

megemlékezők. A régi reflexek működtek, vagy a filozófus maga tolakodott oda? Ma már mindegy.

Most, 2005-ben, a relativitáselmélet 100. születésnapján szolgáltassunk elégtételt Vermes Miklósnak! Annak a relativitáselmélettel egy évben született magyar fizikatanárnak, aki érdeklődő felnőtteknek és okos diákoknak is megpróbálta elmagyarázni Einstein gondolatait, de akit elfelejtettek meghívni az 1979-es Einstein-centenáriumra. Annak a Kossuth-díjas tanárnak, aki élete végéig tanította a fizikát az iskolában, és tanácsaival mindig segítette tanártársait. Annak az embernek, akinek már 15 éve csak emléke, szelleme él közöttünk.

Idézzük fel relativitáselméletről szóló könyvének egyetlen szakaszát, amelyből kihallhatjuk (ha fülelünk! – mondta *Esterházy Péter*) a nehéz elmélettel birkózó, esendő, de reménykedő ember nekünk szóló, bátorító üzenetét:

A matematikai apparátus nehezzé válása az elméleti fizika minden területén mutatkozik. Annyira, hogy az ember gyenge perceiben arra gondol, vajon valóban a matematika-e az a nyelv, amin a természet beszél. De ha nem a matematika, akkor milyen nyelv volna az? Így hát törni kell a nehez nyelvet.

Köszönjük Muki bácsi, megpróbáljuk.

VÉLEMÉNYEK

ALAPKUTATÁS, ALKALMAZÁS, INNOVÁCIÓ TUDOMÁNYEGYETEMEN ... MEDDIG?

Raics Péter

DE Kísérleti Fizikai Tanszék, Debrecen

Sokan és sokat beszélnek a cím első részében említett feladatokról. Jól hangzó szavak. Mi van mögöttük? Milyen értelmet nyernek a jövőben?

Egy kis történelem

Szalay Sándor professzor az atommagfizikai kutatást és oktatást az országban elsőként teremtette meg az 1930-as évek végén Debrecenben az akkori gróf Tisza István Tudományegyetem Orvostudományi Fizikai Intézetében. A jogutód a Kossuth Lajos Tudományegyetem Kísérleti Fizikai Intézete volt a színhelye a híres neutrínókimutatási kísérletek kezdeteinek. 1954-ben alakult meg a MTA Atommagkutató Intézete. A KLTE Kísérleti Fizikai Tanszékének vezetését 1967-ben *Csikai Gyula* vette át, aki neutronfizikai kutatásokkal erősítette a tudományos életet az egyetemen. Ehhez társult 1992-től kezdődően a részecskefizika *Baksay László* hathatós közreműködése révén. *Pálinkás József* 1995-től a nagyenergiájú atomfizikai kutatásokkal bővítette a Tanszék tudományos profilját.

A fizika oktatása a kezdetektől nagy figyelmet és hangsúlyt kapott. A cél az elméleti alapok elsajátítása mellett a kísérletezés megtanítása volt. Egymásra épülő rétegei:

Csikai Gyulának ajánlva 75-ik születésnapjára.

A Fizikai Szemle szerkesztő bizottsága 1972-ben hirdette meg Vélemények rovatát. A szerkesztő bizottság állásfoglalása alapján „a Fizikai Szemle feladatául vállalja, hogy teret nyit a fizika kutatására és oktatására vonatkozó véleményeknek, ha azok értékes gondolatokat tartalmaznak és építő szándékúak, függetlenül attól, hogy egyeznek-e a lap szerkesztőinek nézetével, vagy sem”. Ennek szellemében várjuk továbbra is olvasóink, a magyar fizikusok, fizikatanárok leveleit.

órai bemutatás, demonstrációs laboratórium az alaptörvények feltárására, laboratóriumi mérőgyakorlatok, tudományos diákkör, szakdolgozat és diplomamunka, posztgraduális képzés. Oktatás és kutatás, elmélet és gyakorlat egysége jellemezte a Szalay Sándor által megteremtett „debreceni kísérleti fizikai iskolát”. A tanítványok felkészítését a tudományos munkára, az egyetemi és közoktatásban való részvételre mindenki saját feladatának érezte.

