösök a hazai és nemzetközi rangos versenyeken (Mikola, Szilárd Leó, OKTV, IPhO) igen szép eredményeket értek el. Ezen eredmények eléréséhez a *Vankó Péter* vezette olimpiai szakkör is nagy mértékben hozzájárult.

Jómagam, a fizikatanáruk kezdtem érezni, hogy már nem elegendő a tudásom, legfőképpen a modern fizika területein. Jelentkeztem, és részt is vehettem a CERN-ben (Európai Nukleáris Kutatási Szervezet) a középiskolai tanárok tizedik továbbképzésén. Csodálatos egy hetet töltöttünk Genfben, és tanárokként mind azon gondolkodtunk, hogyan hozhatnánk el ide a diákjainkat is. A CERN-ben kutató fizikus, *Béni Noémi* tartott erről egy praktikus előadást, de mint



Horváth Norbert villamosmérnök, fizika- és technikaszkos középiskolai tanár. Több középiskolában tanított, mellette négy évet töltött a KFKI RMKI lézeres laborjában. Jelenlegi iskolájában 2001 óta tanít technikát és fizikát. Tanítványaival estékbe nyúló szakkörökön dolgoznak, amelynek eredményeként diákjai eredményesen szerepelnek a rangos fizikaversenyeken, részt vesznek innovációs és tehetséggondozó pályázatokon is. Öveges-érmes, Bonis Bona-, Delfin-, Csákány Antalné- és Ericsson-díjas.

mindenhez, ehhez is természetesen pénz kell. A pályázat volt az egyetlen esélyünk. Éppen amikor haz értünk írta ki az Emberi Erőforrások Minisztériuma az NTP-MTTD-15, azaz a nemzeti tehetségprogram matematikai, természettudományi és digitális kompetenciák fejlesztésére szóló, összegében 2 millió forintos pályázatot. A pályázatban három különböző méretű csoportos kategóriából lehetett választani. Mi a legkisebb létszámú, maximálisan tízfős kategóriát választottuk. Öt napunk volt rá, hogy megírjuk a pályázatot. A „hozzáértők” lemondóan legyintettek, de mi összeraktuk, megírtuk és beadtuk *Útban a Higgs-bozon felé, kozmikus részecskék detektálása* címmel. Programunk három fő részből állt: 1) elméleti ismeretek bővítése, 2) CERN-i tanulmányút, 3) detektor építése.

A pályázat eredményének kihirdetésétől függetlenül, az elméleti ismeretek bővítésével indult a programunk, amelyben minden tanulónk számára nyitott volt a részvételi lehetőség. A kiemelt tehetségekre való szűkítést a CERN-i tanulmányút és a detektorépítésben résztvevők lehetséges száma adta.

Ismeretbővítő programunk első pontja a CERN–Wigner nyílt nap volt 2015. szeptember 12–13-án Budapesten. A fizikában járatos érdeklődő diákok ezen a kiállításon keresztül kitekinthettek a középiskola és a versenyek világából a valódi fizikusi világba. Előadást és online-kapcsolatú bemutatót hallhattak CERN-ből, bejárhatták a Wigner Intézetben lévő CERN–Wigner Data Centert, és a kiállító sátrakban megfoghatták a detektorelemeket, a szcintillátorokat, továbbá elektronszorozók különböző fajtáit, és végül, de nem utolsósorban a mi leendő detektorunk mintapéldányát.

A továbbiakban kéthetes ciklusokban tartottunk előadásokat és a témához tartozó négyórás szakköri foglalkozásokat. Első vendégünk, *Horváth Dezső* Hová lett az antianyag? című előadásának nagyon örültünk, mert kiemelkedő tehetségeinknek már voltak részecskefizikai ismeretei, de ezt a kérdést még nem tettük fel. Előadónk az antianyag definiálása után lényegében összefoglalta e lapban megjelent cikkeit [1, 2], amelyekben írt a fizika alapvető törvényéről, a szimmetriáról.

