



22. ábra. Hallgatók által mért $a-f$ fázisdiagram

zott granulált anyag mennyiségének, valamint a rázási frekvenciának és az amplitúdónak függvényében nagyon változatos formák jelenhetnek meg: állóhullámok, négy- szöges és hatszöges mintázatok, örvénylés, „fortyogás”, dombképződés stb.

A mérési feladat a mintázatok megfigyelése és feltérképezése a maximális gyorsulás-frekvencia ($a-f$) fázis- térben. A mérési berendezés a 20. ábrán látható: a rázó- gép függőleges tengelyű hengeres műanyag edényét egy hangszórómembrán hozza függőleges irányú rezgőmoz- gásba. A rezgés frekvenciája és amplitúdója a hangszóró- membránra kapcsolt szinuszos jel frekvenciájától és nagyságától függ. Az edény gyorsulását egy gyorsulásmé-

rő csip méri (a képen egyelőre csipessel rögzítve az edényhez). A mérési gyakorlat során 0,15 mm átmérőjű üvegyöngy 1 és 3 mm vastag réteget, valamint homokot rezgetnek a hallgatók. A mintázatképződés a 10–30 Hz frekvencia- és 1 g–5 g gyorsulástartományban figyelhető meg. A 21. ábra hat darab fényképén jellegzetes mintá- zatok láthatók, a 22. ábrán pedig egy, a hallgatók által kimért fázisdiagram.

Tapasztalataink szerint a hallgatók szeretik ezeket a méréseket. Sokan szívesen fordítanak a kötelezőnél több időt és energiát a mérés elvégzésére és a jegyzőkönyv elkészítésére is. A szokatlan és izgalmas feladatok gyak- ran a kevésbé érdeklődő hallgatókat is fellelkesítik, és elkezdnek „játszani”.

Irodalom

1. Kísérleti fizika labor I-II. <http://goliat.eik.bme.hu/~vanko/labor/labor.htm>
2. TÉL T., GRUIZ M.: *Kaotikus dinamika* – Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2002.
3. BÉKÉSSY L.I., BUSTYA Á.: *Fizikai kettősinga vizsgálata* – Fizikai Szemle 55 (2005) 185
4. T. SHINBROT, C. GREBONI, J. WISDOM, J.A. YORKE: *Chaos in a double pendulum* – Am. J. Phys. 60 (1992) 491
5. M. RONEN, A. LIPMAN: *A vektorszköp – báromdimenziós mozgások nyomkövetése és elemzése* – Fizikai Szemle 45 (1995) 395
6. ERLICHNÉ BOGDÁN K., DEDE M., DARAI J., DEMÉNY A.: *Hely- és időmérés, adatfeldolgozás V-scope és számítógép alkalmazásával* – Fizikai Szemle 55 (2005) 213
7. FARKAS Zs.: *A vektorszköprendszer alkalmazása a kinematikában* – Fizikai Szemle 54 (2004) 345
8. JÁNOSI I.: *A homok titkai* – Természet Világa 129 (1998) 19
9. JÁNOSI I.: *Zajongó homokdombok és egyéb furcsaságok: új fejlemények a granuláris anyagok fizikájában* – Fizikai Szemle 45 (1995) 78

FIZIKATANÁRNAK LENNI JÓ

– beszámoló a magyar fizikatanárok 2006. évi továbbképzéséről a CERN-ben

Sebestyén Klára, PTE Deák Ferenc Gyakorló Gimnázium, Pécs

Simon Péter, Leőwey Klára Gimnázium, Pécs

Vihartné Balogh Éva, Bánki Donát Ipari Szakközépiskola, Tatabánya

Egészen a 19. század végéig az iskolai fizika tantervekben megjelent a fizika tudomány által elért eredmények legjava. A fizika mint tudomány igen közel volt a fizikához mint tantárgyhoz. Közismert például, hogy *Balmer* (svájci) középiskolai tanárként adott formulát a hidrogén látható spektrumvonalaira. Alig több, mint 100 esztendeje a helyzet megváltozott, a mai tudomány mérföldekkel az oktatás előtt jár, s az idő múlásával ez a távolság csak növekszik. A tanároknak szükségük van a tudósok szakmai támogatására! Talán ezt ismerte fel *Eötvös Loránd*, amikor 1895 nyarán 32 résztvevővel több, mint kéthetes továbbképzést vezetett fizikatanárok számára Budapesten. Ez volt az első ilyen jellegű tanfolyam. (Eötvösnek természetesen még számos tevékenysége támogatta a középiskolai fizikatanárokat.) A 20. században folytatódott az „eötvösi hagyomány”. Számptalan tudós, egyetemi

oktató szerepelt tanári ankétokon előadóként. Tanfolyamokat, tanulmányutakat, oktatási kísérletet, oktatási konferenciákat szerveztek fizikatanárok számára. A 21. századra sem maradtunk egyedül. Erre szép példa a 2006 augusztusában CERN-ben magyar fizikatanároknak rendezett továbbképzés.