Megfelelő műhelyháttér, valamint képzett technikusok és szakmunkások nélkül elképzelhetetlen a fenti célok megvalósítása. A „kisegítőknak” (irodai dolgozóknak, portásoknak, eljáróknak, takarítóknak) is megvan a maguk helye, feladata a csapatban.

Sok sikeres alapkutatói feladat és ráépülő alkalmazás jellemezte az általam közvetlenül átélt, közel négy évtizedet. A neutronindukált magreakciók kutatása itthon és külföldi intézetekkel közösen igen eredményes volt. Szinte kínálta az alkalmazásokat, elsősorban analitikai jellegű feladatok megoldása és sugárzási hatások vizsgálata terén. Ezek interdiszciplináris és ipari feladatok megoldását tették lehetővé. Szabadalmak születtek a cikkek és a külső kutatásról beszámoló jelentések mellett. Az időközben a részecskefizika miatt a CERN-ben és Brookhavenben kialakuló kapcsolataink közvetlen és aktív részeseivé tettek minket a legmagasabb szintű technológiának.

Izgalmas kölcsönhatásnak voltunk tanúi egy részterületen. A 80-as, 90-es években megkezdődött, kiteljesedett a modern optika és a tanszéki nukleáris elektronikai hagyományokon alapuló optoelektronika tanítása. Mindez a kutatásban rövidesen felhasználásra került (részecskefizika, szilárdtestfizika), majd magasabb szinten visszajuttott a képzésbe (egyetemi és szakoktatás).

A következőkben az egyik legsikeresebb alkalmazott kutatási témában elért eredmények tükrében mutatom be egy tudományegyetemi tanszék lehetőségeit, a nem könnyű szerkezeti átalakulást, a csapatmunka fontosságát, az egyetemen rendelkezésre álló szellemi és infrastrukturális háttér mással nem pótolható értékeit. És a kétségeket a jövőt illetően ...

Alap- és alkalmazott atommagfizika

A neutronfizikai kutatások egyik legsikeresebb ágát, a maghasadás vizsgálatát az áldott emlékű *Daróczy Sándor* (1935–1996) új alapokon elindulva kezdeményezte 1968-ban. Csoportjával a hasadványok tömegeloszlását tanulmányozta gamma-spektrometriai módszerrel. A világszerte újdonságnak számító kísérletek több irányban ágaztak el később nemzetközi kooperációkban: a tórium-, urán- és transzurán-izotópokon végbemenő neutronreakciók, valamint ezen nuklidok bomlásának vizsgálata. Mindez a legkorszerűbb, nagy felbontású gamma-spektrometria alkalmazását, állandó fejlesztését követelte meg a megfelelő számítástechnikai háttérrel. Diplomamunkások, doktoranduszok egyenrangú félként dolgoztak a csoportban. Egy részük ma a Paksi Atomerőmű vezető beosztású munkatársa, vagy éppen még csak készül a jövő nagy feladataira.

A 70-es évek elején kifejlesztésre kerültek aktív és passzív, roncsolásmentes analitikai módszerek reaktorok urántartalmú fűtőelemeinek vizsgálatára: dúsítási arány meghatározása, a kiégésmérés. Így 1985-ben nem érte felkészületlenül a Tanszék a Paksi Atomerőmű azon kérése, hogy a reaktor primerkörü csöveiben, ioncserélő oszlopain felhalmozódó radioaktív nuklidok izotópszpektív analízisét kell megvalósítani egy külső, független intézmény segítségével. A nyugat-európai példákat követő vizsgálatok később kiterjedtek a gőzfejlesztőkre is. Csikai Gyula tanszékvezető a kezdeteknél felismerte ezeknek a külső kutatásoknak, méréseknek itthoni és nemzetközi jelentőségét.

In situ gamma-spektrometria

A módszer azon alapszik, hogy a reaktorok primerkörében a korrózió, erózió miatt keletkezett anyagok a hatalmas fluxusú neutronterben mesterséges radioaktív atommagokká alakulnak át, amelyek nagy része gamma-sugárzást bocsát ki lebomlása során (pl. Co-58, Co-60, Mn-54, Cr-51, Fe-59, Nb-95, Zr-95, Ag-110m). A hasadási termékek megjelenése a fűtőelemköteg tömítetlenségére utal (pl. a jód-, Cs-, Sb-, Ru-, Ce-, Pm-, Eu-izotópok). A leállás után megfelelő időben elvégzett mérési sorozattal hűsznál is több radioaktív atommag jelenléte mutatható ki nagy pontossággal a primerkörü berendezések belső falán vagy éppen a hőhordozóban, moderátorban. A gamma-fotonok nagy áthatolóképeségük folytán a berendezések vastag acélfalán, vízrétegein átjönnek, és érzékeny, hordozható detektorokkal kívülről felfoghatók.