A világ az Ősrobbanásban keletkezett. A keletkezéskor volt egy olyan időszak, amikor csupa sugárzás töltötte be a Világegyetemet, és ekkor pontosan ugyanannyi anyagnak és antianyagnak kellett keletkeznie. A jelenlegi megfigyelésekben nem látjuk az antianyag-galaxisokat. Vannak olyan elképzelések, amelyek szerint ezek a Világegyetem általunk nem belátható részében rejtőznek.

Ma az orvosi alkalmazásokban vagy a fizikai kísérletekben megtaláljuk az antianyagot. Az antiproton előállítása után az antihidrogén-atom előállítása és annak vizsgálata történt meg, igaz, az antihidrogén még nem számolható mólnyi mennyiségekben. Az ALPHA-kísérletben már tárolni is sikerült antihidrogént, szám szerint 38-at. 2010-ben a fizikusi világban az antihidrogén előállításának ítelték az első helyet a kutatások sorában. A valóságban egyelőre csak a pozitronemissziós tomográfia, a PET létezik. Álom még az Antiproton Cell Experiment (ACE), azaz a rák kezelése antiprotonokkal, amelyek energialeadó lokalizálhatósága jobb, mint a protoné. A rakétahajtó antianyag fantazmagória, az antianyag-bomba pedig egyszerűen butaság.

A következőkben megpróbáltunk közelebb kerülni a részecske kutatás hőskorához. Bár magunk még nem építettünk ködkamrát, elméleti ismereteinket és az elmúlt évben készített videófelveteleimet elemezve közelebb kerültünk az érzékelés utáni feldolgozó munkához. *Radnóti Katalin* cikkében [3] megtaláltuk azt a Nobel-díjas fényképet, melyet *Carl Anderson* készített a pozitron pályájáról, amint egy ólomlemezen áthaladva görbületi sugara megváltozik. A képet milliméterpapíron is feldolgozhattuk volna, de rajzolópappal gyorsabban kivettük a görbe pontjait, és táblázatkezelővel kiértékeljük. A szakirodalomban szereplő 1:2 sugárarányhoz igen közeli 1:2,18 arányt kaptunk. Más módon is megtettük ezt a kiértékelést. A GeoGebra nevű programmal az ismert pontokra könnyen illesztettünk köröket. A program analitikusan kiírja a kör egyenletét, ahonnan a sugár leolvasható.

A másik híres felvétel magyarként büszkeséggel tölt el: *Csikai Gyula* és *Szalay Sándor* által készített Wilson-féle expanziós ködkamrás felvétel a neutrínó bizonyítására [4]. Az *Élet és Tudomány* riportjából megtudhattuk, hogy a kísérletet több tízezerszer végezték el, miközben több száz méternyi filmet használtak fel. *Dóczy Rita* ötvenéves évfordulóra írt cikkében [5] megtaláltuk a görbületi sugárhoz tartozó mágneses térerősség adatait, de a méterskálázás hiányában sugáradatot, így impulzust és energiát sem tudunk meghatározni.

Következő előadónk a Wigner Intézet munkatársa, *Fodor Zoltán* volt, aki bemutatkozásában elmondta, hogy már hetedikében eldöntötte: fizikus lesz, és most, a hetvenedikben sincs oka, hogy nagy szerelmét, a fizikát elhagyja. Fizikusi pályájának nagy részét CERN-ben töltötte, az NA61 kísérletben, amelyben jelenleg is egy 150 fős kutatócsoport egyik vezetője.

Előadásának bevezetőjében kitért a CERN-ben folyó kutatási irányokra, különös tekintettel az elmúlt évek legnagyobb mérési sikerére, a Higgs-bozon megtalálására. Ezért természetesen nem a CERN, hanem *Peter Higgs* és *François Englert* kaptak fizikai Nobel-díjat 2013-ban. Megtudtuk, hogy a Nobel-díj bizottság indoklása szerint a két tudós azon mechanizmus elméleti megalapozásáért részesült az elismerésben, amely hozzájárult a szubatomi részecskék tömegeredetének megértéséhez, és amelyet nemrégiben megerősítettek a megjósolt elemi részecske felfedezésével a CERN Nagy hadronütköztetője (LHC) ATLAS- és CMS-kísérleteiben. A Higgs-mechanizmus úgy egészíti ki a standard modellt, hogy megteremtí a tömegeket, azaz nélküle az elemi részecskéknek nincs tömegük. *Peter Higgs* úgy vélte, hogy a kérdéses részecske betölti a rést a természet alapvető működését leíró standard modellben, amely nem más, mint az elektromágneses, a gyenge és az erős kölcsönhatást együttesen leíró kvantumtérelmélet.