2006 januárjában a CERN körlevelet küldött a tagországai- ba, amelyben nemzeti nyelven folyó egyhetes részecske- fizikai továbbképzést hirdetett meg. Elsőként a magyarok reagáltak a kezdeményezésre, s ennek köszönhetően először a magyar nyelvű programot (HTP 2006) rendezték meg 2006. augusztus 20. és 26. között. A tanulmányút megszervezése *Sükösd Csaba* és *Jarosievitcz Beáta* érdeme.

2006. augusztus 19-én a déli órákban autóbusszal (WEB-001 rendszámmal!) indultunk Budapestről. A fárasztó buszozást megszakító első hosszabb megállást



Chillon vára

Salzburgban tartottuk, itt két órát töltöttünk esti városnézéssel. Láttuk *Christian Doppler* és *Mozart* szülőházát, a várat, és a város pezsgő éjszakai életét is.

Másnap már Svájcban ért bennünket a reggel. Az útvonalunk adta lehetőséggel élve délelőtt megnéztük (Montreux mellett) Chillon várát, amelyet egy hegyoldalból alakítottak ki a Genfi tó partján.

Közel egynapos autóbuszút után érkezünk a CERN meyrini campusába. Az intézet részéről *Mick Storr* köszöntött minket, és máris egy előadáson találtuk magunkat. *Vesztergombi György* mesélt a parkban kiállított buborékkamrákról, majd röviden bemutatta nekünk a CERN-t.

A CERN betűszó egy az intézet létrehozásával megbízott, 1952–54-ben fennállt átmeneti szervezet francia nevének (*Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*) kezdőbetűit őrzi. Az intézet hivatalos (angol) neve *European Organization for Nuclear Research*, de a benne folyó tevékenység fő irányára utalva, gyakran használják a nem hivatalos *European laboratory for particle physics* elnevezést is, ennek a magyar megfelelőjét érdemes megjegyezni: *Európai Részecskefizikai Laboratórium*.

A CERN létrehozása európai válasz volt a Manhattan-programra. Míg azonban az amerikai program célja a háború megnyerése volt, a CERN-é a béke megnyerése lett. 1954-ben 12 ország kormánya alapította, jelenleg már 20 ország, köztük hazánk is (1992 óta teljes jogú), tagja. A Genf mellett felépült kutatóközpont évtizedek óta a részecskefizikai kutatások fellegvára. (A részecskefizika az anyag legparányibb építőköveit vizsgálja módszeres alapossággal.) Érdekes élmény volt, hogy itt minden „utca” fizikusokról van elnevezve. Naponta áthaladtunk az Einstein, Rutherford ... utcákon. A CERN mintául szolgálhat a társadalom egészének: minden kutatási eredmény nyilvános, mindent lehet fényképezni, mindenhol be lehet menni, ha az ott folyó munkát nem zavarja és nem káros az egészségre. Legújabb gyorsítójának, a „nagy hadron ütköztetőnek” (LHC) befejezéshez közeledő építését, annak minden fázisát a weben kamerával on-line és grafikonokon követhetik az érdeklődők.

CERN-i programunk egyik részét előadások jelentették, természetesen a modern részecskefizikáról.

Három alkalommal Vesztergombi Györgyöt hallgattuk, előadásainak címe *Gyorsítók és detektorok* volt. Egy modern nagyenergiájú részecskegyorsító működésének alap-