A roncsolásmentes vizsgálatokhoz használt eszközök (és üzemeltetőik) szélsőséges sugárzási, hőmérsékleti

körülményeknek, valamint elektronikus és mechanikai zajnak vannak kitéve. Az elektronika és kiértékelés szupertechnológiájú eszközök használatát igényli: HPGe-detektorok, analóg elektronika 100 m kábelben történő jeltovábbításra, digitális jelfeldolgozó processzorok, vezérlés és sokezer-csatornás spektrumok feldolgozása számítógéppel. Nagyon nagy detektorterhelés (esetenként > 100 000 imp/s) vagy éppen rendkívül alacsony aktivitás jellemzi a sugárzási teret.

Küzdelem az atomerőművek biztonságáért

A helyszínen elvégzett gamma-spektrometria segítségével megállapíthatók az atomerőműben alkalmazott vízkémia paraméterei; következtetni lehet az erőmű éves működése alatti változásokra és a fűtőelemcsövek sérüléseire; kiderül a víztisztító rendszer hatásossága, előre megbecsülhető a benne használt abszorbens műgyanta élettartama; észlelhetők az „idegen anyagok” (pl. elvesztett, bennfelejtett szerszámok); kimutathatók a betáplált pót-víz elégtelen szűrés miatti magasabb oxigéntartalmának hatásai; nyomon követhető a működés során bekövetkezett tranziens folyamatok (nem tervezett teljesítményváltozások, rövid leállások); lehetőség nyílik a radioaktív szennyezések felszaporodásának közép és hosszú távú előrejelzésére, a reaktor általános állapotának és „viselkedésének” jellemzésére, tervezhető a szerelést végzőket érő sugárdózis. Mindezek segítik a döntéshozókat abban, hogy megfelelő irányt szabjanak a biztonság további fokozását jelentő lépéseknek, az atomerőmű teljesítménynövelését és élettartam-hosszabbítását célzó műszaki teendőknél. A bécsi székhelyű Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (IAEA) a módszer alkalmazását a biztonság-növelés szempontjából „jó gyakorlat”-ként értékelte.

A Paksi Atomerőmű I. blokkjának 2. leállásától kezdve mind a négy reaktor minden évben részletes vizsgálatra kerül annak megállapítására, hogy a korrózió, az erózió és a fűtőelemek zártágának hibái milyen radioaktív szennyezést okoznak a primerkörben. Az elmúlt húsz év során mintegy 80 alkalommal végzett a Tanszék ilyen vizsgálatokat Pakson. Ez a világon egyedülálló mérésorozatot egyértelműen bizonyítja a VVER-440/213 típusú reaktorok biztonságát, a paksi műszaki csapat világszínvonalú tevékenységét.

A Quantec céggel külföldön

A bécsi Quantec Technologies GmbH szervezésében a Tanszék munkatársai a 90-es években három alkalommal Németországban végeztek a paksihoz hasonló vizsgálatokat a Biblis-A atomerőműben. Itt volt először igény a gőzfejlesztők mérésére, amely azóta itthon is bevezetésre került. A külföldi kitekintés több szempontból nagyon hasznosnak bizonyult. Egyrészt közvetlen tapasztalatok szerzésére nyílt lehetőség a „nyugati típusú” erőművi reaktorokkal kapcsolatban. Másrészt össze lehetett hasonlítani a „keleti”-ekkel mind műszaki–technikai, mind emberi–felkészültségbeli, biztonságfilozófiai szempontból. Nos, ez az összevetés egyáltalán nem a „keleti” rovására dőlt el ...