De mi is a CERN és azon belül az LHC, mint a részecske kutatás központja? A hallgatók megtudhatták, ez egy gyorsító komplexum, amelynek bizonyos pontjain óriás detektorok mérik a felgyorsított és egymással ütköztetett protonok – vagy nehézionok – reakcióinak következményeit. Ahhoz, hogy a töltött részecskék nyalábjá együtt maradjon egy 27 km kerületű körpályán, mágneses összetartást és eltérítést kell alkalmazni. De mit kell mérni? A keletkező részecskék kilépési irányát, tömegét, töltését, sebességét, energiáját stb.

Hogyan történik a mérés? A detektor nyomkövető. Hogy a pálya több információt tartalmazzon, a töltéssel rendelkező részecskéket mágneses eltérítéssel hozzuk görbevonalú pályára (ez nem a gyorsító mágnes). A pályaeltérítéshez általában szolenoid tekercselrendezést alkalmaznak, a CMS- és ALICE-kísérletekben például csak szolenoidot, az ATLAS-ban toroidot is. A görbület méréséből következtethetünk a töltés és impulzus szorzatára, a fajlagosenergia-vesztéséből a töltésnégyzet és sebesség szorzatára, a repülési időből pedig a sebességre. Így együtt minden lényeges részecske tulajdonságot megkaphatunk.

A CERN két legnagyobb detektora, az ATLAS és a CMS általános ismerveivel folytatta *Fodor Zoltán* az előadást, majd részletesebben megismerkedtünk a különböző detektorfajtákkal és azok működési elvével. Történeti sorrendben a nyomdetektorok: emulziók, köd-, buborék- és szikrakamrák. Érdekes volt, hogy egy mérési esemény kiértékelése napokat vett igénybe. Később alkalmazták a gázalapú detektorokat: az ionizációs, proporcionális, időprojekciós kamrákat, amelyekben az ionizációban keletkezett elektronokat mérik meg. A félvezető alapú detektorok,

vagyis pixel- vagy csíkdetektorok nagy felbontással és nagy érzékenységgel tudják a beérkező részecskét jelezni. A szcintillációs detektorokkal a gerjesztett vagy ionizált atomok legerjesztődésénél keletkező fényt mérjük meg. A kaloriméterekben a beeső részecske energiájával arányos jel jön létre.

Pályázati programunk következő lépésében a leendő sokszálas proporcionális gázdetektorunk 1500 V-os nagyfeszültségű táplálását és a szálakon lévő néhányszor tíz nanoamper áramerősségek mérését gondoltuk át. A gimnáziumi oktatásban a félvezetők, illetve az azokból épített elektronikai eszközök csak elemi szinten jelennek meg. Villamosmérnöki ismeretekkel felvértezve megtárgyaltuk az ide vonatkozó legfontosabb elektronikai eszközöket: a nagyfeszültség előállítására szolgáló kondenzátoros feszültség-sokszorozó kapcsolást, az indukciós elvű kapcsolóüzemű tápegységet, amellyel a nagyfeszültséget szabályozott módon állíthatjuk elő. Kitértünk a nagyfeszültséghez megkívánt érintésvédelemre, a védőellenállásra, amelynek méretezését elvégeztük. Áttekintettük az elemi zajszűrő kapcsolásokat, az úgynevezett RC-áramköröket. Megismerkedtünk a műveleti erősítő fogalmával, annak mérő és illesztő kapcsolásaival és egyszerű méretezésével. Ezek az erősítő kapcsolások teszik lehetővé a jelek digitális feldolgozását és a nanoamperes áramok mérését.