elve nagyon hasonlít a TV képernyője, illetve a számítógép (képcsöves) monitorja működéséhez, hiszen ez utóbbiak gyakorlatilag szintén részecskegyorsítók. A televízió képcsöve is tartalmazza az egységeket, amit egy „igazi” részecskegyorsító: részecskeforrás, nyalábvezérlő és fókuszáló mágneses tér, céltárgy. Minden gyorsító az ion- vagy elektronforrással kezdődik, hiszen csak töltött részecskéket lehet gyorsítani, legkézenfekvőbb módon (sztatikus) elektromos térrel. A klasszikus katódsugárcsőben például körülbelül 20 kV-os elektromos tér gyorsít. (Sztatikus mágneses tér segítségével viszont nem lehet gyorsítani, a mágneses Lorentz-erő ugyanis merőleges a sebességre.) A gyorsítás során nyert energia a tömegtől nem függ, csak a gyorsított töltés és a gyorsító feszültség nagyságától. Ezért is tűnik természetes mértékegységnek az elektronvolt (eV). A modern részecskegyorsítóban a gyorsítást időben igen gyorsan változó, nagyfrekvenciás elektromos térrel hozzák létre. Így akár több száz MeV energiájú részecskék is előállíthatók.

Az egyik délután laborlátogatáson vettünk részt. Ott sikerült megörökíteni egy lineáris gyorsítót.

A nagyenergiájú gyorsítók egyik legmodernebb típusa a szinkrotron, amelyben rendkívüli precizitással szinkronizált mágneses tér (részecskéket körpályára kényszeríti) és elektromos tér (a részecskéket gyorsítja) kombinációjával hoznak létre nagyenergiájú részecskéket. Technikailag úgy képzelhető el, hogy adva van egy gyűrű, amelynek a kerülete mentén mágneses dipólokat helyezünk el. A dipólok tere merőleges a gyűrű síkjára és a térerősség 0 és B_{max} között szabályozható. A gyűrű nem egészen tökéletes kör, néhány helyen lineáris szakaszokat iktatnak be, ezekben lineáris gyorsítót helyeznek el. Minél nagyobb energiára (sebességre) tesz szert a részecske a lineáris szakaszokon, annál nagyobb mágneses térre van szükség ahhoz, hogy pályája a gyűrűben maradjon. Az épülő LHC sugara 3 km, az elérhető legnagyobb mágneses indukció 8,5 tesla. Így ebben a gyűrűben akár 7–8 TeV energiájú részecskék is előállíthatók lesznek majd.

A részecskéket az anyaggal való kölcsönhatásuk alapján tudjuk érzékelni, detektálni. Az 1960-as évekig optikai úton történt a részecskék észlelése fluoreszkáló ernyő, ködkamra, buborékkamra, emulziók segítségével. 1962-től vált lehetővé a gáztöltésű detektorok (GM-cső)

Lineáris gyorsító



és a félvezető detektorok jeleinek elektronikus feldolgozása, rögzítése. Mintegy tíz esztendeje kezdtek elterjedni a szilícium kamrák (pixel detektorok).

Az elemi részek rejtelmeibe, az atomtól a kvarkig, *Horváth Dezső* vezetett be minket. Összefoglalást kaptunk a részecskefizikában meglévő szimmetriák és megmaradási tételek között. A mai részecskefizika nagybetűs „Elmélete”, a Standard Modell az 1970-es évek óta ismert. Pontos matematikai formalizmuson alapul, melyben szereplő minden fizikai fogalom elvben pontosan mérhető mennyiség. A részecskefizika legkeresettebb szereplője a Higgs-bozon, a Standard Modell hiányzó láncszeme. Az „Elmélet” szerint léteznie kell, de kísérletileg még nem sikerült megfigyelni. Az LHC-n jövőre kezdődő kísérletek során talán észlelhető lesz a Higgs-bozon, s ezzel a Standard Modell bizonyítottá válhat.

A részecskefizikai mérések során hihetetlen mennyiségű műszert, berendezést kell összehangoltan működtetni, ezért komoly technikai fejlesztéseket eredményez.

Trócsányi Zoltán a kozmológia alapjaival ismertett meg bennünket. *Einstein* általános relativitáselmélete mérföldkő a tudomány történetében. Ebből az elméletből kiindulva *Friedman* orosz fizikus talált először nem stationárius megoldást a Világegyetemre. A modern kozmológia *Hubble* megfigyelésével kezdődött, mely szerint a galaxishalmazok távolodnak egymástól. A távolodási sebesség egyenesen arányos az egymástól mért távolságukkal. Ez a megfigyelés az egyik bizonyítéka az Ősrobbanás (Big Bang) elméletnek. Egy átlagos galaxis úgy mozog, mint a feldobott kő. Ha elegendő az energiája, a végtelenbe távozik. Ha nem, akkor emelkedik, megáll, visszaesik. Ha lenne statikus megoldása a gravitációs egyenleteknek, a statikus Világegyetem olyan lenne, mint a lebegő kő.