A Quantec és a Tanszék munkatársai több külföldi atomerőműben tettek látogatást, tartottak előadásokat és konzultációkat, végeztek szakértői munkát (Bulgária, Csehország, Szlovákia, Németország, Franciaország, Svájc, Románia, India). Ezek során tanácsot adtak a reaktorblokkok karbantartásával, továbbfejlesztésével, későbbi leszerelésével kapcsolatban végezhető mérésekre és a szükséges műszaki felszerelés beszerzésére, üzemeltetésére, az adatfeldolgozás módszereire. Nemzetközi tudományos fórumokon számoltak be az elért eredményekről (Anglia, Csehország, Szlovákia, Magyarország, Kanada, Ausztria).

A Debrecen–Paks–Bécs háromszög

A Paksi Atomerőműben az évek során hatalmas adatmennyiség halmozódott fel a primerkör radioaktivitásával kapcsolatban mind az in situ, mind pedig az ottani radiokémiai laboratórium mérései révén. Ezek feldolgozását a Tanszék és a Quantec Technologies együttesen végezte el. A munka során a különböző reaktor-állapotjelzők és a primerköri radioaktivitás között korrelációkat sikerült kimutatni, amelyekkel a biztonságos működés feltételeinek javítását lehet elérni.

A fűtőelemek vegyi tisztítása közben 2003 tavaszán súlyos üzemzavar lépett fel Pakson a II. blokk melletti 1. aknában elhelyezett dekontamináló tartályban a külföldi vállalkozó súlyos mulasztásaiból eredően. A reaktor primerköri rendszere részlegesen elszennyeződött. Az újraindításhoz a radioaktivitás szintjének alapos feltérképezése vált szükségessé. A Quantec Technologies és a Tanszék teljesen újszerű módszereket alkalmazva sikeresen vett részt a nemzetgazdasági szempontból is rendkívül fontos munkában. A már jól bevált in situ gamma-spektrometriát különleges körülmények között a fűtőelemek felületi tisztaságának ellenőrzésére sikerült alkalmazni. Ugyanilyen célra először történtek in situ alfa-spektrometriai mérések atomerőműben. Kölcsönzött, különlegesen nagy hatásfokú, úgynevezett kesztyű- (clover) detektorral vált lehetővé a gőzfejlesztők hőcserélő csöveinek belső falán megtapadt hasadási termékek biztonságos kimutatása.

A külföldi partner segítségével megoldható volt a nem tervezett, hirtelen felmerült feladatokra való azonnali és sikeres reakció a rugalmas ügyintézés, a gyors beszerzés és fejlesztés révén. A kísérleti technika elve az alap kutatásból minden feladathoz rendelkezésre állt már a tapasztalatokkal együtt. „Csak” a különleges helyzetre való alkalmazás maradt.

Egyetem és kisvállalkozás közös laboratóriuma – állami és saját tőkével

Itthon és külföldön nyert tapasztalatok azt mutatják, szükség van olyan gyors reagálású műszaki-technikai csapatra, amelyik a radioaktív szennyezettség legkülönbözőbb formáit szélsőséges körülmények között képes nagy megbízhatósággal kimutatni, a szükséges lépésekhez segítséget nyújtani, az elvégzett mentesítés hatásfokát meghatározni. A már kiválóan üzemelő környezet- és sugárvédelmi laboratóriumokhoz hasonló műhelyre van

szükség, amely viszont egységes felszereltséggel sokoldalú szolgáltatást tud nyújtani itthon és külföldön egyaránt. Saját tapasztalatait mind a mérés technikában, mind a műszerezettségben meg tudja osztani a hasonló szervezetekkel. Széles körű, állandó kutatás–fejlesztési tevékenységet végez. A legmodernebb eszközöket, eljárásokat tudja beszerezni a szolgáltatásaiból származó bevételei révén. Képes arra, hogy a megfelelő szakembereket kinevelje a képzés–továbbképzés széles skáláján: PhD, egyetem, közoktatás, technikus- és szakmunkásképzés. Ezt a célt ösztöndíjakkal is segít megvalósítani.

A Debreceni Egyetem Kísérleti Fizikai Tanszéke és a bécsi cég által Magyarországon alapított Quantec Technologies Fejlesztő és Kivitelező Kft. szerződésben vállalta az oktatás–kutatás–fejlesztés–szolgáltatás egységének megvalósítását. Ehhez az egyetem épületéből a vállalat által bérelt helyiségben laboratóriumot hoztak létre, melynek induló eszközkészletét a Tanszék által korábban OMFB-, OM-, PHARE-, IAEA-pályázatokon nyert támogatásból beszerzett és a bécsi cég által vásárolt berendezések alkotják.