Következő előadónk *Varga Dezső* a részecskefizika standard modelljének alkotóelemei és az azokból felépülő részecskék világába vezetett be bennünket. A standard modell táblázatában szereplő anyagi részecskéknek vannak antianyag-részecske párjai. A nagyenergiás ütközésekben ezek általában párban keletkeznek. Ezen család legkisebb építőkövei a kvarkok, illetve az antikvarkok. Ezek hatan-hatan vannak és bármely kombinációban (egyből vehetünk többet is) állíthatnak elő összetett részecskéket. Az ismertebb proton két u- és egy d-kvarkból áll. A detektorfizika ezen részecskéket keresi, ennek forradalmi pillanatait mutatta be az előadó. Az expanziós (*C. Wilson* 1911-ben fedezte fel, 1927 Nobel-díjat kapott) és a diffúziós (1936) ködkamrák világában már kisebb jártasságunk volt. A következő forradalmi lépés a ködkamrák világából előlépő buborékkamra volt. Ezt a kamrát *D. Glaser* 1952-ben fejlesztette ki, amiért 1960-ban Nobel-díjat kapott.

A buborékkamra elve hasonló a ködkamráéhoz, azonban nem alacsony, hanem magas hőmérsékleten van a detektoranyag, a folyadék, ahol a buborék létrejön. A forrponközeli folyadékba érkező részecske nyomán apró, mikrométer méretű buborékfonal képződik. A folyadéktartály alján egy dugattyú van, amikor a részecske várhatóan bekerül a folyadékba, akkor ez a dugattyú egy rövid időre, jellemzően egytized másodpercre lefelé mozog, ezzel csökkentve a folyadékban lévő nyomást. A csökkent nyomású folyadékban a forrponi hőmérséklet is alacsonyabbra esik, így kialakulhat forrás. A lokális forrás, azaz a buborék kialakulásához segít a részecske jelenléte. A buborékfonal létrejöttét fényképezik le, majd a du-

gattyút visszanyomják, hogy ne alakuljon ki lobogó forrás. Az egész buborékkamrát mágneses térbe helyezzük, így a töltéssel rendelkező részecske körpályán fog mozogni. Ebből erednek a görbe vonalak a fényképen, a hosszú egyenesek igen nagy energiájú töltött részecskék jelenlétére utalnak, a semlegesek nem hagynak nyomot.

A bemutatott képeken láthattuk a semleges Λ -részecske töltöttekre történő bomlását, amely u-, d- és s-kvarkokból áll össze, a K-mezont, amely egy anti-s és d-kvarkból áll. Létezik a három u-kvark összerakásából a Δ -, az u- és két s-kvarkból a Ξ -részecske. A kvarkszerkezet bizonyítékának koronája a három s-kvarkból álló Ω -részecske észlelése volt.

A detektorfizika újabb forradalmi pillanata az 1974-ben felfedezett c-kvark. Felfedezéséhez merőben új érzékelési eljárást dolgoztak ki: a gyorsítóból érkező proton céltárgyba csapódásakor olyan részecske keletkezett, amely elektronra és pozitronra bomlik. Ezeket az elektronokat és pozitronokat akarták érzékelni. A probléma az, hogy sok ilyen eseményt kell gyűjteni. A buborékkamrával legjobb esetben is 100 000 képet tudunk készíteni, és ezeket egyenként kell megnézni és feldolgozni. Ennél gyorsabb feldolgozás kellett. A milliós, tízmilliós nagyságrend elérése érdekében új módszert fejlesztettek ki, amelynek lényege, hogy az átmenő részecskékről kevesebb információt gyűjtünk, de sokkal gyorsabban. Ehhez több, kisebb detektorból álló detektorrendszer kell, amely egymástól távolabb álló több ponton méri a részecske, ebben az esetben elektron, illetve pozitron pályáját. Cserenkov-sugárással mérték az elektron sebességét, energiáját, amelyekből következtettek az előzőekben elbomlott részecskére. A számítások azt mutatták, hogy az elektron-pozitron pár egy kvark és antikvark kötött állapotából keletkezett. Ez az új részecske c és anti-c kötött állapota. A mérésért *Burton Richter* és *Samuel Ting* 1976-ban Nobel-díjat kapott.