Több kozmológiai kérdésre is a részecskefizika adhat választ. Miért kritikus a Világegyetem sűrűsége? Honnan származik az anyag? Ha kezdetben anyag és antianyag ugyanannyi volt, akkor valami miatt ez a szimmetria megsérült. A Világegyetem tágulásával az anyag és antianyag elektromágneses sugárzássá alakult át, és visszamaradt egy kevés anyag (kb. egymilliárd fotonra jut egy proton). Mi a kezdeti aszimmetria oka? Mi a Világegyetem finomszerkezetének forrása? Mi a sötét anyag?

Debreczeni Gergely a számítástechnika CERN-beli alkalmazásának történetét foglalta össze nagyszerűen. 20. század közepén *Wim Klein* képes volt egy 133 szám-

Kellékek a ködkamra építéséhez



gyéből álló szám 19-ik gyökét fejben meghatározni. Egyszerű matematikai műveletekben jóval gyorsabb volt kora számítógépeinél. 1958-ban jelent meg az első valódi „nagyszámítógép” a CERN-ben, a Mercury. Ennek még mágnesszalagos memóriája volt. Az 1960-as évek végén tűnt fel a mai internet őse, összekapcsolt számítógépek rendszere. (A név az „interconnected networks” kifejezésre utal.) A kapcsolat lényege nem a kábel- vagy rádiókapcsolat, hanem a közös nyelv (protokoll). A tudományos kutatásban rendkívül fontos az információ és az ötletek szabad áramlása, elérhetősége, főleg egy annyira komplex tudományterületen, mint a részecskefizika. Talán ezért nem véletlen, hogy az 1990-es évek elején *Tim Berners-Lee* ötletként a CERN-ben fejlesztették ki a World Wide Webet (WWW), ami csak egy az internet szolgáltatásai közül. Segítségével információt oszthatunk meg, tehetünk nyilvánossá. A becslések szerint ma több mint 1 milliárd ember használja a webet. Bár véletlen volt a buszválasztás, de a rendszáma (WEB-001) kötődött a CERN-hez. A tudományos, műszaki, diplomáciai és hétköznapi élet ma már elképzelhetetlen a web nélkül.

A grid egy másik, a webhez hasonlóan az internetre épülő szolgáltatás. Viszont a gridhez kapcsolt számítógépek és eszközök nemcsak információt osztanak meg egymás között, hanem tárterületet is! Számos grid létezik a világban különböző feladatoknak szentelve: vállalati, önkéntes tudományos, nemzeti gridek. Hogy miért van a gridre szükség a CERN-ben? Az LHC kísérletek 10–15 millió gigabyte (kb. 20 millió CD) adatot termelnek majd évente. Ennek feldolgozása napjaink leggyorsabb asztali processzoraiból mintegy 100 000 darabot igényelne. Ezt nem lehet egy helyre bezsúfolni, így számos együttműködő, összekapcsolt számítóközpontra van szükség.

Soós Csaba a majdani gyorsítónál, az LHC-nél tervezett kísérletek szolgáló egyik óriásdetektor, az ALICE számára végzett elektronikai fejlesztésekről tartott számunkra előadást. Nagyenergiájú részecskék ütköztetésekor sok-sok újabb részecske keletkezhet. A detektorokra ekkor van szükség, hiszen velük lehet a keletkező részecskék által hagyott „nyomok” helyét, idejét, amplitúdóját (energiáját) rögzíteni. Ez után a begyűjtött rengeteg adat feldolgozása történik. Megdöbbentő a pozícionálás fontossága, hiszen ha például 27 km-es távolságon mikrométeres, vagy még nagyobb pontossággal kell célba találni, akkor még az ár-árpályához hasonló kéregmozgás, vagy a Föld görbülete is hibát jelenthet.

Fodor Zoltán mellett, hogy a nehézion-fizika alapjaival ismertett meg minket, a laboratóriumában (NA49) betekintést nyújtott abba, hogyan dolgoznak a kísérleti fizikusok. Ez a helyszín Franciaország területén helyezkedik el. Érdekes volt kezünkbe venni a 70-es években használt mágnesszalagos kazettát (a ma használatos videokazettánál kb. háromszor nagyobb).

Egyik délután előkészített eszközökből magunk építettünk ködkamrát, mellyel kozmikus sugarak útját figyeltük meg.