A Quantec Technologies az NKTH-tól pályázat útján nyert 50 millió forinthez saját részként ugyanennyit hozzájárva korszerű eszközökkel továbbfejleszti a közös Nukleáris Biztonsági és Technikai Laboratóriumot, piackutatást végez, „üzletet szerez”, adó- és járulékköteles bevételhez jut itthon és külföldön, pályázatokon vesz részt. Az Egyetem hatalmas szellemi tőkéjét, az évtizedek során felgyűlt kutatási–fejlesztési tapasztalatait, oktatási potenciálját, a Tanszék mechanikai, elektromos és elektronikus műhelyeit, nukleáris technikáját viszi a „házasságba”.

Az első eredmény a Paksi Atomerőmű felkérésére végzett, víz alatti aktivitásmérés a II. blokk 1. aknájának falán. Ehhez két „tenger alattjáró” kifejlesztésére és sikeres alkalmazására került sor. A bennük elhelyezett gamma-detektorok 7 méter mélységig feltérképezték a felület radioaktivitását. A száraz részekben alfa-spektrometriával kiegészített analízis először került alkalmazásra atomerőművekben. A rendkívül szigorú biztonsági szabályoknak eleget tevő, eddig mások által nem alkalmazott, piacképes eszközök a tanszéki műhelyek technikaival szoros együttműködésben készülhettek csak el.

Modern forma, korszerű tartalom – megszűnő egyetemi háttér mellett?

Sikertörténet vagy nekrológ? Ha a súlyos és értelmetlen, de tudatos pusztításnak látszó, amúgy a „nagy” költségvetésben kerekítési hibával egyenértékű megszorításokból eredő anyagi gondok miatt

- a (feleslegesen) nyugdíjba küldött oktató–kutató helyébe nem lehet felvenni fiatalokat,
- az egyetem ingatlanjait el kell adni (kiknek is?!),
- még ilyen áron sem lehet az egyetemi oktatás minimális igényeit kielégíteni,
- ezáltal az oktatók kedvét, eddigi lelkesedését le kell törni, a diák ellenségévé tenni,
- az oktatók és nem oktatók tanszéki közösségét szét kell zúzni,

- a műhelyeket fel kell számolni (vagy „korszerűen”: kiszervezni, hogy jó drága legyen),
- ezáltal a minőségi szakoktatás bázisát örökre eltemetni (sajnos, ez már évek óta haldoklik),
- a fizika tanítását le kell szorítani a közoktatásban,
- a valódi, örömteli szenvedéssel megszerezhető tudás értékét és értelmét le kell rombolni,
- ellentétet kell szítani a tudományok, kultúrák között,
- a klasszikus és eddig sikeres magyar oktatási rendszer minden szintjét „amerikanizálni” kell.

Akkor a válasz a „Halotti beszéd”. Ilyen feltételek mellett a legkorszerűbb forma is elhal, mert pár év múlva elfogy az életető tudásmegújulás háttere. Egyetem nélkül, csupán vállalkozói pénzzel ez nem pótolható! Hiába az EU-s pályázatok sokasága(?), ha nincs hozzá ember.

A fizikával foglalkozó „egyszerű” egyetemi polgár kínlódik, megpróbálja felemelni a szavát. De ki hallja azt meg? A politikus? Az akadémikus? Még a saját közvetlen és/vagy magasabban székelő, elefántcsonttoronyban (jól) élő egyetemi főnökei sem! Vagy legalábbis nem tesznek semmit. És itt a baj! Mert mit is mondott a haza bölcse, *Deák Ferenc*: „... amit erő és hatalom elvesz, azt idő és kedvező szerencse ismét visszahozhatják, de amiről a nemzet, félve a szenvedésektől, önmaga lemondott, annak visszaszerzése mindég nehéz s mindég kétséges.” [1]

Ébresztő!

Irodalom

1. DEÁK F.: Válogatott politikai írások és beszédek, II. kötet, VIII. fejezet, „Második felíráti javaslat, Pest, 1861. augusztus 8.” – *Deák Ferenc munkái* (elektronikus dokumentum), CD, ISSN 1589-9691, Arcanum Adatbázis Kft., Budapest, 2004.