Ezzel a méréssel elkezdődött egy új részecskenyomkövetés: sok diszkrét helyen érzékelik a detektálható részecskét. A létrejött elektromos jel elektronika-adta gyors kiolvasása és feldolgozása, majd az adatok tárolása forradalmasította a részecskék kutatását. A gyorsítók egyre nagyobb energiájú gyorsítással egyre nagyobb tömegű részecskék felfedezését tették lehetővé. A CERN Nagy hadronütköztetőjében, az LHC-ben már 6,5 TeV energiájú protonok ütköznek egymással.

Pályázati programunkban elérkeztünk a legáhitottabb pillanathoz: a Genfben lévő CERN laboratórium meglátogatásához. A pályázat beadásának pillanataiban a CERN látogatói oldalán megjelöltünk három alternatív időpontot, amely kétnapos látogatási lehetőséget biztosít. Visszaigazolták kérésünket, azt meg kellett erősítenünk, másodszer az utazáshoz közeledve is.

Tízfős csapatunk 2016. január 10–14. között volt Genfben. *Makovský Mibály* (9. osztály), *Nenezic Patrick*, *Jakus Balázs*, *Dávid Eszter* (11. osztályosok), *Asztalos Bogdán*, *Blum Balázs*, *Forrai Botond* és *Balogh Menyhért* (12. osztályosok).

Fogadóink, „idegenvezetőink” a CMS magyar kutatói, Szillási Zoltán és Béni Noémi voltak.

Előadást hallhattunk a CERN 1954-es alapításáról, a már több mint 20 tagországról, az évi egymilliárd svájci frankos költségvetésről, a standard modellről és annak hiányosságairól, hogy a modell jelenlegi alakjához való eljutást miképpen segítette elő a CERN, és hogyan tervezi megoldani annak hiányosságait. A CERN gyorsítóról, amelyek közül legfontosabb az LHC és annak előgyorsítórendszere – protonra: Linac 2, PS booster, PS, SPS (ahol a PS proton-szinkrotron jelent), nehéz ionra: Linac 3, LEIR, PS, SPS –, emellett gyorsító az ISOLDE és az AD (antiproton-lassító). A CNGS-program (CERN Neutrinos to San Grasso) keretében neutrínókat küldenek egy olaszországi érzékelőhöz. Néhány éve egy nehezen feltárható mérési hiba miatt a neutrínókat gyorsabbnak mérték a fénynél, ez akkor nagy port kavart. Idegenvezetőink beszéltek az LHC detektorairól: ALICE, LHCb, ATLAS és CMS, amely utóbbi kettő nagy intenzitású ütközőpontokon helyezkednek el, ezért közöttük egyfajta verseny van. Egymástól függetlenül működnek, így egymás mérési eredményeit megerősíthetik, illetve cáfolhatják.

Béni Noémi vezetett körbe a kiállítótermen, ahol a gyorsítókat felépítő elemeket életnagyságban láthattuk, de ez még nem maga a gyorsító volt. Beszélt a pár éve fellépő üzemzavar okáról (egy hibás forrasztás, amelyen az áram túl sok hőt fejlesztett és elforralt a hélium hűtőfolyadékot, ezzel szétrobbantva a gyorsító néhány elemét) és a nyolc hónapon át tartó javításról. Az LHC-ben főleg protonokat gyorsítanak, a gyorsítás elektromos mezővel történik, és a protonnyalábot mágnesekkel (4 dipól után 1 kvadrupól) tartják pályán. A szupravezető elektromágnesek 1,9 K-en működnek. A mágnesblokkok egyenként több métereseek és több tíz tonnásak. Noémi beszélt a CERN elhelyezkedéséről a környező Genfhez és a Jura-hegységhez képest, a távolságot egy több méteres madártávlatú térképen is illusztrálta.