Egy alkalommal vendéglátónk, Mick Storr meglepetést készített. Rengeteg szó esett arról, hogy mennyi Nobel-díjas fizikus jár-kelet a CERN-ben – ezért megszervezték



A Nobel-díjas Jack Steinberger Horváth Dezsővel

nekünk egy találkozót *Jack Steinberger*rel (Nobel-díj 1988). Leírhatatlan élmény volt, ahogy szerényen, egyszerű öltözékben ez a nagy fizikus ott megjelent, és beszélt a fizika jövőjéről, az oktatásról, kiemelve a kvantummechanika fontosságát.

Találkoztunk a CERN főigazgatójával *Robert Aymar*ral is, aki sokat segített a kinti programjaink megvalósításában. Kedvesen válaszolt az általunk feltett kérdésekre, mi pedig megköszöntük, hogy elsőként hallgathattunk részecskefizika témájú előadásokat anyanyelvünkön a CERN-ben.

Ezek a találkozások számunkra azért is voltak meghatározók, mert ahhoz vagyunk szokva, hogy a hazai „felsőbb-ség” képviselői többnyire arra sem méltatják a tanárokat, hogy meghallgassák őket. A Tanári Anketók fórumaira küldött, általában nem túl magas rangú beosztottak az ismert szölamokat elmondva gyorsan elsietnek, sürgős dolgukra hivatkozva. A CERN főigazgatójának volt ideje egy kis kelet-európai ország fizikatanáira, meghallgatni kérdéseiket, türelmesen válaszolni nekik.

A sok tartalmas, érdekes szakmai elfoglaltság mellett jutott idő kulturális programra is. Genf városával játékos módon ismerkedtünk meg. A „kincsvadászatra” négy csapatot hoztunk létre, s az útmutató segítségével bejártuk az egész belvárost. Láttuk *Rousseau* és *Sissy* szobrát, megcsodáltuk a sok nemzetközi szervezet székházát, parkokat, napórákat a házak falain. A Reformátorok Falán (Kálvin és három társa) örömmel fedeztük fel *Bocskai István* szobrát. Utunk során végig a híres szökőkút látványa kísért bennünket.

Az egyik nap délutánján Bernbe utaztunk, hogy megnézzük a multimédiás Einstein-kiállítást. Aki ügyes volt, egy rövid kört is tehetett a belvárosban, s akár Einstein lakóházát is láthatta.

Hazafelé – kis kitéréssel – a *Mont Blanc* felé indultunk, és *Chamonix*-ból kötélpályán egy 3842 m magasban levő kilátóra jutottunk.

Ha sok fizikatanár együtt van, nemcsak szívesen beszélget a fizikáról, tanításról, hanem ha lehetőség van, szívesen végez kísérletet, illetve mér. Útközben több helyen is regisztráltuk a radioaktív háttérsugárzást, végeztünk földrajzi helymeghatározást egyszerű eszközökkel,



Szivárvány a genfi szökőkútnál

mértük a víz forráspontját különböző tengerszint feletti magasságokon, és elvégeztük *Torricelli* kísérletét még a *Mont Blanc* tetején is. Ezekről a mérésekről egy következő cikkben részletesebben is szó lesz.

Az egyhetes tanulmányút célja az volt, hogy a részecskefizika és a kozmológia alapjaival megismertesse a középiskolai tanárokat. A fizikának ezek a fejezetei, amelyeket az idősebb tanárkollégák képzésük idején az egyetemen éppen csak érintettek, a 20. század második felében igen nagy fejlődésen mentek át, és egészen biztos, hogy a 21. században is a kutatások frontvonalában lesznek. A CERN-ben eltöltött egy hét nemcsak azért volt hasznos, mert olyan tudás birtokába kerültünk, amit magabiztosabban tudunk átadni tanítványainknak, hanem azért is, mert motivációt, kedvet kaptunk további otthoni tanuláshoz. Nekünk fizikatanároknak igazán nagy élmény volt az iskola hétköznapi, megszokott életéből egy hétre kilépni, bepillantást nyerni, hogyan dolgoznak az „igazi” fizikusok. Biztos, hogy a fizika iránti lelkesedésünket, jókedvünket magunkkal visszük a tantermekbe, tanítványaink örömeire. Köszönjük ezt a fantasztikus egy hetet a szervezőknek (*Mick Storr*, *Sükösd Csaba*, *Jarosievitz Beáta*), valamint az előadóknek (*Debreczeni Gergely*, *Horváth Dezső*, *Fodor Zoltán*, *Soós Csaba*, *Trócsányi Zoltán*, *Vesztergombi György*).

Torricelli-kísérlet Európa tetején