MINDENTUDÁS AZ ISKOLÁBAN

ORVOSI KÉPALKOTÓ ELJÁRÁSOK III.

ULTRAHANGOS DIAGNOSZTIKA

Az ultrahangos vizsgálatok alapjainak ismertetése a sorozat – melyben áttekintettük a legfontosabb orvosi képalkotó eljárások fizikai alapjait (*Fizikai Szemle* 2005/2. 83. o. és 2005/7. 260. o.) – utolsó cikke.

Az ultrahangos eljárások alkalmazása az 1940-es években kezdődött, és felhasználási területük azóta is egyre szélesedik. E vizsgálatípus leggyakoribb alkalmazásai: magzatfejlődési rendellenességek, rákgócok felderítése, vese-, prosztatavizsgálatok, keringési és szívrendellenességek diagnózisa stb. A módszer nagy előnye, hogy a legkisebb kockázat mellett, „működés” közben láthatjuk az élő szervezet különböző részeit, szerveit.

Mi az ultrahangos technika alapja? Ez attól függ, hogy milyen területen használjuk. Alapvetően két fizikai jelenségen nyugszik. Elsőként tekintsük a szervekről való ultrahangos képalkotást! Biztosan mindenki fel tudja idézni egy hegyi kirándulás emlékét, amikor az egyik hegyoldalon elkiabáltuk magunkat, és rövid idő múlva meghallottuk kiáltásunk mását, visszhangját. Ugyanezt tapasztaljuk nagy üres teremben, vagy a fürdőszobában. Azt is észrevehettük, hogy a visszhang annál hamarabb jelentkezik, minél közelebb van a szomszédos hegy vagy fal. Ezekből a tényekből könnyű arra a következtetésre jutni, hogy visszhang nem más, mint a levegőben egy irányba terjedő hangunk egy távoli felület által visszavert része. Így a hang terjedési sebességének és a visszhang érkezési idejének – pontosabban a kibocsátáshoz viszonyított késleltetési idő – ismeretében megkaphatjuk a visszaverő felület távolságát. Ezt az egyszerű elvet használja az ultrahangos mérés. A különbség két dologban van: az egyik, hogy a kibocsátott hang nem a szokásos emberi füllel hallható tarto-

mányba (10–20 000 Hz), hanem sokkal magasabb frekvenciatartományba (1–15 MHz) esik. A másik különbség, hogy a hangot vezető közeg nem levegő, hanem az emberi test. Ennek megfelelően az ilyen hang keltéséhez és érzékeléséhez más eszközöket használunk, mint a közönséges emberi füllel is hallható hangéhoz. A rádióban papírmembrán mozgásával keltjük a hangot, a detektálás is hasonló eszközzel, a mikrofonnal történik, amely szintén tartalmaz könnyű membránt, azt mozgatja meg a levegőben terjedő hang. Az ultrahangot egy kis piezoelektromos kristályra (gyakran kvarcot használnak erre a célra) adott váltakozó feszültséggel állítjuk elő. Az ilyen kristály a külső feszültség változásának ütemére változtatja alakját. A piezoelektromos kristályt másik testhez érintve annak átadja rezgéseit, és így abban egy hanghullám indul el. A detektálás is ezzel a kristállyal történik, a hangkeltéssel éppen ellentétes folyamat eredményeképpen. A testben terjedő hang rezgése megváltoztatja a hozzáérintett kristály alakját, ami a kristály két vége között potenciálkülönbséget eredményez. Ezt a feszültségkülönbséget megfelelő elektronikus egységekkel fel tudjuk dolgozni. A belső szervekről úgy alakulhat ki kép, hogy a terjedő ultrahang egy része visszaverődik a szerv határfelületéről, ezt a detektor felfogja, ebből a felület távolsága meghatározható. Kicsit elmozdítva a detektort, a felület másik részéről kapunk visszaverődést, és ennek is meghatározzuk a távolságát. Egy ilyen méréssorozat összerakásából alakul ki a szerv teljes képe. Megjegyezzük, hogy a nagyon sűrű mintavételezés (másodpercenként akár egy millió is lehet) a megfigyelő számára valós időben megjelenő képet eredményez. Ilyen berendezés felépítését mutatja az *1. ábra*.