A nap során Szillási Zoltán elvitt a „trigger” terembe, ahol a másodpercenkénti körülbelül egymilliárd ütközés adatait feldolgozzák. A kirepülő részecskék közül csak azokat veszik valósnak, amelyeket a detektor négy helyen is érzékelt, és már a detektoron belül kiválogatják az adatok azon töredékét, amely érdekes lehet. A felküldött adatokat tovább válogatják, csak az érdekeseket mentik el. Mágnesszalagon tárolják őket. Egy $10 \times 20 \times 2$ cm-es szalagon 10 TB adat elfér.

A délutáni programban a CERN kisbuszával elvittek minket a CMS-hez, amely 100 méter mélyen van, oda



1. kép. A CMS-től néhány méterre.

lifttel mentünk le. E terem egy része le volt zárva, mert ott folyékony héliummal dolgoznak: hűtik a hatalmas mágneset, amely üzemzavar esetén 10 másodperc alatt elveszti terét. Az ekkor esetlekező óriási mágnesesmező-változást az emberi test nem bírja ki, ezért a hatalmas áramokat kinti mechanikai ellenállásokon vezetik át, így disszipálják a hőt.

A gyorsító alagútjába nem vihettek le bennünket, mert a folyékony hélium kiömlése életveszélyt jelentene, de életnagyságú kép előtt fotózhattuk le magunkat, mintha ott lennénk. Az ütközőtű éppen állt, így kis csapatunknak hihetetlen élmény volt életközélemből látni a CMS-t (1. kép). Egy 10-20 méter oldalélű, 14 ezer tonnás téglateset láttunk. Az Eiffel-torony tömege ennek kevesebb, mint fele. Az ATLAS nyolcszor ekkora, de fele tömegű. Megtudtuk, hogy Zoltán egyik feladata a CMS beázásának megakadályozása, vizsgálata, és hogy centire pontosan meg tudja mondani, ha benn valami valahol csöpög.

A CMS látogatása után visszatértünk a látogatóközpontba, ahol multimédiás vetítést tartottak a falra és valódi, már leszerelt kisebb gyorsítóelemekre vetítve a CERN feladatáról és történetéről, a fejlesztésekről. A filmben magyar munkatársak is megszólaltak.

A CERN épületeit járva a legemlékezetesebb az a terem volt, ahol a World Wide Web, az internet információs rendszere született. Az irodában dolgozó Tim Berners-Lee és Robert Cailliau elgondolásai alapján olyan rendszer kelt életre, amely az elmúlt huszonöt évben forradalmasította a kommunikációt.

Másnap a CERN egyik új, látogatóknak fenntartott laboratóriumában, a S’CoolLabban kaptunk elméleti és gyakorlati felkészítést a legelső detektorokról. Itt valóban meg is építhettük azt a diffúziós ködkamrát, amelyet elméletben már otthon is megismertünk. Ebben a kozmikus sugárzásból származó részecskéket detektáltuk, majd Zoltán felvázolta a táblán, hogy miért pont olyan részecskeutakat láttunk. Találtunk elektront, müont, müon bomlását, valamint a szeren-

csések α -részecskéket is. Ezután bemutatott egy professzionális detektort, amelyben több jelet láttunk, de nem volt meg az az érzésünk, hogy ez a mi munkánk gyümölcse. Ezután – egy pincében porral teleszívott – rongyot raktunk az egyik detektorba, ebben radon és leányelemei α -bomlását figyelhettük meg.

A detektorépítés után ismét a helyi menzán ebédeltünk, majd a szálláson pihentünk és a bevásárlást is elintéztük. Este ismét sétálni mentünk a városba, ezúttal az óváros volt a célpont. Itt az egyetem parkjában sakkoztunk egy kicsit az életnagyságú bábukkal, majd a katedrálshoz is felmentünk. A Kálvin János utcában – református iskola diákjai lévén – fotót készítettünk az utcanévtáblával.

Repülőjegyünk úgy volt a legolcsóbb, ha vasárnap érkezünk és csütörtökön repülünk vissza. Így a hétfői és keddi CERN-látogatás után még maradt egy szerdai napunk, amelyet ugyanazzal a kincsvadászattal töltöttünk el Genfben, mint amelyet az előző nyári tanári továbbképzés alkalmával átélhettem. Megkerestük a reformátorok falát, *Rousseau* házát, felmentünk a városi történelmi múzeumba, a Szent Péter katedrális tornyaiba, ahonnan Genf egyik látványosságát, a január közepén is működő óriás szökőkutat láthattuk. Ezután lementünk a Genfi-tóra, hajókáztunk innen-oda és vissza, keresztül-kasul a városon. Tisztelegtünk Erzsébet királynéknak szobránál, majd egy igazi helyi specialitású fondue-s helyre, a strand zárt, vaskályhakkal fűtött teraszán kialakított étterembe ültünk be.

Itthon folytattuk pályázatunkat a harmadik rész végrehajtásával, a sokszálas proporcionális gázdetektor [6] megépítésével.

Nyolc egymás feletti detektorkamrást képzelünk el. A pályázatunkban ennek megfelelően kértük az

anyag támogatást, így a Wigner Intézetnek nem kellett anyagilag hozzájárulnia. A Wigner Fizikai Kutatóközpont Részecske és Magfizikai Intézet kutatócsoportjának segítségével végeztük el a munkát. A csoport vezetője Varga Dezső. Munkánkat *Oláh Éva*, egy másik tehetséggondozó program vezetője is segítette, aki már több hasonló detektorépítési munka irányítója volt. Oláh Éva régóta foglalkozik középiskolásokkal ebben a laboratóriumban, így a témában több cikke is megjelent [7, 8]. Varga Dezső a leendő detektorunk egy működő példányán magyarázta el a fizikai működést, a gázzal töltött kamrában lévő, a müonok által keltett ionizációban létrejött elektronok nagyfeszültségű, kis átmérőjű szálak körüli, nagy elektromos térerősség miatt kialakuló lavinaeffektusban való sokszorozódását, illetve a szálakon létrejött elektromos jel kivezetését, erősítését, tárolását és – esetünkben – LED-es megjelenítését. Itt is megjelenik a „trigger”, azaz a jelek kivezetése csak akkor történik meg, ha az egymás alatt lévő kamrákban ugyanazon ionizációs folyamatból származó jel jön létre.

A detektor építése a kutatócsoport kisebb laborjában, műhelyében folyt, ezért a nyolc főből két négyes csoportot alkottunk, akik felváltva, kéthetente összesen hat alkalommal dolgoztak, de dolgoztunk a Baár-Madas műhelyében is. A munkaalkalmak időtartama változó, átlagosan 3-4 óra volt. Külön köszönet *Pázmándi Péter* villamosmérnök-hallgatónak, az ő technikai háttérmunkája nélkül semmire sem mentünk volna. A detektorépítés fázisaiban tehetségeink megtanultak ipari fűrógéppel fűrni, kétkomponensű ragasztót homogenizálni, méretezni, pontosan illeszteni a plexirudakat, hogy légmentes kamrát kapjanak. Megtekercselték a 16-16 szál 100 μm -es és a véko-

2. kép. Készülnek a detektorkamrák.



nyabb, 25 μm -es aranyozott volfrámszálat tartalmazó kamrakeretet, a szálakat fogpiszkálóval helyreigazították a forrasztási pont közepére, leforrasztották és snitzerrel levágták a vékony szálakat. Rézzel borított nyomtatott áramköri lapokkal zárták a tekercskeretet, amivel mechanikailag elkészült a kamra. Ezután az elektromos csatlakozások, ellenállások és kondenzátorok felforrasztása következett. A kész kamrát légmentességi és elektromossági szempontból kellett még ellenőrizni. Általában hat-nyolc kamrából áll egy detektor, nekünk hatot sikerült ennyi idő alatt elkészíteni, de két kölcsönkamrával kiegészítettük. A 8 kamra emeleit összekábelezve és a jelfeldolgozó digitális kijelzőrendszerrel ellátva detektorunk elkészült. A jelfeldolgozó és kijelző elektronikát, a nagyfeszültségű tápegységet és a gázadagoló egységet darabokban vettük meg a pályázati keretből (2. kép).

A működést 2016. május 13-án mutattuk be a Baár-Madas Református Gimnázium szülői estjén, ahol az iskola vezetése mellett hivatalosan jelen volt az iskola fenntartója képviselőjében *Szabó István*, Dunamelléki református püspökünk, továbbá egyik tanítványunk édesapjaként, nem hivatalosan *Varga Mihály* miniszter és nagyapai minőségben *Kroó Norbert* akadémikus is.

A pályázati program kétségkívül hatással volt a programban résztvevő tehetségek fejlődésére. A program előtti években tehetségeink már részt vettek a korosztályos fizikaversenyeken igen jó eredményekkel (a Szilárd Leó Tehetségkutató Fizikaverseny, a Mikola Sándor Tehetségkutató Fizikaverseny és az OKTV első tíz helyezettjei között is voltak). Biztos vagyok abban, hogy a programunk évében elért újabb sikereikhez a programban való részvétel is hozzájárult. Kiemelt tehetségeink közül négyen az idén voltak végzősök, e cikk írásának napjaiban döntik el,

hogy melyik egyetem fizikusi karára jelentkeznek (Balogh Menyhértet, aki tavaly az Indiában tartott fizikai diákolimpián ezüstérmét, az idei Zürichben rendezetten aranyérmét szerzet, már februárban felvették a Cambridge-i Trinity College-ba). A nem végzősök közül ketten e cikk írásának napjaiban vannak a keszthelyi Nukleáris Táborban.

A tehetséggondozó programunk létrejöttéért sokaknak kell köszönetet mondanunk. *Sükkösd Csabának* és *Jarosievitz Beátának* akik tíz éven keresztül vitték CERN-be a középiskolás tanárokat, bevezetve minket a részecskefizika rejtelmeibe. A programban résztvevő fizikusoknak, a „CERN-i különítménynek”: Szillási Zoltánnak, Béni Noéminek, a Wigner Intézet főigazgatójának *Lévai Péternek* és a munkatársainak, Fodor Zoltánnak, Varga Dezsőnek, *Horváth Dezsőnek*, Pázmándi Péternek. Köszönet Oláh Évának, aki energikus lendületével segítette leendő fizikusaink manuális fejlődését. Laus Viventi Deo.

Irodalom

1. Horváth Dezső: Antianyag-vizsgálatok a CERN-ben. *Fizikai Szemle* 54/3 (2004) 90.
2. Horváth Dezső: Szimmetriák az elemi részecskék világában. *Fizikai Szemle* 53/4 (2003) 122.
3. Radnóti Katalin: Használjuk-e a centripetális erő fogalmát? *A Fizika Tanítása XVIII/4* (2010) 8–13.
4. Dombi Margit: Ködkamrák és reaktorok – Csikai Gyula elmulasztott Nobel-díjról és Teller álmairól. *Élet és Tudomány* 2014/3 4.
5. Dóczi Rita: A neutrínó visszalökő hatásának észlelése a ${}^6\text{He}$ béta bomlásában – 50 évvel ezelőtt. *Fizikai Szemle* 55/10 (2005) 356.
6. D. Varga, Z. Gál, G. Hamar, J. S. Molnár, É. Oláh, P. Pázmándi: Cosmic Muon Detector Using Proportional Chambers. *Eur. J. Phys.* 36 (2015) 065006.
7. Oláh Éva Mária: Részecskefizika tanítása a kutatólaborban. *Fizikai Szemle* 64/9 (2014) 317.
8. Oláh Éva Mária: Hogyan építsünk müondetektort diákokkal és tanárokkal? *MAFIOK XL. konferencia*, Székesfehérvár, 2016. augusztus 22–24.